

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**BULANIK TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
İLE MAKİNE EKİPMAN SEÇİMİ**

Bahar ARSLAN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Özgür ESKİ**



MANİSA-2022

**Bahar
ARSLAN**

**BULANIK TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE MAKİNE
EKİPMAN SEÇİMİ**

2022

TEZ ONAYI

Bahar ARSLAN tarafından hazırlanan “**BULANIK TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE MAKİNE EKİPMAN SEÇİMİ**” adlı tez çalışması 24/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak savunulmuş ve **oybirliği** ile başarılı olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

.....
Dr.Ögr.Üyesi Özgür ESKİ

Jüri Üyesi

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

.....
Dr.Ögr. Üyesi Özlem UZUN ARAZ

Jüri Üyesi

Dokuz Eylül Üniversitesi

.....
Doç. Dr. Gökarp YILDIZ

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Bahar ARSLAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
TABLO DİZİNİ	VII
TEŞEKKÜR.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
2. KARAR VERME KAVRAMI.....	11
2.1 Karar Verme Tanımı.....	11
2.2 Karar Verme Süreci.....	12
2.3 Karar Verme Çeşitleri.....	15
2.3.1 Mevcut Bilgiler Açısından Karar Verme.....	15
2.3.1.1 Belirlilikte Karar Verme.....	15
2.3.1.2 Belirsizlikte Karar Verme.....	15
2.3.2 Karar Vericiler Açısından Karar Verme.....	15
2.3.2.1 Bireysel Karar Verme.....	16
2.3.2.2 Grup Kararı Verme.....	16
2.3.3 Kriterler Açısından Karar Verme.....	16
2.3.3.1 Tek Kriterli Karar Verme.....	16
2.3.3.2 Çok Kriterli Karar Verme.....	16
3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME.....	17
3.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.....	18
3.1.1 TOPSIS Yöntemi.....	18
3.1.1.1 Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümler.....	18
3.1.1.2 TOPSIS Yöntemi Uygulama Aşamaları.....	19

3.1.2 VIKOR Yöntemi.....	22
3.1.2.1 VIKOR Yöntemi Uygulama Aşamaları.....	22
4. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER TEORİSİ.....	25
4.1 Bulanık Mantık.....	25
4.2 Bulanık Kümeler Teorisi.....	26
4.3 Bulanık Sayılar.....	27
4.3.1 Güven Aralıkları.....	28
4.3.2 Üçgen Bulanık Sayılar.....	31
4.3.2.1 Üçgen Bulanık Sayılar Üzerinde Tanımlanan Cebirsel İşlemler	31
4.3.3 Yamuk Bulanık Sayılar.....	32
4.3.3.1 Yamuk Bulanık Sayılar Üzerinde Tanımlanan Cebirsel İşlemler	33
4.4 Bulanık TOPSIS Yöntemi.....	34
4.4.1 Vertex Metodu.....	43
4.4.2 Bulanık TOPSIS Algoritmasında Üçgen Bulanık Sayıların Kullanımı	45
4.4.3 Bulanık TOPSIS Algoritmasında Yamuk Bulanık Sayıların Kullanımı	50
4.5 Bulanık VIKOR Yöntemi.....	55
4.6 Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemlerinin Benzerlik ve Farklılıkları	63
5. BULANIK TOPSIS ve BULANIK VIKOR YÖNTEMLERİNİN MAKİNE SEÇİMİNDE UYGULANMASI.....	67
5.1 Uygulama Alanı Olan İşletmenin Tanımı.....	67
5.2 Problem Tanımı.....	68
5.2.1 Kriterler.....	70
5.2.2 Alternatifler.....	73
5.3 Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması.....	73
5.3.1 Üçgen Bulanık Sayılar Kullanarak TOPSIS Yönteminin Uygulanması	74

5.3.2 Yamuk Bulanık Sayılar Kullanılarak Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması	83
5.4 Bulanık VIKOR Yönteminin Uygulanması	90
5.4.1 Üçgen Bulanık Sayılar Kullanarak VIKOR Yönteminin Uygulanması	90
5.4.2 Yamuk Bulanık Sayılar Kullanarak VIKOR Yönteminin Uygulanması	98
5.5 Üçgen Bulanık Sayılar ve Yamuk Bulanık Sayılar Kullanılarak Gerçekleştirilen Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yönteminin Değerlendirilmesi.....	103
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	107
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	117

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\tilde{x}_{ij}$	i. Alternatifin j. Kriter Bazında Performans Değeri
$\tilde{r}_{ij}$	Bulanık Normalize Karar Matrisi
$\tilde{D}$	Bulanık Karar Matrisi
B	Fayda Kriteri
C	Maliyet Kriteri
$\tilde{w}_j$	j. Kriterin Bulanık Ağırlığı
$V^{\sim}$	Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi
K=	Karar Verici Sayısı
$d(\tilde{A}, \tilde{B})$	$\tilde{A}, \tilde{B}$ Arasındaki Uzaklık
$\tilde{A}^+$	Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
$\tilde{A}^-$	Bulanık Negatif İdeal Çözüm
CC_i	i. Alternatifin Yakınlık Katsayısı
$\tilde{f}_{ij}$	i. Alternatifin j. Kriteria Göre Önem Derecesi
$\tilde{S}_i$	i. Alternatifin En İyi Bulanık Değere Uzaklığının Toplamı
$\tilde{R}_i$	j. Kriteria Göre i. Alternatifin En Kötü Bulanık Değerlere Olan Maksimum Uzaklığı
$Q_i^{\sim}$	İndeks Değeri
a'	Q değerine göre sıralamada en iyi alternatif
a''	Q değerine göre sıralamada en iyi ikinci alternatif
v	Maksimum Grup Faydası Sağlayan Stratejilerin Önem Ağırlığı
$\min_i S_i^{\sim}$	Maksimum Grup Faydası
$\min_i R_i^{\sim}$	Minimum Kişisel Pişmanlık

Kısaltmalar

AHP	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
ANP	Analytic Network Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayımlı Yönetim)
CODAS	Combinative Distance- Based Assessment (Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme Yöntemi)
COPRAS	Complex Proportional Assessment (Karmaşık Oransal Değerlendirme Yöntemi)
CRITIC	Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (Kriterler Arasındaki İlişkilere Göre Kriter Önemi Yöntemi)
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Method (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Yöntemi)
EDAS	Evaluation Based on Distance from Average Solution (Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme Yöntemi)
FNIS	Bulanık Negatif İdeal Çözüm
FPIS	Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
MOORA	Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (Oran Analizi Temeline Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi)
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (Çok Ölçütlü Değerlendirmeler İçin Tercihli Sıralama Yöntemi)
ROV	Range of Value (Arası Korelasyon Yardımıyla Nitelik Ağırlıklandırma)
TODIM	Iterative Multi Criteria Decision Making (Etkileşimli ve Çoklu Karar Verme Yöntemi)
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerlik için Performans Sıralama Tekniği)
VIKOR	Vıse Kriterijijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm)
WASPAS	Weighted Aggregated Sum Product Assessment (Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirilmesi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Karar Verme Süreci Aşamaları.....	12
Şekil 3.1 İki Boyutlu Uzayda Pozitif-İdeal ve Negatif İdeal Çözümler Kümesi.....	19
Şekil 4.1 Bulanık Sayı Kesim Seviyeleri.....	28
Şekil 4.2 Adi Bir A Sayısı.....	29
Şekil 4.3 Güven Aralığı ile Bir A Sayısı.....	29
Şekil 4.4 Bir A Bulanık Sayısı.....	30
Şekil 4.5 α Kesimi ile Normal ve Konveks Bir Bulanık Sayı.....	30
Şekil 4.6 Üçgensel Bulanık Sayı $A = (a_1, a_2, a_3)$	31
Şekil 4.7 Yamuksal Üyelik Fonksiyonu	33
Şekil 4.8 Kriterler İçin Önem Ağırlıklarını Gösteren Üçgen Bulanık Sayı.....	46
Şekil 4.9 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Üçgen Bulanık Sayılar.....	47
Şekil 4.10 Kriterler İçin Önem Ağırlıklarını Gösteren Yamuk Bulanık Sayı.....	51
Şekil 4.11 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Yamuk Bulanık Sayılar.....	51
Şekil 4.12 Bulanık TOPSIS ve Bulanık VİKOR Yöntemlerinin Çözüm Aşamaları.....	64
Şekil 5.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi Seçimi Hiyerarşi Yapısı.....	69

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Makine ve Ekipman Seçiminde Kullanılan Yöntem ve Kriterler.....	3
Tablo 2.1 Kalitatif ve Kantitatif Karar Verme Yaklaşımları.....	13
Tablo 4.1 Kriterler İçin Göreceli Önem Ağırlıklarını Gösteren Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Olarak İfadeleri.....	45
Tablo 4.2 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Olarak İfadeleri.....	46
Tablo 4.3 Kriterler İçin Göreceli Önem Ağırlıklarını Gösteren Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri.....	50
Tablo 4.4 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri.....	50
Tablo 4.5 Yakınlık Katsayı Nedeniyle Seçilen Alternatifin Kabul Durumu.....	54
Tablo 5.1 Karar Verme Ekip Üyelerinin Görevleri ve Deneyim Süreleri.....	68
Tablo 5.2 Kriter Seti.....	70
Tablo 5.3 Plastik Enjeksiyon Makinesi Alternatifleri	73
Tablo 5.4 Kriterler İçin Göreceli Önem Ağırlıklarını Gösteren Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Olarak İfadeleri.....	74
Tablo 5.5 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Olarak İfadeleri.....	74
Tablo 5.6 Kriter Ağırlıklarının Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi	75
Tablo 5.7 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılar ile Gösterilmesi.....	75
Tablo 5.8 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılarla Gösterilmesi.....	76
Tablo 5.9 Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi	77
Tablo 5.10 Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesinin Bulanık Sayılarla Gösterilmesi.....	78
Tablo 5.11 Üçgen Bulanık Sayılarla Oluşturulan Bulanık Karar Matrisi	79
Tablo 5.12 Üçgen Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi.....	80

Tablo 5.13 Üçgen Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi.....	80
Tablo 5.14 FPIS ve FNIS’ den OlanUzaklıklar.....	81
Tablo 5.15 Yakınlık Katsayıları.....	82
Tablo 5.16 Kriterler İçin Göreceli Önem Ağırlıklarının Gösteren Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri.....	83
Tablo 5.17 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri.....	83
Tablo 5.18 Kriter Ağırlıklarının Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi.....	84
Tablo 5.19 Kriter Ağırlıklarının Yamuk Bulanık Sayılar ile Gösterilmesi.....	84
Tablo 5.20 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılarla Gösterilmesi.....	85
Tablo 5.21 Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi.....	86
Tablo 5.22 Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesinin Bulanık Sayılarla Gösterilmesi.....	87
Tablo 5.23 Yamuk Bulanık Sayılarla Oluşturulan Bulanık Karar Matrisi.....	88
Tablo 5.24 Yamuk Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi.....	88
Tablo 5.25 Yamuk Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi.....	89
Tablo 5.26 FPIS ve FNIS’ den Olan Uzaklıklar.....	89
Tablo 5.27 Yakınlık Katsayıları.....	90
Tablo 5.28 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılarla Gösterilmesi.....	91
Tablo 5.29 Kriterin Ortalama Ağırlıkları.....	91
Tablo 5.30 Üçgen Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi.....	92

Tablo 5.31 $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ Değerleri.....	93
Tablo 5.32 Ortalama $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ Değerleri.....	93
Tablo 5.33 Karar Matrisi İçin Net Değerler.....	94
Tablo 5.34 Tüm Alternatif Plastik Enjeksiyon Makineleri İçin S, R, Q değerleri.....	94
Tablo 5.35 Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Farklı ν Değerleri İçin Sıralama Sonuçları.....	95
Tablo 5.36 Farklı ν Değerleri İçin Duyarlılık Analizi Sonuçları.....	96
Tablo 5.37 Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin S, R ve Q' ya Göre Sıralanması.....	96
Tablo 5.38 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılarla Gösterilmesi.....	98
Tablo 5.39 Kriterlerin Ortalama Ağırlıkları.....	99
Tablo 5.40 Yamuk Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi.....	99
Tablo 5.41 $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ Değerleri.....	100
Tablo 5.42 Ortalama $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ Değerleri.....	100
Tablo 5.43 Karar Matrisi için Net Değerler.....	101
Tablo 5.44 Tüm Alternatif Plastik Enjeksiyon Makineleri İçin S, R, Q değerleri.....	101
Tablo 5.45 Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Farklı ν Değerleri İçin Sıralama Sonuçları.....	101
Tablo 5.46 Farklı ν Değerleri İçin Duyarlılık Analizi Sonuçları.....	102
Tablo 5.47 Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin S, R ve Q' ya Göre Sıralanması.....	102
Tablo 5.48 Üçgen Bulanık Sayılar Kullanarak Grup Kararı için Spearman Sıra Korelasyon Katsayısının Hesaplanması.....	104
Tablo 5.49 Yamuk Bulanık Sayılar Kullanarak Grup Kararı için Spearman Sıra Korelasyon Katsayısının Hesaplanması.....	105
Tablo 5.50 Alternatiflerin Bütünleşik Sıralaması	106

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özgür ESKİ' ye, yüksek lisans tez dönemi sırasında çalışmakta olduğum TEKNİKAPLAST firması üretim mühendislerine ve kalite mühendisi ekip arkadaşım Semra AKÇAM'a, çalışmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşım Esra ANTER'e, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan başta kardeşim olmak üzere tüm aileme yürekten teşekkür ederim.

Bahar ARSLAN
Manisa, 2022



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Bulanık Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Makine Ekipman Seçimi

Bahar ARSLAN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür ESKİ

Üretim işletmelerinde, işletmenin sürekliliğini ve karlılığını sağlayabilmek için makine seçimi oldukça önemli bir karardır. Özellikle işletme için makine seçim kriterlerinin karmaşık olması durumunda karar vermek işletmeler için daha zor olmaktadır. Bu durumda, işletmelerin en doğru kararı verebilmeleri adına alternatifleri çok iyi analiz etmeleri gerekmektedir.

Bu çalışma, plastik enjeksiyon sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin üst düzey yöneticilerinden oluşan bir karar verici grubunun değerlendirmelerini dikkate alarak gerçekleştirilmiştir. Karar verme ekibiyle yapılan görüşmeler sonucu, plastik enjeksiyon makinesi seçim kriterleri belirlenmiştir. İnsan yargılarındaki sözel ifadeleri değerlendirebilmek adına bulanık mantık dahilinde TOPSIS ve VIKOR yöntemleri uygulanmıştır. Belirlenen plastik enjeksiyon makinesi alternatifleri; sadece maliyet, teknik özellikler gibi kalıplaşmış kriterlere göre değil, işletme ihtiyaçlarıyla örtüşecek olan güvenlik, güvenilirlik, çevre dostu olma kriterlerini de dikkate alarak oluşturulmuştur. Oluşturulan kriterler ve alternatif olarak belirlenen makine tipleri, belirlenen karar vericiler tarafından dilsel ifadeler yardımıyla ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sözel olarak yapılan değerlendirmeler üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleri uygulanarak makine alternatifleri grup kararıyla değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, Makine Seçimi

2022, 117 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Machine Equipment Selection Using Fuzzy Based Multi Criteria Decision Making Methods

Bahar ARSLAN

**Manisa Celal Bayar University
Institute of Science
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Assoc. Dr. Öğr. Üyesi Özgür ESKİ

Machine selection is a very important decision in production enterprises in order to ensure the continuity and profitability of the enterprise. Especially, when machine selection criteria are complex, it is more difficult for businesses to make a decision. In this case, businesses need to analyze the alternatives very well in order to make the right decision.

This study was carried out by taking into account the evaluations of a group of decision makers consisting of senior managers of an enterprise operating in the plastic injection sector. As a result of the interviews with the decision-making team, the plastic injection machine selection criteria were determined. In order to evaluate verbal expressions in human judgments, fuzzy TOPSIS and fuzzy VIKOR methods were applied. Determined plastic injection machine alternatives; It was created not only according to stereotyped criteria such as cost and technical features, but also by taking into account the criteria of safety, reliability and environmental friendliness, which will overlap with business needs. The created criteria and alternatively determined machine types were evaluated separately by the determined decision makers with the help of linguistic expressions. Verbal evaluations were digitized using triangular and trapezoidal fuzzy numbers. Machine alternatives were evaluated by group decision by applying fuzzy TOPSIS and fuzzy VIKOR methods, and the results were compared.

Keywords: Fuzzy Logic, Multi Criteria Decision Making, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, Machine Selection

2022, 117 pages

1.GİRİŞ

İşletmelerin genel olarak varoluş amaçları; işletmenin sürdürülebilirliğini sağlamak, karlarını maksimize etmek ve müşteri memnuniyetini sağlamaktır. Bu durumda meydana çıkan üretim işletmeleri; malzeme, makine, ekipman, nitelikli iş gücü gibi verileri, toplum gereksinimlerini karşılamak adına değeri yüksek hizmetlere ve ürünlere çevirirler.

Üretim işleyişinin düzgün ve akıcı bir biçimde ilerleyebilmesi adına uygun bir işletim planı doğrultusunda doğru verilerin doğru zamanda bir arada olması gerekmektedir. İşletme yönetimi çalışanları gerekli olan kaynakların zamanında ele ulaşması, kaynak kalitesinin yüksek olması ve mevcut düzenin sorunsuz devam etmesi gibi durumlarda sorumluluk sahibidirler. Bu sebeple işletme için seçilecek makine ve ekipman tercihi, yetkililer ve mühendisler için oldukça önemli bir karar verme problemidir. Üretimin aksamadan sorunsuz bir şekilde ilerlemesi üretimde kullanılacak olan makine ve ekipmanlara bağlıdır. Aksi takdirde; hatalı seçilmiş makine ve ekipmanlar, üretim sistemlerinin performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Makine seçiminde satın alma maliyeti, makine performansı, satış sonrası hizmet, kullanım kolaylığı, ürün kalitesi, enerji tüketimi fazla sayıda ölçüt etkin rol almaktadır. Bu sebeple, işletme yöneticileri ve operatörler sadece satın alınacak makinenin maliyetine değil, bu karara ilişkin tüm kriterleri göz önünde bulundurmaya özen göstermelidir. Makine ve ekipman seçim kararında, işletmelerin ihtiyaçlarına yönelik kriterleri, konusunda uzman karar vericiler tarafından doğru belirlenmesi ve bütün seçeneklerin belirlenmiş olan ölçütlere göre tercih edilen metotlar uygulanarak düzgün bir şekilde analiz edilmesi, işletme ihtiyaçlarına uygun alternatifin seçimini için oldukça önem arz etmektedir.

Karar vermeyi gerektiren problemlerde, kararı etkileyen fazla sayıda etmenin olması, bu etmenlerin hepsinin aynı anda dikkate alınması ve çok sayıda seçenek içerisinde tercih yapılması gereken zamanlarda çoğunlukla çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotlarına başvurulur [1]. ÇKKV yöntemleri genellikle nitel ve nicel yöntemlerin beraber değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Metotların çoğunda değerlendirilen bilgi kesin yargılardan oluşan sayısal verilerdir.

Günlük yaşamda karşımıza çıkan karar verme problemlerinde net hükümlere ulaşmak her durumda olağan olmayabilir. Kişilerin yaptıkları sözel değerlendirmelerin, matematiksel karar sürecine uyumlu hale getirilmesinde bulanık mantık dahilinde bulanık sayıların kullanılması ile olağandır. Bulanık sayıların kullanılması ile net olmayan bulanık verilerin karar verme modellerine uygulanması kolaylaşmaktadır. Dolayısı ile karar vericiler tarafından sözel değerlendirmelerin tercih edildiği, sözel ifade barındıran çok kriterli karar problemlerinin çözümünde net sayıların aksine bulanık sayıların tercih edilmesi daha uygun çözümler sunabilmektedir.

Manisa’ da plastik enjeksiyon sektöründe faaliyet gösteren TeknikaPlast firmasında gerçekleştirilen bu çalışmada, makine seçim problemine çözüm aranmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada literatürde makine seçimi kapsamında birlikte kullanılmamış olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerine yer verilmiştir. İnsan faktöründen kaynaklanan sübjektifliğin üstesinden gelebilmek adına üç karar vericinin görüşlerine yer verilerek gerçekleştirilen çalışmada; bulanık üçgen sayılar ile birlikte bulanık yamuk sayılar da kullanılmış, hem kullanılan sayı türüne hem de kullanılan yöntemlere göre karşılıklı analizler gerçekleştirilmiştir. Belirtilen sebeplerden ötürü gerçekleştirilen bu çalışmanın ileride yapılacak olan araştırmalara kaynak oluşturması hedeflenmektedir.

Gerçekleştirilen uygulamada altı bölüm yer almaktadır. İlk bölümde çalışmada ele alınan konuya giriş yapılmıştır. İkinci bölümde karar vermenin tanımından ve çeşitlerinden söz edilmiştir. Üçüncü bölümde, çok kriterli karar verme yönteminin tanımından bahsedilmiş ve çeşitlerine değinilmiştir. Dördüncü bölümde, bulanık küme teorisi anlatılmış, kullanılan bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemlerinden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde, plastik enjeksiyon makinesi seçimi ve seçim süreci detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Son bölümde ise uygulama sonuçlarına yer verilmiş, geleceğe dönük fikir önerilerinde bulunulmuştur.

1.1 Literatür Özeti

Bu kısımda makine ve ekipman seçim problemi çözümünde kullanılan ÇKKV ve Bulanık ÇKKV yöntemlerine yer verilmiştir. Kullanılan yöntem ve kriterlere ilişkin özet Tablo 1.1’ de yer almaktadır.

Tablo 1.1 Makine ve Ekipman Seçiminde Kullanılan Yöntem ve Kriterler

TARİH	ÇALIŞMA	KULLANILAN YÖNTEM	ELE ALINAN KRİTERLER
2000	Wang ve ark.	Bulanık AHP, WASPAS	Satın alma maliyeti, toplam alan, makine sayısı, verimlilik
2004	Yurdakul	AHP, ANP	Kalite, maliyet ve teslimat
2006	Ayag ve arkadaşı	Bulanık AHP	Verimlilik, esneklik, alan, uyarlanabilirlik, uygulama, güvenilirlik, güvenlik ve çevre, bakım ve onarım
2006	Yılmaz ve arkadaşı	AHP, PROMETHEE	Sektör içi kullanılabilirlik, ağırlık, fiyat, tel çapı çeşidi, çalışmada uyumluluk, fiyat
2007	Çimren ve ark.	AHP	Verimlilik, esneklik, güvenlik-çevre ve uyarlanabilirlik
2011	Guelsuen ve arkadaşı	Bulanık TOPSIS	Maliyet, teknik özellikler, yazılım, gerekli alan, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik
2012	Taha ve ark.	Bulanık AHP, PROMETHEE	Esneklik, teknik özellikler, maliyet, güvenlik ve çevre
2012	Samvedi ve ark.	Bulanık AHP ve Gri İlişkisel Analizi	Maliyet, operasyonel esneklik, kurulum kolaylığı, sürdürülebilirlik, servis kolaylığı, verimlilik, takım tezgahı uyumluluğu, emniyet
2012	Organ	Bulanık DEMATEL	Maliyet, kalite, esneklik, performans, teknik özellik
2015	Kumru ve ark.	ANP	Teknoloji, tasarım, fonksiyon ve çalışma yöntemi, firma imajı, kurulum aşaması, danışmanlık eğitimi ve maliyet
2015	Pamuc ve arkadaşı	Bulanık DEMATEL, MABAC	Fiyat, üretici garantisi, servis hizmeti, yedek parça erişebilirliği, bakım masrafı, yakıt kullanımı, üst sınır taşıma kapasitesi, üst sınır kaldırma kapasitesi, forkliftin hareket hızı ve yük kaldırma / indirme hızı
2016	Sen ve ark.	TODIM	Tekrarlanabilirlik toleransı, uzanma mesafesi, ağırlık, giriş gücü, eksen çalışma alanı, eksen çalışma hızı, yükleme kapasitesi
2016	Kumar ve ark.	AHP	Otomasyon, maliyet ve yük taşıma kapasitesi

Tablo 1.1 Makine ve Ekipman Seçiminde Kullanılan Yöntem ve Kriterler

TARİH	ÇALIŞMA	KULLANILAN YÖNTEM	ELE ALINAN KRİTERLER
2017	Ulutaş	EDAS	Dikiş hızı, maksimum dikiş uzunluğu, fiyat, enerji kullanımı
2017	Varun ve ark.	AHP	Kurulum maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, hareket hızı, hacim kapasitesi, operatör gereksinimi, kaplanan alan, kullanım kolaylığı
2017	Gök Kısa ve ark.	Bulanık DEMATEL, Bulanık VIKOR	Fiyat, güvenlik, kullanım kolaylığı, verimlilik, kapasite, kalite, kurulum süresi, servis ve bakım ve güvenilirlik
2017	Kabadayı ve Dağ	Bulanık DEMATEL, PROMETHEE	Kalite, maliyet, kullanım rahatlığı, satış sonrası hizmet, güvenlik, endüstriyel seçim, fiziksel özellikler, performans
2018	Sarıçalı	KEMIRA-M, COPRAS	Blok kesim yüksekliği, maksimum lama sayısı, ana motor gücü, elektrik kullanımı, garanti süresi, servis ulaşımı, fiyat
2018	Mathew ve ark.	AHP ve GRI İlişkisel Analizi	Kontrol edilebilirlik, doğruluk, menzil, güvenilirlik, esneklik ve maliyet
2018	Jovicic ve ark.	AHP ve HURTWITZ	Konveyör kayışının hızı, elektrik gücü, nakliye miktarı ve kayışın metre maliyeti
2018	Prusa ve ark.	TOPSIS	Kaldırma kapasitesi, pil kapasitesi, kaldırma yüksekliği, yük ile taşıma hızı ve fiyat
2018	Indap	AHP	Maliyet, hacim kullanımı, yükseklik kullanımı, yük erişebilirliği ve stok devir hızı
2019	Akın	ENTROPI, CRITIC ve ROV	Dikim ucu sayısı, dikiş hızı, dikim genişliği, dikiş adımı, desen sayısı, kapasite, makine ağırlığı, enerji kullanımı, nakliye alanı, garanti süresi, servis hizmeti, otomatik bordür sarıcı, ip koptu/bitti sensörü
2020	H. Li ve ark.	ENTROPI, Bulanık DEMATEL, Bulanık VIKOR	Maksimum iş mili hızı, faydalı kullanım oranı, maksimum iş mili torku, başarısızlık oranı, bağlantı hassasiyeti ve maliyet

[2] Wang ve ark. çalışmalarında, esnek imalat hücresine makine seçimi için dört kriter ve on alternatif belirlemiştir. Belirlenen kriterler toplam satın alma maliyeti, toplam alan, bir makine grubundaki makine sayısı ve verimliliğidir. Kriterler maliyet yönlü ve fayda yönlü olarak sınıflandırıldıktan sonra kriter ağırlıkları Bulanık AHP ile belirlenmiş, bulunan ağırlıklar için WASPAS yöntemi uygulanarak tercih sıralaması yapılmıştır.

[3] Sarıçalı çalışmasında, katrak makinesine seçebilmek adına KEMIRA-M yöntemi ile kriter ağırlıklarını bulmuş ve COPRAS yöntemini kullanarak da alternatifleri değerlendirmiştir. Makine seçimi için sekiz alternatif belirlenmiş, yedi kriter dahilinde değerlendirilmiştir. Ele alınan kriterler; blok kesim yüksekliği, maksimum lama sayısı, motor gücü, elektrik kullanımı, garanti süresi, servis ulaşımı ve fiyattır.

[4] Yurdakul çalışmasında, takım tezgahlarına yapılan yatırımın değerlendirilmesi üzerine çalışmıştır. Bunun için maliyet, kalite ve teslimat olmak üzere üç ana kriter belirlenmiştir. Kalite, maliyet ve teslimat kriterlerinin üçer tane alt kriteri mevcuttur. Kriter temelinde üç adet alternatif takım tezgâhı değerlendirilmiştir. Problem çözümünde ilk olarak AHP adımları izlenmiştir ve kriterlere ilişkin ağırlıklar bulunmuştur. Birbirine bağımlı bileşenlerde ağırlıkların hesaplanmasında üç aşamalı ANP algoritması ağırlıklarının faydalarını hesaplamak için kullanılmıştır ve son olarak, alternatiflerin sıralama puanları, takım tezgâhı karakteristiklerindeki alternatiflerin ağırlıkları ile imalat önceliklerindeki makine ağırlıkları birleştirilerek hesaplanmıştır.

[5] Kabadayı ve Dağ çalışmalarında, bir kablo üretim tesisi için makine seçimi üzerine yoğunlaşmışlardır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde bulanık DEMATEL yöntemi; alternatif değerlendirmesinde ise PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada ele alınan kriterler; kalite, maliyet, kullanım rahatlığı, satış sonrası hizmet, güvenlik, endüstriyel seçim, makinenin fiziksel özelliği ve performanstır.

[6] Çimren ve ark., bir esnek imalat sisteminde en iyi makineyi seçebilmek adına verimlilik, esneklik, güvenlik-çevre ve uyarlanabilirlik olmak üzere dört ana kriteri ele almışlardır. İlgili kriterleri değerlendirmek üzere altı adet makine alternatifini belirlenmiştir. AHP yöntemini kullanarak duyarlılık, maliyet, hassasiyet ve güvenilirlik analizi yapmışlar alternatifleri değerlendirilerek nihai karara ulaşmışlardır.

[7] Ayag ve arkadaşı, Türkiye'nin önde gelen kesici takım üretici fabrikasında yeni bir konveksiyonel takım tezgâhı yatırımını ele almışlardır. Bunun için üç alternatif CNC makinesi belirlemişlerdir. Alternatiflerde aradıkları kriterler; verimlilik, esneklik, alan, uyarlanabilirlik, uygulama, güvenilirlik, güvenlik ve çevre, bakım ve onarımdır. Takım tezgâhı seçimi için bulanık AHP kullanmışlardır. Son olarak da her bir alternatifin fayda/maliyet oranını hesaplamışlardır. En yüksek fayda/maliyet oranına sahip olan alternatif tercih edilmiştir.

[8] Yılmaz ve arkadaşı çalışmalarında, gaz altı kaynak makinesi seçimi için çalışmışlardır. İşletme, alınacak yeni kaynak makineleriyle hem eski makinelerin kapladığı alandan kazanç sağlamak, hem de çok sayıda malzeme şekillendirmek istemektedir. İlk aşamada karar verme ekibi oluşturulmuş, sonrasında alternatif kaynak makineleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan kriterler; sektör içi kullanılabilirlik, ağırlık, fiyat, tel çapı çeşidi, çalışmada uyumluluk, fiyat ve hacimdir. AHP yöntemi ile ilgili kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Bulunan ağırlıklar PROMETHEE ve bulanık PROMETHEE yönteminde değerlendirilmiş, değerlendirme sonuçları analiz edilmiştir.

[9] Guelsuen ve arkadaşı çalışmalarında, bir esnek imalat sistemine en uygun AS/RS seçebilmek için dört alternatif belirlemişler ve bu alternatifleri değerlendirebilmek adına maliyet, teknik özellikler, yazılım, gerekli alan, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik kriterlerini baz almışlardır. Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak en uygun AS/RS' i seçmişlerdir.

[10] Taha ve ark., karar destek sistemi üretim hücresinde takım tezgâhı seçimi için Bulanık AHP-PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır. MATLAB programlamayla, en uygun makinenin seçiminde karar vermede dört alternatif belirlenmiş ve bir model önerilmiştir. Gerekli veriler başlangıçta hazırlanmış ve MATLAB tabanlı bulanık AHP' ye girilmiştir. Bulanık AHP sonucunda kriterlerin bulanık ağırlıkları bulunmuş, bulunan ağırlıklar PROMETHEE' de kullanılmış en uygun alternatif tercih edilmiştir.

[11] Samvedi ve ark yaptıkları çalışmada, İstanbul'da otomotiv endüstrisi için yedek parçalar üreten bir işletme de gelen talebi karşılamak için yeni bir makine yatırımı kararını ele almışlardır. Bunun için dört makine alternatifi önerilmiştir. Şirket uzman görüşünden sonra makine seçimi için; maliyet, operasyonel esneklik, kurulum kolaylığı, sürdürülebilirlik ve servis kolaylığı, verimlilik, takım tezgâhı uyumluluğu, emniyet ve kullanıcı dostluğu olmak

üzere sekiz kriter belirlemiştir. Bulanık AHP ve Gri İlişkisel Analizi kullanarak takım tezgâhı seçimi için entegre bir yaklaşım öne sürmüşlerdir.

[12] Organ çalışmasında, tekstil firması için makine seçiminde iki farklı tip makine alternatifini dikkate almıştır. Makinede seçiminde aradığı kriterler; maliyet, kalite, esneklik, performans ve teknik özelliklerdir. Bulanık DEMATEL yöntemini kullanarak kriterler arası ilişkinin boyutunu ortaya koymayı amaçlamıştır.

[13] Kumru ve ark. çalışmalarını, Manisa'nın OSB bölgesinde bulunan bir kalıp imalat şirketinde uygulamıştır. Şirket, imalat operasyonlarında yüksek hassasiyet göstermesi nedeniyle yeni bir 3D CMM koordinat ölçüm makinesi almaya karar vermiştir. Çeşitli koşullara sahip 3D CMM'ler sunan dört farklı tedarikçiye teklif alınmıştır. Alternatifler değerlendirilirken dikkate alınan kriterler; teknoloji, tasarım, fonksiyon ve çalışma yöntemi, firma imajı, kurulum aşaması, danışmanlık eğitimi ve maliyettir. Kriterlerin ağırlıkları, ölçütler arasındaki bağımlılıklar ve alt kriterlerin önem ağırlıkları ANP yazılımı tarafından hesaplanmıştır. En uygun 3D CMM'e karar verilmiştir.

[14] Pamuc ve arkadaşları çalışmalarında, bir esnek imalat sisteminde forklift seçimi gerçekleştirmiştir. Kriter ağırlıklarını bulmak için bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmış ve alternatiflerin sıralanması için MABAC yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca MABAC yöntemi uygulama aşamasında üç aşamalı bir duyarlılık analizi kullanılmıştır. Çalışmadaki kriterler; Fiyat, üretici garantisi, servis hizmeti, yedek parça erişilebilirliği, bakım masrafı, yakıt kullanımı, üst sınır taşıma kapasitesi, üst sınır kaldırma kapasitesi, forkliftin hareket hızı ve yük kaldırma / indirme hızıdır. Toplam yedi adet forklift incelenmiş ve on uzman test sürecine dahil edilmiştir. MABAC yöntemiyle alternatiflerin son sıralaması elde edilmiştir.

[15] Sen ve ark. çalışmalarında, bir imalat firması için robot seçimi üzerine çalışmışlardır. Bunun için kriterler; yük robot seçimi için yedi adet alternatif mevcuttur. Alternatiflerin sıralanması için ÇKKV tekniklerinden biri olan TODIM yöntemi kullanılmıştır.

[16] Kumar ve ark. çalışmasında, esnek bir imalat sistemi için malzeme taşıma ekipmanını seçebilmek adına üç adet alternatif belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan kriterler; otomasyon, maliyet ve yük taşıma kapasitesi olarak tanımlanmıştır. Kriterler belirlendikten sonra hiyerarşik bir AHP modeli oluşturulmuştur. Kriter ağırlığını belirlemek için ikili karşılaştırma matrisleri

düzenlenmiş ve üçgen bulanık sayılar kullanılarak bulanık ağırlıklar bulunmuştur. Belirlenen bulanık ağırlıklar ile her bir alternatif değerlendirilmiş ve nihai seçim yapılmıştır.

[17] Ulutaş gerçekleştirdiği çalışmada, büyük ölçekli bir tekstil işletmesi için dikiş makinesi seçimi üzerine yoğunlaşmıştır. Karar verici tarafından sekiz adet alternatif dikiş makinesi belirlenmiştir. Bu süreçte dikkate alınan kriterler; dikiş hızı, maksimum dikiş uzunluğu, fiyat, enerji kullanımı olarak tanımlanmıştır. İlgili kriterler dikkate alınarak EDAS yöntemi kullanılmış, firma için en uygun makinenin seçimi sağlanmıştır.

[18] Varun ve ark. çalışmalarında, bir esnek imalat sistemi için en iyi malzeme taşıma ekipmanını seçebilmek adına AHP yöntemini kullanmışlardır. Bunun için beş adet alternatif mevcuttur; konveyör, forklift, AGV, vinç ve raydır. Kriterler ise; kurulum maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, hareket hızı, hacim kapasitesi, operatör gereksinimi, kaplanan alan ve kullanım kolaylığıdır. AHP yöntemi kullanılarak her bir kriterin ağırlığı bulunmuş ve en iyi alternatif tercih belirlenmiştir.

[19] Gök Kısa ve ark., PLC mermer kesim makinesi seçimi için alternatif üç adet PLC belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan kriterler; fiyat, güvenlik, kullanım kolaylığı, verimlilik, kapasite, kalite, kurulum süresi, servis ve bakım ve güvenilirliktir. En iyi PLC makinesini seçebilmek için Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR yaklaşımları uygulamışlar, sonuçları birbiriyle karşılaştırmışlardır.

[20] Mathew ve arkadaşları çalışmalarında, Maniya ve Bhatt'ın AGV seçimi için AHP ve GRI İlişkisel Analizi çalışmasını baz alarak, AGV seçimi için CODAS, EDAS, MOORA ve WASPAS yöntemlerini kullanmışlardır. AGV seçimi için sekiz alternatif ve altı kriter belirlemişlerdir. Bu kriterler; kontrol edilebilirlik, doğruluk, menzil, güvenilirlik, esneklik ve maliyettir. Kullandıkları her bir yöntemde alternatiflerin sıralamasının değiştiğini gözlemlemişlerdir. Bunun için de Spearman sıra korelasyon katsayısını kullanarak farklı yöntemlerle hesaplanan sıralamalardaki benzerliği ölçmüşlerdir.

[21] Jovcic ve ark. çalışmalarını, konveyör seçimi üzerine gerçekleştirmişlerdir. Kriter ağırlıklarını bulurken AHP yöntemini ve alternatifleri değerlendirirken HURTWITZ yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada kullanılan kriterler; konveyör kayışının hızı, elektrik gücü, nakliye miktarı ve kayışın metre maliyeti kriterleridir. Kriter ağırlıkları AHP yöntemiyle ikili

karşılaştırmalar sonucunda bulunmuş ve her bir kritere ilişkin tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Alternatifleri değerlendirirken HURTWITZ yöntemi kullanılmış ve kriterler fayda ve maliyet yönlü olmak üzere gruplandırılmış en iyi alternatif tercih edilmiştir.

[22] Prusa ve ark. çalışmalarında, bir imalat sistemi için forklift seçimi üzerine çalışmışlardır. Bunun için aradıkları kriterler; kaldırma kapasitesi, pil kapasitesi, kaldırma yüksekliği, yük ile taşıma hızı ve fiyattır. Belirtilen kriterler doğrultusunda dört adet alternatif forklift belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları öz vektör yöntemiyle bulunmuş, alternatiflerin sıralaması ÇKKV tekniği olan TOPSIS yöntemiyle belirlenmiştir.

[23] Indap çalışmasında, e-ticaret giyim endüstrisi için depolama rafını karşılaştırarak uygun depolama rafı sisteminin seçilmesini amaçlamıştır. Maliyet, hacim kullanımı, yükseklik kullanımı, yük erişebilirliği ve stok devir hızı çalışmada kullanılan kriterlerdir. Alternatifler ise; arka arkaya ray sistemi, dar koridor raf sistemi ve otomatik depo ray sistemidir. Depolama sistemlerinin karşılaştırılması için AHP yöntemi kullanılmış, en uygun alternatif seçilmiştir.

[24] Akın çalışmada, uyku ürünleri üzerine çalışan bir işletme için dikim makinesi seçim problemi üzerinde çalışmıştır. Makine seçiminde dikim ucu sayısı, dikiş hızı, dikim genişliği, dikiş adımı, desen sayısı, kapasite, makine ağırlığı, enerji kullanımı, nakliye alanı, garanti süresi, servis hizmeti, otomatik bordür sarıcı, ip koptu/bitti sensörü kriterleri belirlenmiştir. Şirket ihtiyaçlarına uygun alternatif sekiz adet dikiş makinesi belirlenmiştir. Kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için CRITIC ve ENTROPİ yöntemleri kullanılmış, alternatiflerin sıralaması için de ROV yöntemine başvurulmuştur.

[25] H. Li ve ark. çalışmalarında, en iyi takım tezgâhını seçmek adına dört alternatif belirlemişlerdir. Çalışmadaki kriterler; maksimum iş mili hızı, faydalı kullanım oranı, maksimum iş mili torku, başarısızlık oranı, bağlantı hassasiyeti ve maliyettir. Belirlenen kriterler fayda ve maliyet yönlü olarak sınıflandırılmıştır. Kriterlerin sübjektif ağırlığını bulmak için bulanık DEMATEL yöntemini, kriterlerin objektif ağırlığını bulmak için ENTROPİ yöntemini kullanmışlardır. Alternatifleri sıralamak için ise Bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır.

Mevcut literatür incelediğinde makine ve ekipman seçim probleminde genellikle ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS, PROMETHEE yöntemlerinin tercih edildiği

görülmektedir. Bulanık ÇKKV yöntemleri ise son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır, fakat klasik ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi sıklıkla Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS yöntemlerine başvurulduğu görülmüştür. Ayrıca makine ve ekipman seçiminde genellikle maliyet, teknik özellikler, kullanım kolaylığı gibi temel kriterlerin kullanıldığı göze çarpmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma da ise, plastik enjeksiyon makinesi seçim problemi için daha önce bu konu başlığında birlikte kullanılmamış olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerine başvurulmuştur. Üçgen ve yamuk bulanık sayılar ayrı ayrı kullanılmış, kullanılan bulanık sayı türüne göre yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır. Makine seçiminde maliyet, satış sonrası servis, vida L/D oranı, enjeksiyon basıncı, plastikleştirme oranı, kitleme gücü, pompa motor gücü, makine ağırlığı, yağ tankı kapasitesi enjeksiyon oranı gibi net sayısal bilgi gerektiren kriterlerin yanı sıra insan yargılarını ön planda tutan güvenlik, güvenilirlik, çevre dostu olma kriterlerine yer verilmiştir.

Seçilen plastik enjeksiyon makinesinin çevreye olabildiğince az zarar vermesi, çevreye duyarlı üretim yapması istenmektedir. Bu sebeple; makinelerin hammadde ve enerji kullanımını baz alarak çevre dostu olma kriteri alternatifler arasından tercih yapılabilmesi için belirlenmiştir. Seçilen plastik enjeksiyon makinesinin çalışanlar ve çevrenin güvenliği açısından risk oluşturma düzeyinin minimum seviyede tutulabilmesi için güvenlik kriteri, makinenin minimum düzeyde arıza yapması ve bakım onarım sürelerinin ve bu süreçlerin takibinin kolay yapılabilmesi adına güvenilirlik kriteri eklenerek karar vericilerin görüşlerine yer verilmiştir.

2. KARAR VERME KAVRAMI

2.1 Karar Verme Tanımı

Karar, bireyin tepki gerektiren olay karşısında gösterilen reaksiyonlar bütünü olarak ifade edilir. Tanım olarak karar verme ise, alternatif arasından ihtiyaçlar ile en çok uyumunu tercih etmek olarak belirtilir. Yaşam süreci, bireylerin karşılaştıkları fırsatlar doğrultusunda aldıkları kararların bütünü olarak ifade eder. Bireyler farklı alan ve durumlarda karşılaştıkları fırsatlardan birini değerlendirir [26].

Hayatlarının sürekliliğini sağlamak amacıyla her durumda karar verme halinde olan bireyler, aldıkları kararların daha doğru ve sağlıklı olabilmesi için bu süreci bilim dalı olarak görmeyi uygun görmüşlerdir. [27].

Farklı bir tabir ile karar, insanların karşılarına çıkan fırsatlar doğrultusunda vermiş olduğu yanıtlar bütünü olarak ifade edilir [28].

Karar vermede temel problem, birbiriyle uyum olmayan kriterler arasından değerlendirilen tercihlerin ihtiyaçlar doğrultusunda en mantıklı olanın seçilmesidir [29].

Karar verme, işletme için gerekli olan fonksiyonlarının ana taşıdır. Örnek olarak işletmelerde yönetim departmanları; kimin ne iş yapacağına, hangi kişinin nerede görevlendirileceğine, hangi makine ve ekipmanın alınması gerektiğine karar verir [30].

Bireylerin, rutin hayatlarında çokça rastladıkları tercihler arasından ihtiyaçları genelinde karar verme prosesi, prosesin yapı taşları ve karşı karşıya olunan karar probleminin türüne göre şekil alabilir. Tercihler yapma sürecinde karar vericinin kazanacağı faydalar, sahip olduğu veriler ve tercihi şekillendiren kriterlerin değişebilirliği karar verme sürecini durağan olmayan duruma koymaktadır [31].

Karar verme problemlerinde tüm alternatifler ve tüm kriterler dikkate alınarak, akla, mantığa uygun, ihtiyaçları karşılayan en uygun alternatifin tercih edilmesi gerekir [32].

2.2 Karar Verme Süreci

Karar verme hemen süregelen bir durum değil, aşama aşama ilerleyen eylemler dizisidir. Bu süreç uygun adımların gerçekleşmesinin ardından nihai karara ulaşır. Bu nedenle, doğru bir sonuca varmak için kararın hangi aşamalardan geçtiği ve nasıl sonuçlandığı oldukça önemlidir [33].

Karar verme, karar komitesindeki her bir bireyin belirtilen alternatifler arasından ihtiyaçları karşılayan en iyi ve en doğru kararı tercih etme durumudur; bu işlemlerin adım adım gerçekleştirilmesi ise karar verme sürecini oluşturur [34].

Karar verme süreci aşamaları Şekil 2.1’deki gibi sıralanabilir:

Şekil 2.1 Karar Verme Süreci Aşamaları [34].



Belirtilen karar verme süreci aşamalarında stabil bir durum yoktur. Denk gelinen karar verme probleminin konusuna, karmaşıklığına, içinde barındıran kriterlerin çeşitliliğine ve daha birçok etmene bağlı olarak işlem adımları eklenebilir ya da azaltılabilir. Bir sürü faaliyeti içinde barındıran karar verme süreci, problemi çözmek adına tercih edilen yöntemleri, izlenen çeşitli adımları kapsadığı için basit olmayan problemleri analiz etmekte ve kullanılan yöntemlerin sonuçlarının denetlenebilirliğini geçerli kılmaktadır [35].

Karar verme problemlerinde iki çeşit yaklaşım izlenir. Bunlardan biri kalitatif yaklaşım diğeri ise kantitatif yaklaşımdır. Kalitatif yaklaşım, yaşanmışlıklara ve edinilmiş tecrübelere

bakarak sezgi ve yanılma aşamalarından oluşur. Sezgilere dayalı olduğu için bilimden ziyade sanatsal nitelikleri yansıtır. Problem ile karşı karşıya kalan karar verici eğer geçmiş tecrübelerinde böyle bir sorun ile karşılaşmışsa, sezgi ve duyularına dayanarak kalitatif yaklaşıma yönelmesi doğru olacaktır. Karar verici böyle bir problem ile geçmişte daha önce karşılaşmamış ise, duyularıyla hareket etmekte zorlanır. Böyle durumlarda kantitatif yaklaşıma yönelmek doğru bir durum olacaktır. Kantitatif yaklaşımda; kalitatif yaklaşımın aksine bilimsel veriler, analizler, istatistiksel raporlar ön plandadır. İlişkili veriler izlenebilir ve denetlenebilir. Bu yaklaşımda, problemi çözmek için kullanılan amaç fonksiyonu ve kısıtlar arasındaki ilişkiler incelenir. Karar modellerinin analiz edilmesiyle de çözümün maksimum faydada olması hedeflenir. Kalitatif karar verme yaklaşımda geçmiş tecrübeler ve sezgiler dikkate alınırken, kantitatif karar verme yaklaşımda bilimsel verilerin, konu hakkında izlenilen yaklaşımların ve yöntemlerin bilinmesi gerekir [36].

Kalitatif ve kantitatif karar verme yaklaşımları Çil tarafından [37] basitçe özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Kalitatif ve Kantitatif Karar Verme Yaklaşımları [37].

Kantitatif Karar Verme Yaklaşımı	Kalitatif Karar Verme Yaklaşımı
Genelde matematik, istatistik ve endüstri mühendisliğinin kesişimidir.	Genelde psikoloji, sosyal psikoloji ve sosyolojinin kesişimidir.
Birden çok karar alternatifi ve birden çok kriter olduğunda bunların arasında en uygun seçimin nasıl yapılacağı ile ilgilenir.	İnsanı esas alır.
Seçim için modeller ve yöntemler geliştirir.	İnsanın karar verilirken geçirdiği zihinsel ve psikolojik evrelerle ilgilenir.
Kararların hangi ortamda verildiğini, çevredeki belirsizliğin derecesini esas alır.	Evrelere etki eden faktörleri ve faktörlerin etkilerini inceler.
İnsan faktörünü en aza indirger.	İnsan faktörüyle birlikte ilerler.

Karar verme problemlerinin çözümü sürecinde yer alan unsurlar aşağıda tanımlanmıştır [38].

- **Karar Verici:** Karar verme problemi içerisinde karar verme yetkisine sahip kişi ya da kişilerdir.

- **Amaç:** Problemin çözüme ulaşması için belirtilen ya da ulaşılmak istenen hedefler bütünüdür.
- **Karar Kriteri (ölçütü):** Karar vericinin alternatifler arasından tercih yapması gereken durumlarda, dikkate aldığı değer yargılarıdır.
- **Alternatifler (seçenekler):** Karar vericinin belirlediği amaca ulaşabilmesi için belirlediği tercihlerdir.
- **Olaylar (karar ortamı):** Karar vericilerin içinde dahil olduğu ve olamadığı durumlarda seçenekler arasından tercih yapmasını gerektiren durumlarda karar verme ortamıdır.
- **Sonuçlar (ödemeler):** Uygun yöntemler kullanıldıktan sonra seçilen alternatiftin getirdiği getiridir.

Karar verme problemlerinde kararın verilmesini etkileyen çokça bileşen vardır. Bu bileşenler arasında; coğrafi koşullar, karar vericilerin yetkinlikleri, erişilmesi planlanan amaçlar, alternatifler, alternatiflerin neticeleri gibi faktörler sayılabilmektedir [34].

Karar problemlerinde karara etkisi olan en önemli etkenlerden biri karar vericinin kişilik özelliğidir. Verilen kararda karar vericinin ruhsal durumu da oldukça etkilidir. Karar verici aktif ve atılgan bir karaktere sahip ise işletme ihtiyaçları doğrultusunda hareket eder.

Karar problemlerinde yetkili olan karar verici olsa da, karardan birçok kişi etkilenebilir. Karar problemlerinin sonuca ulaşabilmesi için aşağıda belirtilen kişilerin de dahil olması gerekir.

- **Karar vericiler:** Kararı veren birey ya da bireylerdir.
- **Çözüm kullanıcısı:** Problem çözümünü kullanan, fakat problem sonucunu hiçbir şekilde değiştiremeyen kişi ya da kişilerdir.
- **Karardan etkilenenler:** Verilen kararın sonucundan etkilenen birey ya da bireylerdir.
- **Karar analisti / Problem çözücü:** Sorunu teşhis eden, karar verici için alternatif çözüm önerileri sunan, problem çözümünde yardımcı olan birey ya da bireylerdir [35].

2.3 Karar Verme Çeşitleri

Yapılan araştırmalar sonucunda karar verme çeşitlerinin üç ana başlık altında toplandığı görülmüştür [39,40]. Bunlar, mevcut bilgiler açısından karar verme, karar verici/vericiler açısından karar verme ve kriterler açısından karar vermedir.

2.3.1 Mevcut Bilgiler Açısından Karar Verme

Karar verme, koşullardaki belirlilik ve belirsizlik durumuna göre iki ana grupta incelenmiştir [39]. Bu süreçte karar vericilerin sahip olduğu veriler ve deneyimler karar seviyesini değiştirebilmektedir. Probleme ilişkin eldeki bilgilerin çoğalmasıyla belirlilik düzeyi, bilgilerin azalmasıyla da belirsizlik düzeyi artmaktadır [40].

2.3.1.1 Belirlilikte Karar Verme

Kavram olarak belirlilik karar komitesi içinde yer alan karar vericilerin problem çözümü için ihtiyacı olan tüm verilerin cevabını almasını içerir. Bir işletme içerisindeki yönetim koşulları, işletim giderleri, işletim ölçütleri ya da verilen kararların ihtimal sonuçlarının yetkili kişilerce haberdar olunması bu konuyla ilişkilidir [41]. Karar vericiler belirlilik durumlarında gelecek problemlerin sonuçlanması için daha iyi ilgili tahminler yapabilmektedirler [40]. Tüm bilgiler bilindiği ve açık olduğu için bu karar verme yöntemi oldukça kolay ve yaygındır [39].

2.3.1.2 Belirsizlikte Karar Verme

Belirsizlik altında karar verme yöntemi ise; hiçbir bilginin tam olmadığı ilerde gerçekleşebilme ihtimallerden bile emin olunmadığı zamanlarda oluşan karar verme yöntemidir [41]. Belirsizlik altında karar verme yönteminde tercih edilecek alternatifler hakkında eksiksiz bilgiye sahip olunmaz. Örneğin; işletme için gelecek yıllardaki kar, satın alma maliyetleri, yıllık kazanç tam olarak bilinmez ve tahmin edilmesi oldukça zordur.

2.3.2 Karar Vericiler Açısından Karar Verme

Karar vericiler açısından karar verme yöntemi iki ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar bireysel karar verme ve grup kararı vermedir [40].

2.3.2.1 Bireysel Karar Verme

Bu yöntemde verilecek olan karar tek bir kişiye aittir. Karar veren kişi, belirlenen karar seçenekleri arasından ihtiyaçlarına en uygun olanı seçer [40].

2.3.2.2 Grup Kararı Verme

Grup kararı verilen problemlerde grup üyeleri her zaman oy birliği ile karara ulaşmaz, fakat seçenekler hakkında tüm üyeler yeterince bilgi sahibidir ve seçenekleri değerlendirir. Verilen karar sonucunda olası tüm yükümlülükler ekip üyelerince paylaştırılır, sonuca herkes katlanır [39].

2.3.3 Kriterler Açısından Karar Verme

Kriterler açısından karar verme tek kriterli karar verme ve çok kriterli karar verme olmak üzere ikiye ayrılır. Tek kriterli karar vermede, karar verme süreci sadece bir tek kritere bağlı olarak gerçekleşirken, çok kriterli karar vermede pek çok kritere bağlı olarak gerçekleşir [39,40].

2.3.3.1 Tek Kriterli Karar Verme

Problem çözümünde yer alan karar verme adımlarının tümünün yalnızca bir ölçüt baz alınarak değerlendirilmesidir. Alternatiflerin analizi sadece bir ölçüt baz alınarak gerçekleştirilir. Doğrusal programlama yöntemi tek kriterli karar verme yöntemine örnek gösterilebilir. Doğrusal programlama yöntemiyle getiriği maksimum, gideri ise minimum yapmak hedeflenir [40]. Tek bir ölçüte bağlı olarak, seçenekler arasından birini tercih etmek oldukça basit ve kullanışlıdır. Bu şekildeki basit problemler kolay matematiksel hesaplamalar aracılığıyla çözümlenebilmektedir [31].

2.3.3.2 Çok Kriterli Karar Verme

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) birden çok ölçüte göre seçeneklerin faydalarını ve zararlarını analiz eden yöntemlerden oluşur [42]. ÇKKV, kararın verilmesinde etkili olan adımlara yardım etmek ve çoğunlukla çatışma yaşanan ölçütler baz alınarak değerlendirilen seçeneklerden sadece birinin ya da birden fazlasının değerlendirilmesinde kullanılır [43]. Seçenekler belirlenen ölçütler baz alınarak derecelendirilecek ve belirlenen her bir ölçütle örtüşmeleri doğrultusunda değerlendirilecektir. Değerlendirme sonuçlarına göre seçenekler kendi aralarında sıralanacaktır [40]. Fazla sayıda ölçüte sahip problemlerde; kriterlerin hangi doğrultuda olduğu, neyi hedeflediği, ölçütler arasındaki ilişkiyi dikkate almak oldukça önemlidir. Örneğin işletmeyi büyütmek için yeni bir tesis kiralanmak istendiğinde; getirinin üst düzeyde, yatırım maliyetlerinin ise en alt seviyede olması hedeflenebilmektedir [31]. ÇKKV yöntemlerine ayrıntılı olarak bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

İşletmeler devamlılıklarını sağlamak, ihtiyaçlarını gidermek amacıyla farklı düzeylerde karar vermek durumdadırlar. Karar verme grubu içerisinde yer alan üyeler karar verirken, proste gerçekleşen adımların doğruluğuna ve bilgilerin gerçekçi olmasına özen gösterirler. Bundan sebeple; problem çözmek için kullanılan karar verme prosesi adımlarının anlaşılır ve gerçekçi olması karar verme grubu üyeleri için oldukça önemlidir. Farklı karar verme problemleri ile karşılaşan yetkililer için çözümü güç olaylardan biri, belirlenen seçeneklerden arasından ihtiyaçlarla en iyi örtüşenin tercih edilmesidir. Bu seçim sürecinde birbiriyle çelişkide olan çok sayıda ölçüt olduğundan klasik seçim yöntemlerinin kullanılması doğru sonuç vermeyebilir. ÇKKV yöntemleri artık çok fazla alanda kullanılmaya başlanmış ve yaygınlaşmıştır [44].

Karar verme sorunları genellikle çelişkili çok ölçütü barındırmaktadır. Örnek olarak tesisini büyütmek isteyen bir girişimci hem girişim sonucundaki kazancını hem de maliyetini düşünmek durumundadır. Farklı bir örnek olarak çocuğunu özel okula yazdırmak isteyen ebeveyn, okulda bulunan öğretmenlerin yetkinliklerine, öğretilen yabancı dil sayısına, okulun sağlayabileceği faaliyetleri hem de okulun yıllık ücretini aklında tutmamalıdır. Yine örnek olarak bir işletme farklı alanlarda değerlendirmek üzere birini işe almak istediğinde, başvuru yapanların yalnızca tecrübesini dikkate almaz, kendini yetiştirme şeklini, kişilerin sahip olduğu özellikleri de dikkate alır [45].

Sadece bir ölçüt dikkate alınarak karar verilecek ise tek kriterli karar verme yöntemlerini, çok sayıda ve birbiri ile çelişkili kriterleri barındıran karmaşık problemlerin çözümünde ise çok kriterli karar verme yöntemleri kullanmak doğru olacaktır [45].

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde, karar verme ekibi üyelerince çok sayıda seçeneğin belirli ölçütler dikkate alınarak gerçekleşir. ÇKKV yönteminde izlenen adımlar aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

- Problemlerle ilişkili seçim kriterleri, alternatifleri tanımlanır.
- Kriterlerin göreceli önem ağırlıkları hesaplanır.

· Her bir alternatif tüm ölçütler dikkate alınarak analiz edilir ve belirlenen seçeneklerin tercih sıralaması yapılır.

ÇKKV yöntemleri, 1960'lı yıllarda karar vermeye yardımcı olacak birtakım araçların gerekli olduğu düşünülmesiyle gelişmeye başlamıştır. ÇKKV yaklaşımları alternatifler arasından seçim, alternatiflerin sıralanması, kıyaslanması gibi karar problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. ÇKKV yönteminde tek bir amaç bulunmaktadır. Amaç karar problemi için en ideal (en çok fayda, en az maliyet) alternatifi belirlemektir. Analitik Hiyerarşi Prosesi, Analitik Ağ Prosesi, TOPSIS, VIKOR, Gri İlişkisel Analiz, MOORA, PROMETHEE, ELECTRE, MACBETH vb. birçok yöntem ÇKKV yaklaşımları arasında sayılabilir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin tercih edilmesindeki en önemli etken seçenek ve ölçütlerin fazla ve karmaşık olduğu durumlarda, karar vermeyi kolaylaştırmak, çözüme pratik olarak ulaşmayı sağlamaktır.

3.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Bu kısımda, çok kriterli karar verme yöntemlerinden, çalışmanın uygulama kısmında kullanılan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemleri verilmiştir.

3.1.1 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ilk olarak Hwang ve Yoon [46] tarafından çok ölçütlü karar gerektiren problemleri çözebilmek amacıyla önerilmiştir. TOPSIS yöntemi; tercih edilen seçeneğin, pozitif ideal çözüme en yakın (PIS), negatif ideal çözüme (NIS) en uzak mesafede olması ilkesine dayanmaktadır. Bir ölçütün ulaşılmak istenilen hedefe yahut pozitif ideal çözüm noktasına en kısa mesafede olması karar vericileri memnuniyetini tek başına karşılamaz, aynı zamanda NIS'a da uzak olması gerekir. Pozitif ve negatif ideal çözümlerin referans noktası olarak tercih edilmesi yıllardır kullanılan bir yaklaşımdır [47].

3.1.1.1 Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümler

İdeal çözüm, bütün ölçütler değerlendirildiğinde tercih edilen seçeneğin bu ölçütleri sağlayabilmesidir. Fakat bazen ideal çözüme ulaşılamaz ya da bulunamaz. Böyle problemlerde

ideal çözüme en kısa mesafedeki noktanın seçilmesi uygun olur. İdeal nokta o mevcut durumdaki sınırlamalara göre değişebilmektedir.

Pozitif İdeal Çözüm:

$$A^* = (x_1^* \dots x_j^* \dots x_n^*) \quad (3.1)$$

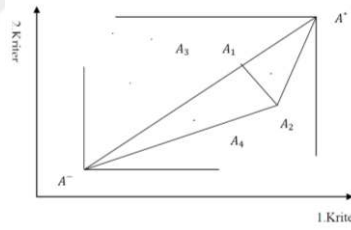
x_j^* değeri bütün alternatifler arasında j'inci kriter için en uygun değerdir.

Negatif İdeal Çözüm:

$$A^- = (x_1^- \dots x_j^- \dots x_n^-) \quad (3.2)$$

x_j^- değeri bütün alternatifler arasındaki j'inci kriter için en uygun olmayan değerdir.

Pozitif ideal çözüme en yakın çözüm noktası ile negatif ideal çözüme en uzak çözüm noktası genellikle aynı olur. Bazı zamanlarda bu iki nokta birebir sonucu vermeyebilir. Şekil 3.1'de gösterilen A1 ve A2 alternatiflerini değerlendirsek A2, A*'a en yakın noktadır, ama A2 ise aynı zamanda A-'den en uzak noktadır.



Şekil 3.1 İki Boyutlu Uzayda Pozitif-İdeal ve Negatif İdeal Çözümler Kümesi [48].

3.1.1.2 TOPSIS Yöntemi Uygulama Aşamaları

Adım 1: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması: Karar matrisinin satırlarında değerlendirilecek olan karar alternatifleri, sütunlarında karar vermede dikkate alınacak değerlendirme ölçütleri bulunur. A matrisi karar verici ya da karar vericiler tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

A_{ij} matrisinde m alternatif sayısını, n değerlendirilecek kriter sayısını ifade etmektedir.

Adım 2: Normalize Karar Matrisinin (R) Oluşturulması: Normalize Karar Matrisi, oluşturulmuş olan başlangıç matrisinden yararlanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (3.3)$$

R matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması: Değerlendirme kriterlerine yönelik ağırlık değerleri (w_i) belirlenir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 4: Pozitif İdeal (A^+) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması: TOPSIS yöntemi, bütün değerlendirilecek unsurların düzenli azalan ya da düzenli artan bir meyile sahip olduğu esasına dayanır. İdeal çözümün yaratılabilmesi için V matrisindeki ağırlık ile çarpılmış kriterlerinin yani sütunda yer alan değerlerin en büyüğü (değerlendirilecek unsur maliyet yönlü ise en küçüğü) tercih edilir. Pozitif ideal çözüm setinin bulunmasına aşağıda yer verilmiştir.

$$A^* = \{ (i^{maxv_{ij}} | j \in J), (i^{minv_{ij}} | j \in J') \} \quad (3.4)$$

Yukarıda verilen formülden hesaplanan set $A^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_n^*\}$ şeklinde ifade edilir. Negatif ideal çözüm seti, V matrisindeki ağırlık ile çarpılmış değerlendirme kriterlerinin

sütunda yer alan değerlerin en küçüğü (değerlendirilecek kriter fayda yönlü ise en büyüğü) tercih edilir. Negatif ideal çözüm setinin bulunmasına aşağıda yer verilmiştir;

$$A^- = \{(i^{maxv_{ij}} | j \in J), (i^{minv_{ij}} | j \in J')\} \quad (3.5)$$

Yukarıdaki verilen formülden hesaplan set $A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\}$ şeklinde gösterilir. Her iki formülde J fayda (maksimizasyon), J' maliyeti (minimizasyon) ifade etmektedir. Pozitif ve negatif ideal çözüm setleri, değerlendirme kriteri sayısı “m” kadardır.

Adım 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması: TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme kriter değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm setinden ne kadar ayrıldığıının hesaplanabilmesi adına Euclidian Uzaklık Yaklaşımına başvurulur.

Bulunan karar noktalarıyla ilgili sapma değerleri ise Pozitif İdeal Ayırım (S_i^*) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) ölçüsü şeklinde ifade edilmektedir. Pozitif İdeal Ayırım (S_i^*) ölçüsünün bulunması ile Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) ölçüsünün bulunması ise aşağıda yer alan formüllerde gösterilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.6)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.7)$$

Hesaplanan S_i^* ve S_i^- sayısı karar alternatif sayısı kadardır.

Adım 6: İdeal Çözüme Görelî Yakınlığın Hesaplanması: Her bir karar noktasının ideal çözüme görelî yakınlığının (C_i^*) bulunmasında pozitif ideal ve negatif ideal sapma değerleri kullanılır. Belirtilen değer, negatif ideal ayırım ölçüsünün, pozitif ve negatif ideal ayırım ölçüsünün toplamındaki paydır. İdeal çözüme görelî yakınlık değerinin hesaplanması aşağıda gösterilmiştir;

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (3.8)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer almaktadır. $C_i^* = 1$ ise belirtilen karar noktasının pozitif ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ise belirtilen karar noktasının negatif ideal çözüme salt yakınlığını ifade eder. En iyi ya da optimal seçeneğe C_i^* 'in tercih sırasına göre karar verilebilir. Bu sebeple, en doğru seçenek optimal çözüme en yakın mesafede bulunan seçenektir.

3.1.2 VIKOR Yöntemi

Karar vermede yetkili olan kişilerin kesin hükme erişmek amacıyla uzlaşık çözüme erişmelerine olanak tanıyan VIKOR yöntemi Opricovic tarafından 1998 yılında önerilmiştir. Karar verme durumunda olan kişilerin belirlenen seçenekler üzerinde onay noktalarını tanımlamak için uzlaşık kelimesi kullanılmaktadır. Uzlaşık çözüm, üst seviyede ekip yararına etki ederken, en alt seviyede bireysel pişmanlığı sunmaktadır [49]. VIKOR yönetimi için Opricovic ve Tzeng (2007) [50] Karthik vd. (2011) [51], Yıldırım ve Önder (2014)'de [52] yer alan adımlara benzer aşamalar takip edilmiş ve aşağıda gösterilmiştir:

- Karar matrisinin oluşturulması
- En iyi ve en kötü değerlerin tespit edilmesi
- Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması
- Ağırlıklandırılmış karar matrisinin elde edilmesi
- Bütün seçenekler için S_j ve R_j değerlerinin hesaplanması
- Bütün seçenekler için Q_j değerlerinin hesaplanması
- Seçeneklerin S , R ve Q değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralanması ve bu şartların sağlanıp sağlanmadığının değerlendirilmesi

3.1.2.1 VIKOR Yöntemi Uygulama Aşamaları

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması: Satırlar alternatifleri (m), sütunlar ise kriterleri (n) gösterecek şekilde karar matrisi oluşturulur [53].

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 2: Bütün ölçütler için en iyi ve en kötü değerlerin belirlenmesi: Bu değerlerin belirlenmesinde dikkate alınan nokta kriterlerin oluşturulan model üzerindeki fayda veya maliyete olan etkisidir. i. kriter yapılan model açısından fayda yönlü bir değerlendirme kriteri ise f_i^* ve f_i^- değerleri aşağıda gösterilen (3.9) ve (3.10) numaralı formüller yardımı ile hesaplanır [53].

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.9)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (3.10)$$

Eğer i. ölçüt oluşturulan model bakımından maliyet yönlü bir değerlendirme ölçütü ise f_i^* ve f_i^- değerleri aşağıda gösterilen (3.11) ve (3.12) numaralı formüller yardımı ile hesaplanır.

$$f_i^* = \min_j f_{ij} \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.11)$$

$$f_i^- = \max_j f_{ij} \quad (3.12)$$

Adım 3: Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması: Normalize edilmiş karar matrisi aşağıda gösterilen formül yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{f_j^- - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (3.13)$$

Adım 4: Ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulması: Normalize edilmiş olan karar matrisindeki sütunlar ile ağırlıkların çarpılması sonucunda ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

$$v_{ij} = r_{ij} * w_i \quad (3.14)$$

Adım 5: Her bir alternatifin S_j ve R_j değerlerinin hesaplanması: S_j , R_j değerleri için $j = 1,2,\dots,j$ hesaplaması yapılır. S_j , R_j değerleri j. alternatif için ortalama ve en kötü ekip derecesini ifade etmektedir. Burada w_j ölçüt ağırlığı olarak ele alınır. Kriter ağırlıkları toplamı 1'e eşit olmalıdır [53].

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_j \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \quad (3.15)$$

$$R_j = \max_j (w_j \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}) \quad (3.16)$$

Adım 6: Her bir alternatifin Q_i değerinin hesaplanması: Her bir i alternatifi için Q_i değerleri hesaplaması yapılır [54].

$$S^* = \min\{S_i\} \quad (3.17)$$

$$S^- = \max\{S_i\} \quad (3.18)$$

$$R^* = \min\{R_i\} \quad (3.19)$$

$$R^- = \max\{R_i\} \quad (3.20)$$

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1-v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (3.21)$$

Denklem 3.21’de yer alan v değeri, üst düzeyde ekip yararına etki eden stratejinin ağırlığını göstermektedir. $(1 - v)$ değeri ise, zıt görüşte olanların en düşük seviyedeki pişmanlığının ağırlığını göstermektedir. Bu v değeri çoğunlukla 0,5 olarak alınmaktadır.

Adım 7: Alternatiflerin S , R ve Q değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak şartların belirlenmesi: Aşağıda verilen iki koşulun sağlanması durumunda en küçük Q değerine sahip olan seçenek (A') uzlaşık çözüm olarak kabul edilir [55].

1.Koşul: C1 Kabul Edilebilir Avantaj

$$Q(A^2) - (Q(A^1)) \geq 1/(J - 1) \quad (3.22)$$

A^2 değeri, sıralamada en iyi ikinci sırada olan seçenektir.

2.Koşul: C2 Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar

En iyi Q değerine sahip alternatif, S ve R değerinin de en az birinde en iyi sonucu vermelidir. Şayet belirlenen bu şartlardan herhangi birisini vermiş olmaması durumunda uzlaşık çözüm şu şekilde önerilmektedir:

- i. C2 koşulu gerçekleşmiyorsa; A^1 ve A^2 alternatifleri uzlaşık çözüm kümesi içerisinde yer alır.
- ii. C1 koşulu gerçekleşmiyorsa; $A^1, A^2, \dots, A^m$ alternatifleri göz önüne alınarak, $Q(A^m) - Q(A^1) < 1/(J-1)$ eşitliğini gerçekleştiren seçenekler uzlaşık çözüm kümesi için önerilirler. (m değeri küme içerisindeki alternatif sayısını ifade etmektedir.)

4.BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER TEORİSİ

4.1 Bulanık Mantık

Bulanık mantık, literatüre Dr.Lütfi Askerzade Zadeh'in 1965 yılında yayınladığı "Bulanık Kümeler" konulu yazısıyla kazandırılmıştır. Bu çalışma net limitleri olmayan objelerin meydana getirdiği bulanık küme teorisini doğurmaktadır [56].

Bulanık mantık bilhassa açıklanması zor konuşulmaya açık ve karışık, yeterli veriye sahip olunmayan zamanlarda, bireylerin akıl yürütmesine, anlayabilmesine ya da karar alma durumuna dayanan durumların çözülmesine katkı sağlamaktadır. Klasik mantığın (iki değerli mantığın) dayandığı ana hipotez "her önerme ya doğrudur ya da yanlıştır", Aristo'dan günümüze kadar tartışma konusu olmuştur. Aristo, "Yorum Üzerine" adlı kitabında geleceğe bağlı konuların doğruluk durumlarını yorumlamaktadır. Aristo'ya göre gelecek olaylar ile ilgili savlar, ne hakikaten doğrudur ne de hakikaten doğru değildir. Ama belirtilen durumlar olağan, gerçekleşmesi mümkündür. Bu sebeple bu savların doğruluk değerleri olay gerçekleşinceye kadar kesinlik kazanmaz [57].

Çağımızda doğruluk dereceleri yorumların savların gelecek olaylar ile sınırlandırılmadığı bilinmektedir. Klasik mantığın aksine bulanık mantıkta belirli önermelerin doğruluk değerleri; doğru, yanlış ve belirsiz olmak üzere sırasıyla "1", "0" ve "sıfırla bir arasında" değerler almaktadır.

Bulanık mantık, klasik mantığın büyütülmesiyle meydana gelmiştir. Bulanık mantık için bulanık küme teorisine ihtiyaç duyulmaktadır. Amacı, kesinleşmeyen savların yargıya varması için temeller meydana çıkarmaktır. Bulanık mantık bulanık ifadelerin (ucuz, yeni, iyi, kötü, kısa, yakın, çoğunlukla vb.), bulanık sayısal ifadelerin (fazla, düşük, bütünü, çoğunluğu vb.), bulanık doğruluk değerlerinin (oldukça doğru, çok doğru, biraz doğru, kesinlikle yanlış, vb.) ve bulanık niteliklerinin (ihtimal dışı, olanaksız vb.) bulanık değerlerle ölçülebilir olmasına olanak sağlamalıdır [58].

4.2 Bulanık Kümeler Teorisi

Bulanık küme, kümeye aitlik derecesi üyelik değeri ile tanımlanmış olan kümeyi gösterir. Bulanık küme kavramı, Zadeh'in, klasik sistem kuramının matematiksel metotlarının reel yaşamdaki birçok sistem ile, bilhassa kişileri barından nispeten karmaşık sistemlerle, uğraşırken eksik kalmasından dolayı doğmuştur.

Örnek verecek olursak, “hava soğuk” diye belirtildiğinde kişiler hava sözcüğünün günlük yaşamdaki kullanım şeklini ifade ettiğini anlar. Fakat “soğuk” kavramı kişiler için göreceli olabilir. Ekvator etrafında bulunan kişi için 20 °C bile soğuk sayılır iken kutuplar da yaşayan bir kişi için bu derece oldukça sıcaktır. Bu sebeple sıcaklık, soğukluk, uzunluk, kısalık vb. kavramlar kişiden kişiye göre değişebilmekte ve belirsizlik taşımaktadır. Bu şekilde kelimelerin ifade ettiği belirsizliklere bulanıklık (fuzziness) denir [59].

Klasik küme kavramında bir öğeden bir diğer öğeye geçmek, net ve değişen üyelik dereceleri kullanılarak sağlanmaktadır. Fakat, bulanık kümelerde bu geçiş kesin olmayan ve devamlı şekilde meydana gelmektedir. Klasik kümelerde bir ögenin belirlenen kümeye ait olması için üyelik derecesinin kesinlikle 1'e eşit olması gerekirken, bulanık kümede hemen hemen bütün öğelerin değişik derece seviyelerine sahip olması o kümenin elemanı olabileceğini belirtir [59].

Bulanık küme içerisinde yer alan bir öğe a karakteristik nitelikleri korumak şartıyla başka bir kümenin de elemanı olabilir. Aristo'ya göre bireylerin kilosuna bakıldığında birey ya kiloludur ya da kilolu değildir. Fakat; Zadeh'e göre kilo kavramının farklı çeşitleri vardır. Birey gerçekten kilolu olarak seçilmişse bu kilonun üzerindeki ve aşağısındaki değerler, kiloluğa ait olma derecesi biraz daha düşük olmakla beraber kilolular kümesine dahil edilmektedir.

Klasik kümede, bir X kümesindeki A alt kümesi, kendisine ait karakteristik fonksiyonu μ_A şeklinde ifade edilir. Bu fonksiyon, X'in elemanlarını $\{0,1\}$ değer kümesine çevirir. $\mu_A \rightarrow \{0,1\}$ Bu değişim, X'in her elemanı için bir sıralı ikili kümesiyle gösterilmektedir. “X, A'nın içindedir” şeklindeki bir önermenin doğruluğu, $(x, \mu_A(x))$ sıralı ikilisiyle belirli olmaktadır. Eğer sıralı ikilinin ikinci elemanı 1 ise önerme doğrudur, 0 ise doğru değildir. X kümesinin alt kümesi olarak tanımlanan A bulanık kümesi, sıralı ikililer kümesi şeklinde gösterilebilir. Bu sıralı ikilinin birinci elemanı, X'in bir elemanı iken, ikinci elemanı ise $[0,1]$ aralığında bir değer kümesidir.

Bulanık kümedeki yatay eksenindeki gerçek sayıların hepsi, dikey ekseninde 0 ile 1 arasında değişen üyelik mertebelerine dönüştürülür. Böylece yatay eksenindeki bir gerçek sayı x ile tanımlanırsa üyelik derecesi $\mu_A(x)$ şeklinde ifade edilir, $0 \leq \mu(x) \leq 1$ olarak anlaşılır [60].

4.3 Bulanık Sayılar

Sözel olmayan bilgiler bireyler tarafından net şekilde ifade edilemezler. Bu sebeple bulanık sayılar net bir şekilde tanımlanamayan sözel olmayan ifadelerin açıklanmasına fayda sağlar. “100 civarında”, “0’a yakın”, “50’ den küçük” gibi tanımlamalar bulanık sayıların kullanımına birer örnek olarak gösterilebilir. Bulanık alt kümeler teorisi kullanılarak bu bulanık sayılar gerçek sayılar kümesinin bir bulanık alt kümesi olarak tanımlanır.

Bulanık bir A sayısı aşağıda tanımlanan üç koşulu sağlamalıdır:

1. A normal bir bulanık küme olmalıdır.
2. A dışbükey bir bulanık küme olmalıdır.
3. A’nın desteği, 0^+_A , sınırlı olmalıdır.

Herhangi bir $M = \{x, \mu_M(x)\}$ alt kümesi, burada x reel sayılar kümesinde, $\mu_M(x)$ ’te $[0,1]$ aralığında değerler alır. Üyelik fonksiyonu M ’nin belirli bir x sayısını alma doğruluk mertebesini ifade etmektedir. İki bulanık sayı yalnızca üyelik fonksiyonları eşit ise eşittir [61].

Çoğunlukla, çalışmalarda üçgen ve yamuk bulanık olmak üzere iki çeşit bulanık sayı ele alınır. $\tilde{A}$ bulanık kümesi ile ifade edilen bir üçgen bulanık sayının matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir;

$$\mu_A(x) = \mu_A(x;a,b,c) = \begin{cases} a \leq x \leq b \Rightarrow \frac{x-a}{b-a}, \\ b \leq x \leq c \Rightarrow \frac{c-x}{c-b}, \\ x > c \text{ veya } x < a \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

a ve c bulanık küme desteğinin, sırasıyla alt sınır ve üst sınır değerlerini ifade ederken, b ise tam üyelikli tek sayıyı ifade etmektedir. Benzer olarak yamuk bulanık sayılarda ise bu defa a,b,c ve d olmak üzere, dört adet sayı ile tanımlanır. Yamuk sayıların matematiksel gösterimi ise üçgen sayıya benzer olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

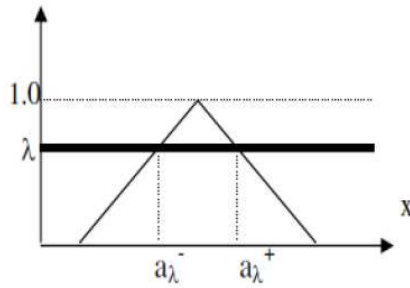
$$\tilde{u}_A(x) = \tilde{u}_A(x;a,b,c,d) = \begin{cases} a \leq x < b \Rightarrow \frac{x-a}{b-a}, \\ b \leq x < c \Rightarrow 1, \\ c \leq x < d \Rightarrow \frac{d-x}{d-c}, \\ x > d \text{ veya } x < a \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

Bulanık sayıların aritmetik işlemlerinde kullanılmak üzere, bunların belirli 1 seviyesinden kesimleri üzerinde durulmuştur. $\lambda=1$ olduğunda sayı gerçek sayıya dönüştürülürken, $\lambda=0$ olması durumunda ise tam bulanık, yani aralık sayıya dönüşür. $0<\lambda<1$ olması durumunda aynı bulanık sayının 1 seviyesinde kesik bulanık alt kümesi düşünülmektedir. Bir $\tilde{A}$ bulanık alt kümesinin 1 seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesikli bulanık küme;

$$\tilde{A}_\lambda = \{ x \in \tilde{A} \mid \tilde{u}_A(x) \geq \lambda \} \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir.

$\tilde{u}(x; a,b,c)$



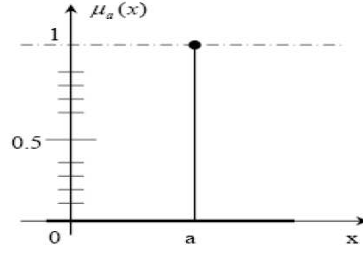
Şekil 4.1 Bulanık Sayı Kesim Seviyeleri [59].

Bir bulanık alt kümenin λ seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesilmiş bulanık kümenin a_λ^+ ve a_λ^- gibi, bir üst sınır değeri bir de alt sınır değeri elde edilir.

4.3.1 Güven Aralıkları

Şekil 4.2 $a \in \mathbb{R}$ olacak şekilde bir adi a sayısını ifade etmektedir.

$$\mu_A = \begin{cases} 1, & x = a \\ 0, & x \neq a \end{cases} \quad (4.4)$$

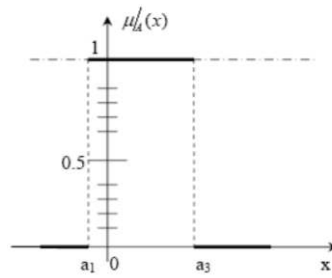


Şekil 4.2 Adi Bir A Sayısı [62].

Şekil 4.3'te gösterildiği gibi $[a_1, a_3]$ güven aralığında bir $A \in R$ sayısı tanımlanırsa;

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x < a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (4.5)$$

Reel sayılar da güven aralığı bir belirsizliği gösteren R 'nin adi bir alt kümesidir. Yani A , a_1 'den küçük değere ve a_3 'ten büyük bir değere sahip olamaz. Güven aralığının sembolik gösterimi çoğunlukla $A = [a_1, a_3]$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 4.3 Güven Aralığı ile Bir A Sayısı [62].

Genel olarak bulanık bir sayı Reel sayılarda “normal” ve “konveks” olan bulanık bir alt kümedir.

Normallik;

$$\exists x \in R: \forall x \mu_A(x) = 1 \quad (4.6)$$

(4.6)' da ifade edilen formül bulanık kümenin R'deki en büyük değeri "1"dir anlamını taşır.

"konveks"lik, x eksenine paralel olan bir α kesimi,

$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] \text{'nin} \quad (4.7)$$

$$a' < a \rightarrow (a_1^{(a')} \leq a_1^{(a)} \leq a_3^{(a')} \leq a_3^{(a)}) \quad (4.8)$$

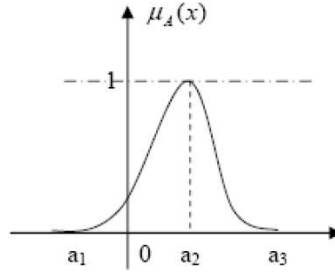
özelliğini sağladığı ifade eder. Diğer bir deyişle A_α ile α kesimini;

$$A_a = [a_1^{(a)}, a_3^{(a)}] = A_{a'} = [a_1^{(a')}, a_3^{(a')}] \quad (4.9)$$

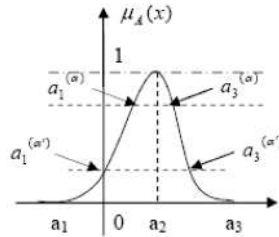
İfade edecek olursak konvekslik şartı;

$$a' < a \rightarrow (A_a \subset A_{a'}) \quad (4.10)$$

Anlamına gelmektedir.



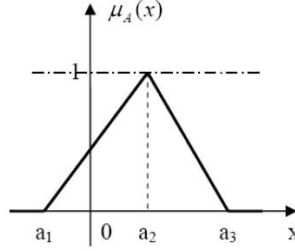
Şekil 4.4 Bir A Bulanık Sayısı [62].



Şekil 4.5 α Kesimi ile Normal ve Konveks Bir Bulanık Sayı [62].

4.3.2 Üçgen Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar ebedi kümelerle sahiptir. Üçgen bulanık sayılar da bu kümelerin bir alt sınıfıdır. A üçgensel bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3) şeklinde gösterilir.



Şekil 4.6 Üçgensel Bulanık Sayı $A = (a_1, a_2, a_3)$ [62].

Üçgensel bulanık sayılar için üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (4.11)$$

Alternatif olarak α seviyesinde güven aralığını tanımlanırsa üçgen bulanık sayı $\forall \alpha \in [0,1]$ için;

$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] = [a_2 - a_1] \alpha + a_1, - (a_3 - a_2) \alpha + a_3 \quad (4.12)$$

olarak karakterize edilir.

4.3.2.1 Üçgen Bulanık Sayılar Üzerinde Tanımlanan Cebirsel İşlemler

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ üçgen bulanık sayıyı göstermek üzere;

- **Toplama İşlemi**

$$\tilde{A} (+) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) (+) (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (4.13)$$

- **Çıkarma İşlemi**

$$\tilde{A} (-) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) (-) (b_1, b_2, b_3) = (a_1-b_3, a_2-b_2, a_3-b_1) \quad (4.14)$$

- **Simetrijini Alma**

$$- (\tilde{A}) = (-a_3, a_2, a_1) \quad (4.15)$$

- **Çarpma İşlemi**

$$\tilde{A} (x) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) (x) (b_1, b_2, b_3) = (a_1xb_1, a_2xb_2, a_3xb_3) \quad (4.16)$$

- **Bölme İşlemi**

$$\tilde{A} (/) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) (/) (b_1, b_2, b_3) = (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1) \quad (4.17)$$

- **Tersini Alma İşlemi**

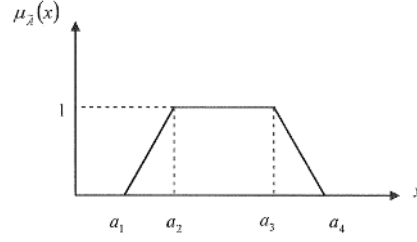
$$\tilde{A}^{-1} = \frac{1}{a_3}, \frac{1}{a_2}, \frac{1}{a_1} \quad (4.18)$$

4.3.3 Yamuk Bulanık Sayılar

Yamuk bulanık sayılar (a_1, a_2, a_3, a_4) şeklinde tanımlanır. Burada $[a_2, a_3]$, üyelik derecesi 1'e eşit olan aralığı temsil etmektedir. a_1 bulanık sayının alt sınır değerini, a_4 bulanık sayının üst sınır değerini gösterir. $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ olarak gösterilen bir bulanık sayı için üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (4.19)$$

şeklinde ifade edilir ve Şekil 4.7' de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.7 Yamuksal Üyelik Fonksiyonu [62].

Yamuk bulanık sayıların özellikleri üçgen bulanık sayılar ile hemen hemen aynıdır. $\forall \alpha \in [0,1]$ için; $A_\alpha = [a_2^{(\alpha)}, a_1^{(\alpha)}] = [a_2 - \alpha(a_2 - a_1), a_1 - \alpha(a_1 - a_3)]$ olur.

Üçgen bulanık sayıların bütün matematiksel işlemleri yamuk bulanık sayılar ile genişletilebilir.

4.3.3.1 Yamuk Bulanık Sayılar Üzerinde Tanımlanan Cebirsel İşlemler

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ yamuk bulanık sayıları ifade etmek üzere;

- **Toplama İşlemi**

$$\tilde{A} (+) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) (+) (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad (4.20)$$

- **Çıkarma İşlemi**

$$\tilde{A} (-) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) (-) (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 - b_4, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_1) \quad (4.21)$$

- **Simetriğini Alma**

$$-(\tilde{A}) = (-a_4, -a_3, a_2, a_1) \quad (4.22)$$

- Toplama, çıkarma ve simetriğini alma işlemlerinin sonuçları yamuk bulanık sayıyı gösterir.
- Yamuk bulanık üzerindeki çarpma, bölme ve tersini alma işlemleri kesin olarak yamuk bulanık sayıyı vermeyebilir.

- Yamuk bulanık sayılar üzerindeki maksimum ve minimum işlemleri kesin olarak yamuk bulanık sayıyı vermez, ancak yamuk bulanık sayılar ile bu işlemlerin sonuçlarına yaklaşılabılır.

4.4 Bulanık TOPSIS Yöntemi

Kişilerin tercihlerini gösteren kararlar ve ifadeler çoğunlukla belirsizdir. Kesin yargılar yerine sözel yargılarla ifade edilen tercihler gerçeği daha doğru yansıtır. Bulanık çok kriterli bir problem içinde yer alan ölçütlerin üstünlükleri ve kriter ağırlıkları sayısal olmayan niteliklerle belirtilir. Bulanık TOPSIS yöntemi, kesin olmayan bir durumda ortaya çıkan çok ölçütlü problemlerin ve fazla sayıda bireyin karar verme sürecinde yer aldığı ekip karar verme problemlerinin çözümünde tercih edilir. Bulanık TOPSIS yöntemi ilk kez Negi (1989)'nin doktora tezinde uygulanmıştır. Karar verileri içindeki ve ekip karar verme prosesindeki belirgin olmayan durum göz önünde bulundurulduğunda; net sayılar ile ifade edilemeyen değişkenler, süreçte yer alan bütün ölçütlerin ağırlıklarını analiz etmek ve bütün seçeneklerin ölçütleri baz alınarak derecelendirilmesini gerçekleştirebilmek amacıyla tercih edilir [63].

İlgili literatür incelendiğinde, bulanık TOPSIS algoritmasının tek bir karar verici tarafından uygulandığı birçok örnek mevcuttur.

[64] Jahanshahloo ve ark. çalışmalarında, bulanık sayılar ile karar vermede, Bulanık TOPSIS algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmada, bütün seçeneklerin değerlendirmesi ve bütün ölçütlerin ağırlığı üçgen bulanık sayılar kullanarak belirtilmiş ve α kesim değeri kullanılarak bulanık sayıların normalizasyonu sağlanmıştır.

[65] Bottani ve Rizzi, İtalya'da süt ürünleri üzerinde etkinliği olan bir işletmede, en doğru üçüncü parti lojistik (3PL) servis sağlayıcılarının belirlenmesinde on iki kriter tespit etmiştir. Belirtilen kriterler doğrultusunda üç alternatif lojistik ortağı arasından en uygun olanı bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak seçilmiştir.

[66] Küçük ve Ecer tedarikçi değerlendirme sorunu için bulanık TOPSIS yöntemini uygulamıştır. Fiyat, nakliye bedeli, ürün kalitesi, hatasız ürün miktarı, teslim süresine göre uygunluk, üretim kabiliyeti ve kapasitesi, sorumluluk almak, teslim miktarına uygunluk, ürünlerin teslim edilmesi kısıtları göz önünde bulundurulmuş, belirlenen kriterler

doğrultusunda bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmış ve çözüme ilişkin en iyi sonucu veren alternatif seçilmiştir.

[67] Eleren ve Ersoy, çalışmalarında mermer kesim yöntemlerinden en uygun olduğunu tespit edebilmek adına çalışmışlardır. Çalışmada dokuz alternatif ve on beş kriter dikkate almışlar ve bulanık TOPSIS yönteminden faydalananarak alternatiflerin son sıralamasını elde etmişlerdir.

[68] Kaya ve ark. bir fabrikada ihtiyaçları karşılayan en doğru CNC makinesinin tercih edilmesi için maliyet, operasyonel kolaylık, esneklik, güvenilirlik, satış sonrası servis ve teknik özellikler olmak üzere yedi adet kriter belirlemişlerdir. Gerçekleştirilen çalışmada üç alternatif makine bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmiştir.

[69] Yang ve Hung, tesis yerleşim sorununa çözüm bulabilmek amacıyla TOPSIS ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Belirlenen amaç doğrultusunda on sekiz alternatif altı kritere göre değerlendirilmiş TOPSIS ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır.

[70] Benitez ve ark., üç otelin servis kalitesini değerlendirmek için halkla ilişkiler hizmeti, bar servisi, akşam restoran mutfağı, sabah restoran mutfağı, havuz bahçe alanı temizliği, oda bakımı, boş zaman etkinliği, oda temizliği, resepsiyon desteği, akşam restoran servisi, sabah restoran servisi, çatal bıçak temizliği ve otelin genel görünüşü kriterleri olmak üzere on üç kriter belirlemişlerdir. Değerlendirmede yer alanların, objektif olmayan durumlarını dile getirmek için üçgen bulanık sayılardan yararlanılmış ve bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak belirtilen kriterler doğrultusunda en iyi sonucu veren alternatif otel tercih edilmiştir.

[71] Kahraman ve ark., bulanık ve sayısal olmayan veriler bulunduran karmaşık tercih sorunları için hiyerarşik Bulanık TOPSIS yöntemini geliştirmişlerdir. Ek olarak duyarlılık analizini de sunmuşlardır. Çalışmada üç farklı bilgi teknolojisi seçimi üzerine çalışılmış; somut fayda, maddi olmayan fayda, politika sorunları ve kaynaklar olmak üzere dört ana kriter belirlenmiştir.

[72] Kahraman ve ark., yeni ürün geliştirme prosesinin verimliliğini güçlendirmeyi amaçlamışlar ve problemi çözmek için çok nitelikli fayda yöntemi ile hiyerarşik Bulanık TOPSIS yöntemlerine dayanan iki aşamalı bütünleşik bir karar verme yaklaşımı sunmuşlardır. Belirlenen ana kriterler; fayda, stratejik etki ve risktir. Bu kriterler doğrultusunda on dört adet alternatif dikkate alınmış, ele alınan yöntemlerin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

[73] Kahraman ve ark., çalışmasında en iyi robotik sistemin seçilmesi üzerine yoğunlaşmışlardır. Amaç doğrultusunda ekonomik ve teknik özellikler olmak üzere iki ana kriter belirlemişler ve üç alternatifi değerlendirmişlerdir. Robot sistemi tercihinde hiyerarşik Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında, kritik parametreleri değiştirerek duyarlılık analizini kullandıkları örneği sunmuşlardır.

[74] Özçakar ve Demir, bulanık TOPSIS yöntemiyle tedarikçi tercihi yaparak maliyet, kalite, zamanında teslimat, esneklik, ödeme koşulları ve güvenilirlik ölçütlerini göz önünde bulundurmuşlar, belirlenen alternatifleri değerlendirmişlerdir.

[75] Kannan ve ark., çevrenin devamlılığı için yeşil tedarikçi seçimine konsantre olmuşlardır. Çalışmada on yedi kriter ve on iki alternatif belirleyerek işletmenin tedarikçileri için bulanık TOPSIS metodunu kullanmışlardır.

[76] Aslan ve ark., çalışmalarında olası afet senaryolarında halkın acil yardım gereksinimlerine kısa sürede cevap verilebilmesi amacıyla Düzce ilinde gerçekleştirilen uygulamada belirlenen dört adaydan en doğru olanı bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak tespit etmiştir.

[77] Moayeri ve ark. çalışmada, matematik öğretmeni seçebilmek adına üç alternatif belirlemişlerdir. Bunun için yaratıcılık, kişilik ve davranış olmak üzere üç ana kriter altında on altı kriter dikkate almışlardır. Bulanık AHP yöntemiyle ölçütlerin ve alt ölçütlerin üçgen bulanık ağırlıkları bulunmuş, Bulanık TOPSIS yöntemiyle de alternatiflerin sıralaması yapılmıştır.

[78] Sağır ve arkadaşları alternatif enerji kaynakları olarak yenilenebilir enerji, fosil enerji ve nükleer enerji kaynakları içerisinde Türkiye’de enerji üretimi için en uygun enerji kaynağını belirlemek için gerçekleştirdikleri çalışmada Bulanık TOPSIS yönteminden yararlanmıştır.

Bulanık TOPSIS algoritması, net olmayan durumlarda ekip kararı vermede tercih edilen, sözel parametreler ile gerçekleşen değerlendirmelere üyelik fonksiyonu tanımlayarak sözel olmayan bir biçimde ifade eden ve alternatifleri analiz etme olanağı tanıyan yöntemidir. Grup kararları grubun tercihlerini yansıtmalıdır. Bulanık TOPSIS algoritması, bir grup karar vericinin kriterler için belirledikleri önem ağırlıklarının ve alternatifler için yaptıkları değerlendirmelerin bir grup değerlendirilmesine dönüştürülmesine imkân tanımalıdır [79].

Literatürde bulanık TOPSIS yönteminde grup kararı olarak gerçekleşen çok sayıda çalışma mevcuttur.

[63] Chen ve ark. çalışmasında, bir yazılım şirketi için sistem mühendisi seçimini ele almıştır. Duygusal istikrarlılık, sözel iletişim yeteneği, kişilik, geçmiş tecrübeler ve kendine güven kriterlerini dikkate alarak üç aday belirlenmiş ve üç karar verici tarafından Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak en doğru tercih seçilmiştir.

[80] Chu ve ark., fabrika kuruluş yeri seçimi için; yatırım maliyeti, vasıflı işçi sayısı, ekipmanların mevcudiyeti ve genişleme olasılığı kriterlerini baz alarak üç alternatif belirlemiş ve üç karar vericinin sözel ifadelerinden faydalanarak Bulanık TOPSIS yöntemini uygulamıştır.

[81] Karsak, esnek üretim sistemi alternatiflerini değerlendirmek için sermaye ve işletme maliyeti, gerekli zemin alanı, süreç içinde çalışma, ürün esnekliği, hacim esnekliği, genişleme esnekliği, teslim zamanı azaltma ve kalite iyileştirme olmak üzere sekiz adet kriter belirlemiştir. Üç karar verici tarafından belirlenen kriterler değerlendirilmiş, sekiz alternatif göz önünde bulundurularak bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmış, alternatiflerin tercih sıralaması yapılmıştır.

[82] Chu ve Lin, robot seçimi için insan makine ara yüzü, satın alma maliyeti, programlama esnekliği, yük kapasitesi, satıcının hizmet sözleşmesi ve konumlandırma doğruluğu olmak

üzere altı kriter belirlemiştir. Dört karar verici tarafından alternatif üç robot bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmiştir.

[83] Saghafian ve Hejazi yaptıkları çalışmada bir üniversiteye profesör seçimi üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu amaç doğrultusunda üç profesör aday olarak belirlenmiş ve üç karar verici tarafından beş adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; yayınlar ve araştırmalar, öğrenim becerileri, sanayideki deneyimler, öğretimdeki deneyimler ve disiplini öğretmektir. Ekip karar verme için Bulanık TOPSIS yöntemini ele almışlar ve ihtiyaç duyulan analizler için MATLAB 6.5 paket programını kullanmışlardır.

[84] Tiryaki ve Ahlatçioğlu menkul kıymet tercihi için Chen (2001) tarafından sunulan metotun değiştirilmiş şekli olan yeni bir bulanık ÇKKV yaklaşımı önermişlerdir. Üç karar verici tarafından belirlenen altı kriter doğrultusunda İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda faaliyette olan menkul kıymetlerin değerlendirilmesi bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır.

[85] Yong, fabrika kuruluş yeri seçimi üzerine çalışmıştır. Üç kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur ve üç alternatif tesis yeri belirlenmiştir. Vasıflı işçiler, genişleme olasılığı, malzemelerin mevcudiyeti ve maliyet olmak üzere dört kriter belirlenmiştir. Yong, yeni bir bulanık TOPSIS yöntemi önererek alternatifleri değerlendirmiştir. Önerilen yaklaşımda, karmaşık bulanık aritmetik işlemlerden uzak durmak için üçgen bulanık sayılar ile gösterilen sayısal olmayan değişkenler, dereceli ortalama ile kesin sayılara dönüştürülmektedir.

[86] Dündar ve ark., bulanık TOPSIS algoritmasını kullanarak, sanal mağazaların web sitelerinin müşterilerin tercihlerini baz alarak sıralamasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında dört kişiden oluşan bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Karar vericiler dört sanal mağazanın web sitesi, dizaynı, ürün çeşitliliği, müşteri hizmetleri ve bilgi zenginliği kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

[53] Ertuğrul ve Karakaşoğlu, lisans ve lisansüstü eğitim veren kurumlarda akademik personel tercih sorunu için Bulanık TOPSIS yönteminin uygulanabilirliği üzerinde durmuşlardır. Bu amaç doğrultusunda üç profesör aday olarak belirlenmiş ve üç karar verici tarafından beş adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; yayınlar ve araştırmalar, öğrenim becerileri, geçmiş deneyimler, referanslar ve eğitimidir. Ekip ile karar verme için Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlar ve üç kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Çalışmada, seçeneklerin ve

ölçütlerin değerlendirilmesinde üçgen bulanık sayılar ile gösterilen sayısal olmayan değişkenlerden yararlanılmış ve iki üçgen bulanık sayının arasındaki uzaklık Vertex yöntemi ile hesaplanmıştır.

[87] Wang ve Chang, belirsizlik altında, eğitim uçaklarını değerlendirmede Bulanık TOPSIS algoritmasını önermişlerdir. Taiwan hava kuvvetleri akademisinden on beş uzmanın görüşlerine yer verilmiş, on altı değerlendirme kriteri bazında yedi eğitim uçağı, Chen'in (2000) Bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla değerlendirilmiştir.

[49] Wang ve Lee, bulanık çok ölçütlü grup karar verme için TOPSIS yöntemini ele almışlardır. Klasik TOPSIS yönteminin, ideal ve negatif ideal çözümün bulunması adımının dışındaki tüm adımlarının kolaylıkla bulanık ortama uyarlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu yüzden ideal ve negatif ideal çözümün bulunmasında kullanılmak üzere “Up” ve “Lo” olmak üzere iki işlem tanımlamışlardır. Sunulan yöntemin uygulanabilirliğini ifade etmek için, uluslararası havaalanının operasyon performansını değerlendiren sayısal bir örnek ele almışlardır. Örnek için dört kişilik bir karar verme grubu oluşturulmuş, on beş kriter ve üç alternatif göz önünden bulundurulmuş bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

[88] Li, Bulanık TOPSIS yöntemi ile uzlaşma oranı yönteminin karşılaştırmalı analizini sunmuştur. Çalışmada bir yazılım şirketine sistem analizi alınmak istenmektedir. Bunun için üç kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuş ve üç aday değerlendirilmiştir. Değerlendirme kriterleri ise; duygusal istikrar, sözlü iletişim becerisi, kişilik, tecrübe ve kendine güvendir. Belirlenen ölçütler doğrultusunda alternatifler değerlendirilmiş, belirlenen iki yöntem karşılaştırılmıştır.

[89] Kuo ve ark., bir taşıma işletmesinin dağıtım merkezi kuruluş yeri tercih problemini ele almışlardır. Beş kişiden oluşan bir karar verici grubu oluşturulmuştur. Belirlenen grup tarafından üç alternatif değerlendirilmiştir. Çalışmada ele alınan kriterler; genişleme olasılığı, metaryalin mevcudiyeti, talebe yakınlık, insan kaynakları, alan ölçüsü ve yatırım maliyetidir. Kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Problemden; bulanık SAW, Bulanık TOPSIS ve verimli bulanık model teknikleri ile çözümlerine yer verilerek bu metotlar kullanılarak bulunan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

[90] Ertuğrul ve Karakaşoğlu, çalışmalarında işletme kurulum yeri tercih sorunu için BAHF ve BTOPSIS metotlarını kullanmışlardır. Üç kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Belirlenen kriterler; olumlu çalışma iklimi, piyasaya yakınlık, topluluk önemi, yaşam kalitesi ve kaynaklara- tedarikçilere yakınlıktır. Bu doğrultuda üç alternatif değerlendirmeye alınmış, iki yöntemin benzerlik ve farklılıklarını dikkate alarak, belirlenen iki yöntemi kıyaslanmıştır.

[67] Eleren, kuruluş yeri tercih sorunu için Bulanık TOPSIS metotunu önermiştir. Çalışmada dericilik üzerinde rol alan bir örneğe değinilmiştir. Uygulama iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak ankete dayalı istatistiksel çalışmalar kullanılarak kuruluş yeri tercihinde göz önünde bulundurulacak ölçütler ve bu ölçütlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Belirlenen kriterler; pazara yakınlık, hammaddeye yakınlık, ulaşım olanakları, devlet teşvikler, iş gücü ve alt yapısıdır. Beş kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuş ve altı adet alternatif kuruluş yeri belirlenmiştir. Diğer adımda ise; Bulanık TOPSIS metodu yardımıyla kuruluş yeri seçeneklerin sıralası bulunmuştur.

[91] Wang, çalışmasında Taiwan'da yerel havayollarında faaliyet gösteren üç havayolu işletmesinin finansal performansını değerlendirmek amacıyla Bulanık TOPSIS yöntemine başvurmuşlardır. Dört kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Finansal yapı, ödeme gücü, iş hacmi ve kârlılık olmak üzere dört ana kriter belirlenmiştir. Bu işletmelerin performanslarını değerlendirirken 2001 ve 2005 yılları arasında işletmelere ait finansal tablolardan yararlanılmıştır. Çalışmada değerlendirilecek fazla sayıda finansal oran olması sebebiyle ilk olarak bu oranlarda kümeleme analizi yapılmış, sonrasında Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak havayolu işletmelerinin performansları değerlendirilmiştir.

[92] Çınar, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde banka şube yeri tercihi için beş adet alternatif üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler; toplam nüfus, kişi başı gayri safi milli hâsıla, rakip bankaların varlığı, ticari faaliyetler, müşteri potansiyelidir. Kriterlerin değerlendirmesini yapmak için altı kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuş Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak açılacak şube yeri seçimi gerçekleştirilmiştir.

[93] Büyükkız, Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde kullanılacak yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi için AHP ve bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Alanında uzman beş kişiden oluşan bir karar verme ekibi kurulmuştur. Çalışmada kullanılan kriterler; verimlilik, santral inşa süresi, yatırım maliyeti, yakıt maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, devlet teşviki, dışa bağımlılığı azaltma, sera gazı salınımı, alan gereksinimi, gürültü, atık imha işlemine olan

gereksinim, istihdam olanakları, sosyal kabul edilebilirlik, teknolojik seviye, operasyon riski, sürekliliği bozma riski, talebi karşılayamama, insan sağlığına verilecek zarar, sürdürülebilir kalkınma, ucuz enerji elde etmesidir. Yedi adet alternatif değerlendirilmeye alınmıştır. Kriter ağırlıkları AHP yöntemiyle bulunmuş, alternatiflerin sıralaması için de Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

[94] Çetin, çalışmasında Ankara Esenboğa Havalimanı'nda etkinlikte bulunan üç havayolu şirketinin performansları ÇKKV yöntemlerinden AHP ve BTOPSIS yöntemleriyle değerlendirilmeye tabi tutmuştur. Çalışmada yirmi kişiden oluşan bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Maliyet, hizmet, konfor ve güvenlik ve sefer sayısı olmak üzere dört ana kriter belirlenmiştir.

Bulanık TOPSIS algoritması adımları aşağıdaki şekilde tanımlanır [95].

1.Adım: Karar vericilerden bir karar ve ekibi oluşturulur ve değerlendirme ölçütleri tespit edilir.

2.Adım: Kriterlerin önem ağırlıklarını bulmak için uygun sayısal olmayan değişkenler belirlenir ve ölçütler baz alınarak seçeneklerin analiz edilmesi sözel değişkenlerden yararlanılarak gerçekleştirilir.

3.Adım: Karar vericilerin önem ağırlıkları ve seçeneklerin değerlendirilmesi için belirledikleri sayısal olmayan değişkenler üçgen veya yamuk bulanık sayılara dönüştürülür.

4.Adım: Bulanık karar matrisi ve normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.

5.Adım: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur.

6.Adım: Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm belirlenir.

7.Adım: Bütün alternatiflerin ayrı ayrı bulanık pozitif ideal çözümünden ve bulanık negatif ideal çözümünden uzaklıkları bulunur.

8.Adım: Bütün seçeneklerin için yakınlık katsayısı bulunur.

9.Adım: Yakınlık katsayısına bakılarak, tüm seçenekler sıralanır ve en yüksek yakınlık katsayısına sahip olan seçenek tercih edilir. Yakınlık katsayısının yüksek olması, o alternatifin pozitif ideal çözüme daha yakın olduğunu gösterir.

Bulanık TOPSIS metodu, seçeneklerin analiz edilmesinde başvurulacak sayısal olmayan değişkenler üçgen bulanık sayılar ile gösterilerek, pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklarının hesaplanmasında Vertex metodu kullanılarak, Chen tarafından önerilmiştir. Sonrasında Chen, Lin ve Hwang değerlendirmelerinde yamuk bulanık sayıları kullanarak yöntemin farklı bir yaklaşım ile kullanılabileceğini göstermişlerdir [95]. Literatürde yamuk bulanık sayılar kullanılarak yapılan başka çalışmalarda mevcuttur.

[96] Ertuğrul ve Güneş, çalışmalarında en iyi baskı makinesini seçebilmek adına Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Üç alternatif belirlenmiştir. Seçeneklerin ve ölçütlerin ağırlıkları, yamuk bulanık sayılar ile gösterilen sayısal olmayan değişkenler ile değerlendirilmiştir.

[86] Ecer, Bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla mağaza kuruluş yerlerini analiz etmişlerdir. Üç kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Altı adet karar kriteri belirlenmiştir. Bu kriterler; rakiplere uzaklık, ulaşım kolaylığı, otopark imkânları, mağazanın müşterilere yakınlığı, binanın fiziksel özellikleri ve depolama ile yükleme boşaltma kolaylığıdır. Yamuk bulanık sayılar kullanılarak belirlenen dört alternatif karar vericiler tarafından değerlendirilmiş, Bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla alternatiflerin sıralaması elde edilmiştir.

[97] Öztürk ve Başkaya, bulanık TOPSIS yöntemini satış elemanı tercihinde kullanmışlardır. Satış elemanı seçim kararı, üç karar verici tarafından alınmıştır. Karar vericiler yedi kritere göre on satış elemanı adayını değerlendirmişlerdir. Ele alınan kriterler; eğitim, yabancı dil, iş tecrübesi, dış görünüş, iletişim becerileri, güven ve kültür ve aile yapısıdır. Karar vericilerin kriter için belirlediği önem ağırlıkları yamuk bulanık sayılara dönüştürülmüş ve Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.

[98] Akalp ve ark. yaptıkları çalışmada, bir firma için insanların kassal açıdan iş sağlığı ve güvenliğini tehdit eden istasyonlar değerlendirilmiştir. Ele aldıkları kriterler; dinamik kassal çalışma, statik kassal çalışma, burulma, vücut pozisyonu, baş üstü çalışma, eğilme, kuvvetin yönü, yükün ağırlık merkezine olan mesafesi, yük miktarı ve kaldırma sıklığıdır. Ele alınan üç istasyon; solvent bazlı üretim istasyonu, öğütücü grubu ve boya hazırlama istasyonudur. İstasyonlar belirlenen kriterler doğrultusunda yamuk bulanık sayılar kullanılarak bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Yazılan literatürde de belirtildiği gibi bulanık TOPSIS algoritması; personel seçimi, tedarikçi seçimi, kuruluş yeri seçimi, kalite performansı değerlendirilmesi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, diğer örneklerle göre nispeten daha az rastlanan makine seçimi problemine üçgen ve yamuk bulanık sayı ölçeklerini kullanan Chen(2000) ve Chen, Lin ve Hwang(2006) tarafından geliştirilen bulanık TOPSIS algoritmalarına yer verilecektir.

4.4.1 Vertex Metodu

İki bulanık sayı arasındaki uzaklığın hesaplanması için sunulan Vertex metodu, üçgen ve yamuk bulanık sayılar arasındaki uzaklığın bulunması için tercih edilmektedir.

$\tilde{A} = (m_1, m_2, m_3)$ ve $\tilde{B} = (n_1, n_2, n_3)$ iki üçgen bulanık sayıyı ifade etmek üzere, $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ arasındaki uzaklığın Vertex metodu ile hesaplanması 4.23' de ifade edilmiştir [99].

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \quad (4.23)$$

$\tilde{A} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ ve $\tilde{B} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ iki yamuk bulanık sayıyı ifade etmek üzere $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ arasındaki uzaklığın bulunması (4.24)' de gösterilmektedir [95].

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\frac{1}{4} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2 + (m_4 - n_4)^2]} \quad (4.24)$$

$\tilde{A}$ bulanık sayısı $\tilde{B}$ bulanık sayısına yaklaştıkça, iki bulanık sayı arasındaki uzaklık $d(\tilde{A}, \tilde{B})$ “0” a yaklaşır. İki bulanık sayı arasındaki uzaklığın hesaplanmasında Vertex metodunun kullanılması basittir. Vertex metodunun bazı önemli özellikleri aşağıda ifade edilmiştir [63].

1. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ sayıları reel sayılar ise, $d(\tilde{A}, \tilde{B})$ uzaklığı, Öklid uzaklığına eşittir. $\tilde{A} = (m_1, m_2, m_3)$ ve $\tilde{B} = (n_1, n_2, n_3)$ reel sayılardır, $m_1 = m_2 = m_3 = m$ ve $n_1 = n_2 = n_3 = n$ olmaktadır ve $d(\tilde{A}, \tilde{B})$ uzaklığı (4.25)' de gösterildiği gibi bulunmaktadır.

$$\begin{aligned}
 d(\tilde{A}, \tilde{B}) &= \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{3} [(m - n)^2 + (m - n)^2 + (m - n)^2]} \\
 &= \sqrt{(m - n)^2} \\
 &= |m - n|
 \end{aligned} \tag{4.25}$$

2. İki bulanık sayı $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ yalnız $d(\tilde{A}, \tilde{B}) = 0$ olduğunda birbirine eşittir. Eğer $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ sayıları birbirine eşit ise $m_1 = n_1$, $m_2 = n_2$, $m_3 = n_3$ 'tür. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ sayıları arasındaki uzaklığın '0' a eşit olduğu durum (4.26)'da gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
 d(\tilde{A}, \tilde{B}) &= \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{3} [(0)^2 + (0)^2 + (0)^2]} = 0
 \end{aligned} \tag{4.26}$$

3. $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$ bulanık sayıları için yalnız $d(\tilde{A}, \tilde{B}) < d(\tilde{A}, \tilde{C})$ olduğu durumda $\tilde{B}$ bulanık sayısı $\tilde{A}$ bulanık sayısına $\tilde{C}$ 'den daha yakındır.

Örneğin $\tilde{A} = (1, 3, 5)$, $\tilde{B} = (2, 4, 7)$ ve $\tilde{C} = (5, 7, 9)$ olmak üzere $\tilde{B}$ bulanık sayısı $\tilde{A}$ bulanık sayısına $\tilde{C}$ 'den daha yakındır.

$$\begin{aligned}
 d(\tilde{A}, \tilde{B}) &= \sqrt{\frac{1}{3} [(1 - 2)^2 + (3 - 4)^2 + (5 - 7)^2]} = \sqrt{2} \\
 d(\tilde{A}, \tilde{C}) &= \sqrt{\frac{1}{3} [(1 - 5)^2 + (3 - 7)^2 + (5 - 9)^2]} = 4
 \end{aligned}$$

4. $\tilde{0} = (0,0,0)$ orijini göstermek üzere, eğer $d(\tilde{A}, \tilde{0}) < d(\tilde{B}, \tilde{0})$ ise, $\tilde{A}$ bulanık sayısı orijine $\tilde{B}$ bulanık sayısından daha yakındır. Üçüncü özellik kullanılarak bu durum ispatlanabilir.

Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılırken Vertex yöntemi, üçgen veya yamuk bulanık sayılar ile belirtilen seçeneklerin bulanık pozitif ideal çözümden ve bulanık negatif ideal çözümden uzaklıklarının hesaplanabilmesi adına geliştirilmiştir.

4.4.2 Bulanık TOPSIS Algoritmasında Üçgen Bulanık Sayıların Kullanımı

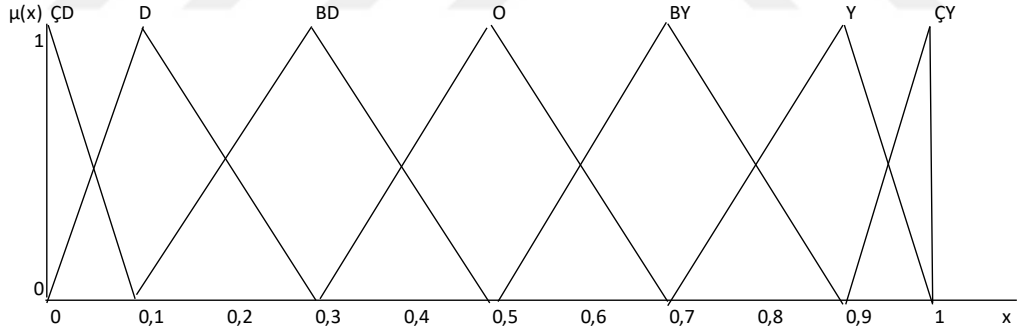
Chen(2000) tarafından geliştirilen ve üçgen bulanık sayılar ile uygulanan bulanık TOPSIS yöntemi, kesin olmayan olaylarda oluşan ekip kararı verilmesi gereken sorunların çözümü için uygulanan yaklaşımdır. Ölçütler için göreceli ağırlıkları ve seçeneklerin analiz edilmesinde başvuru niceliksel olmayan ölçütlerin dereceleri sözel değişkenler yardımıyla gösterilir [63]. Kullanılan sözel değişkenler ve analiz için başvuru değişkenlerin üçgen bulanık sayı gösterimleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 [99], Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’ da [95] gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Kriterler İçin Göreceli Önem Ağırlıklarını Gösteren Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Olarak İfadeleri [99].

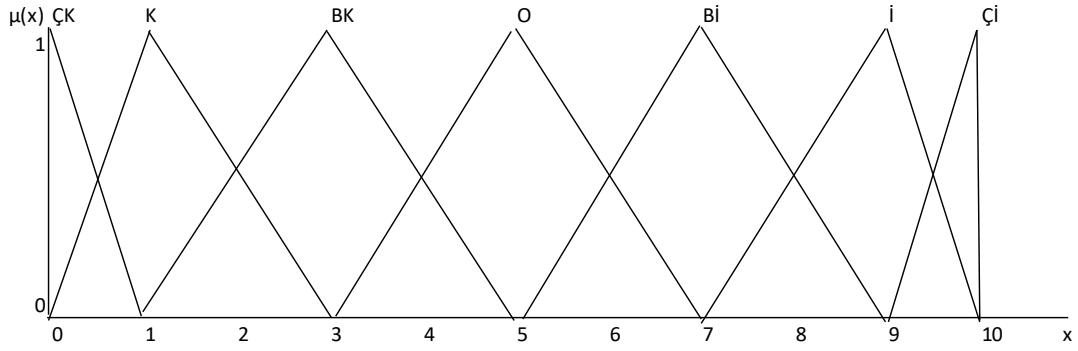
Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Düşük (CD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Biraz Düşük (BD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta(O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Biraz Yüksek (BY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1.0)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1.0, 1.0)

Tablo 4.2 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Olarak İfadeleri [99].

Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Kötü (CK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Orta(O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)



Şekil 4.8 Kriterler İçin Önem Ağırlıklarını Gösteren Üçgen Bulanık Sayı [95].



Şekil 4.9 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Üçgen Bulanık Sayılar [95].

Bulanık çok kriterli bir karar problemi, matris düzeninde (4.27)'de gösterilmektedir. [64].

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]$$
(4.27)

Burada $\tilde{D}$ bulanık karar matrisini, $\tilde{W}$ bulanık ağırlıklar matrisini ifade etmektedir. $\tilde{x}_{ij}$ ve $\tilde{w}_j$ değişkenleri sayısal olmayan değişkenler yardımıyla ifade edilmektedir. Bahsi geçen sayısal olmayan niteliklerin üçgen bulanık sayı olarak gösterimi Eşitlik (4.28)'de ifade edilmiştir [63].

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$$

$$\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$$
(4.28)

Bulanık TOPSIS yöntemi adımları aşağıda gösterilmiştir;

- Karar verme grubundaki kişiler tarafından Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de gösterilen sayısal olmayan nitelikleri kullanarak, ölçütlerin önemi değerlendirilir ve belirlenen ölçütlere göre seçeneklerin değerlendirilmesi yapılır [63].

- K adet karar verici kişi olduğunda, ölçütlerin önem seviyeleri ve bütün ölçütlere göre ayrı ayrı seçeneklerin değerlendirmeleri (4.29) ve (4.30)' da gösterilen eşitlikler yardımıyla bulunmaktadır [100].

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 (+) \tilde{x}_{ij}^2 (+) \dots \dots (+) \tilde{x}_{ij}^K] \quad (4.29)$$

$$\tilde{W}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 (+) \tilde{w}_j^2 (+) \dots \dots (+) \tilde{w}_j^K] \quad (4.30)$$

Burada $\tilde{x}_{ij}^K$ ve $\tilde{w}_j^K$ sırasıyla k. karar vericinin belirlediği seçeneklerin değerlendirilmesini ve ölçütler için gösterilen göreceli ağırlıkları ifade etmektedir.

- Bulanık karar matrisinin oluşturulmasının ardından normalize edilmiş bulanık karar matrisi $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ oluşturulur. B kümesi fayda-yarar ölçütleri kümesini ifade ederken, C kümesi maliyet- zarar ölçütleri kümesini gösterir. Normalize edilmiş karar matrisinin bulunması eşitlik (4.31) ve (4.32)' de gösterilmektedir [84].

$$r_{ij}^{\sim} = (\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+}), j \in B \quad r_{ij}^{\sim} = (\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}), j \in C \quad (4.31)$$

$$c_j^+ = \text{Maksimum } c_{ij} \quad j \in B \quad a_j^- = \text{Minumum } a_{ij} \quad j \in C \quad (4.32)$$

- Her bir kriterin önem ağırlığı vardır, ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi (4.33)' de gösterilen eşitlik ile bulunmaktadır [100].

$$V^{\sim} = [v_{ij}^{\sim}]_{m \times n} \quad i:1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (4.33)$$

$$v_{ij}^{\sim} = r_{ij}^{\sim}(\cdot)w_j^{\sim}$$

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinde $\tilde{v}_{ij}$ değerleri normalize edilmiş pozitif üçgen bulanık sayıyı ifade etmektedir ve değeri [0,1] kapalı aralığında değişim göstermektedir [63].

- Bulanık pozitif ideal çözüm ($\tilde{A}^+$) ve bulanık negatif ideal çözüm ($\tilde{A}^-$) belirlenmektedir. (4.34)'deki formül ile hesaplama yapılmaktadır.

$$\tilde{A}^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots v_n^+)$$

$$\tilde{A}^- = (v_1^-, v_2^-, \dots v_n^-)$$

$$\check{v}_j^+ = (1, 1, 1) \text{ ve } \check{v}_j^- = (0, 0, 0) \quad j=1, 2, 3, \dots, n \quad (4.34)$$

- Bütün seçeneklerin ($\tilde{A}^+$) ve ($\tilde{A}^-$) ile olan mesafelerinin bulunması (4.35) ve (4.36)'de ifade edilmektedir [64].

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}^-, v_j^+) \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (4.35)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}^+, v_j^-) \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (4.36)$$

Burada $d(\check{v}_{ij}, \check{v}_{j+})$ ve $d(\check{v}_{ij}, \check{v}_{j-})$ değerleri iki bulanık sayı arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Bu uzaklıklar Vertex metodu yardımıyla bulunmaktadır.

- Seçeneklerin sıralamasını yapabilmek için yakınlık katsayıları belirlenir. Bütün seçenekler için yakınlık katsayıları (4.37)'de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır [80].

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (4.37)$$

($\tilde{A}^+$)' ya yakın ve ($\tilde{A}^-$)' den uzak olan seçenek için yakınlık katsayısı değeri 1'e oldukça yakındır. Yakınlık katsayısının hesaplanmasının ardından tüm alternatiflerin sıralaması gerçekleştirilir. Yakınlık katsayısı değeri 1'e en yakın olan alternatif en uygun seçenek olarak değerlendirilir [64].

4.4.3 Bulanık TOPSIS Algoritmasında Yamuk Bulanık Sayıların Kullanımı

Yamuk bulanık sayılar kullanılarak uygulanacak olan Chen, Lin ve Hwang tarafından geliştirilen bulanık TOPSIS algoritmasında izlenecek olan adımlar üçgen bulanık sayılarda izlenen adımlar ile benzerdir. Farklı olan sözel değişkenler ile ifade edilecek olan önem düzeylerinin belirlenmesinde ve alternatifler için yapılacak olan değerlendirmelerde üçgen bulanık sayılar yerine yamuk bulanık sayıların kullanılmasıdır. Karar kriterlerinin önem

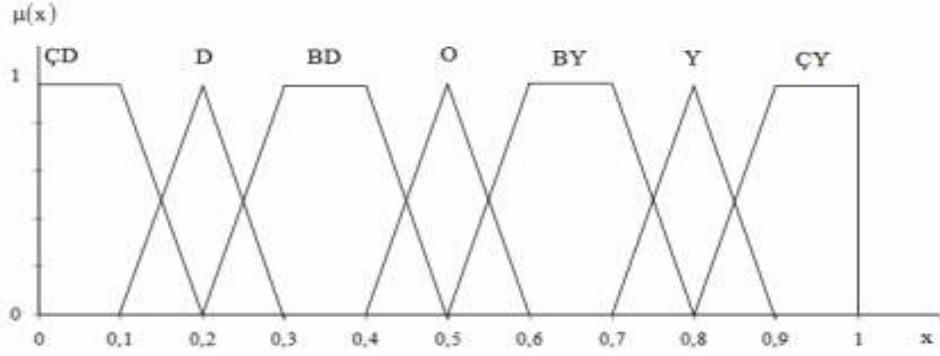
düzeyinin analizinde tercih edilen sayısal olmayan ifadeler ve yamuk bulanık sayı olarak gösterilmeleri Tablo 4.3, Tablo 4.4, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmiştir [95].

Tablo 4.3 Kriterler İçin Göreceli Önem Ağırlıklarını Gösteren Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri [95].

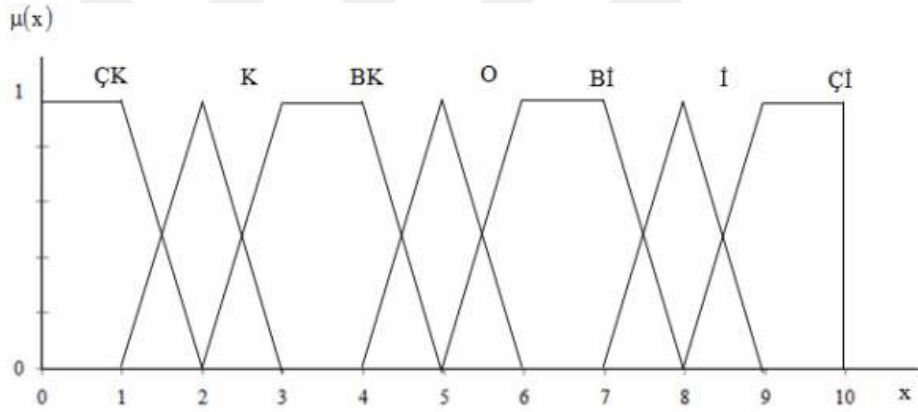
Sözel Değişken	Yamuk Bulanık Sayı
Çok Düşük (CD)	(0.0, 0.0, 0.1, 0.2)
Düşük (D)	(0.1, 0.2, 0.2, 0.3)
Biraz Düşük (BD)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
Orta(O)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
Biraz Yüksek (BY)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)

Tablo 4.4 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri [95].

Sözel Değişken	Yamuk Bulanık Sayı
Çok Kötü (CK)	(0, 0, 1, 2)
Kötü (K)	(0, 2, 2, 3)
Biraz Kötü (BK)	(2, 3, 4, 5)
Orta(O)	(4, 5, 5, 6)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 6, 7, 8)
İyi (İ)	(7, 8, 8, 9)
Çok İyi (Çİ)	(8, 9, 10, 10)



Şekil 4.10 Kriterler İçin Önem Ağırlıklarını Gösteren Yamuk Bulanık Sayı [95].



Şekil 4.11 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Yamuk Bulanık Sayılar [95].

K. karar vericilerin belirlediği bulanık denklemler sırasıyla $\tilde{x}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk})$ ve

$\tilde{w}_{jk} = (w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3}, w_{jk4})$ ile gösterilmektedir [95].

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$$

$$a_{ij} = \text{Minimum}_k \{a_{ijk}\} \quad b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ijk} \quad (4.38)$$

$$c_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_{ijk} \quad d_{ij} = \text{Maksimum}_k \{d_{ijk}\}$$

$$\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}, w_{j4})$$

$$w_{j1} = \text{Minimum}_k \{w_{jk1}\} \quad w_{j2} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk2} \quad (4.39)$$

$$w_{j3} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk3} \quad w_{j4} = \text{Maksimum}_k \{w_{jk4}\}$$

Karar verme grubu tarafından tespit edilen kriterlerin göreceli ağırlıkları ve yine karar verme grubunda yer alan karar vericiler tarafından gerçekleştirilen sayısal olmayan değişkenler yardımıyla gerçekleştirilir. Belirtilen sayısal olmayan değişkenler yamuk bulanık sayılar ile gösterildikten sonra (4.38) ve (4.39)'da gösterilen formüller yardımıyla bulanık karar matrisi ve bulanık ağırlıklar matrisi oluşturulmaktadır [64]. $\tilde{x}_{ij}$ ve $\tilde{w}_j$ yamuk bulanık sayılardır.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (4.40)$$

Bulanık karar matrisinden yararlanılarak normalize edilmiş bulanık karar matrisi $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ meydana getirilir. B kümesi fayda kriterleri kümesini (yüksek dereceye sahip olan kriterler) ve C kümesi de maliyet kriterleri kümesini (düşük dereceye sahip olan kriterler) ifade ederek normalize edilmiş karar matrisinin hesaplanması (4.41) ve (4.42)'de gösterilmiştir [95].

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{d_j^*}, \frac{b_{ij}}{d_j^*}, \frac{c_{ij}}{d_j^*}, \frac{d_{ij}}{d_j^*} \right), j \in B$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{d_{ij}}, \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), j \in C \quad (4.41)$$

$$d_j^* = \text{Maksimum}_i d_{ij} \quad j \in B \quad (4.42)$$

$$a_j^- = \text{Minimum}_i a_{ij} \quad j \in C$$

Normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmasının ardından bulanık ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi (4.43)'de gösterilen formül yardımıyla bulunmaktadır [95].

$$V^{\sim} = [v_{ij}^{\sim}]_{mn} \quad i=1,2,3\dots m \quad j=1,2,3\dots n \quad (4.43)$$

$$v_{ij}^{\sim} = r_{ij}^{\sim} (.)w_j^{\sim}$$

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinde $\tilde{v}_{ij}$ değerleri normalize edilmiş pozitif yamuk bulanık sayıyı ifade etmektedir ve değerleri $[0,1]$ kapalı aralığında değişmektedir. Sonraki aşamada bulanık pozitif ideal çözüm ($\tilde{A}^+$) ve bulanık negatif ideal çözüm ($\tilde{A}^-$) belirlenmektedir. Yamuk bulanık sayılar ile gösterilen ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinde ($\tilde{A}^+$) ve ($\tilde{A}^-$) hesaplanması formül (4.44)'de gösterilmektedir [95].

$$\begin{aligned} A^{\sim+} &= (v_1^{\sim+}, v_2^{\sim+}, \dots v_n^{\sim+}) \\ A^{\sim-} &= (v_1^{\sim-}, v_2^{\sim-}, \dots v_n^{\sim-}) \\ v_j^{\sim+} &= \text{Maksimum}_i \{v_{ij4}\} \\ v_j^{\sim-} &= \text{Minimum}_i \{v_{ij1}\} \quad i = 1, 2, \dots m, \quad j = 1, 2, \dots n \end{aligned} \quad (4.44)$$

Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözümün bulunmasının ardından her bir seçeneğin ($\tilde{A}^+$) ve ($\tilde{A}^-$) ile olan mesafelerinin hesaplanması (4.45) ve (4.46)'da verilen formüller kullanılarak bulunmaktadır [95].

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}^{\sim}, v_j^{\sim+}) \quad i = 1, 2, \dots m \quad (4.45)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}^{\sim}, v_j^{\sim-}) \quad i = 1, 2, \dots m \quad (4.46)$$

Burada $d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+)$ ve $d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-)$ ifadeleri iki yamuk sayı arasındaki uzaklığı ifade etmektedir. Uzaklıklar Vertex metodu kullanılarak hesaplanmaktadır.

Seçeneklerin sıralamasının gerçekleştirilebilmesi için yakınlık katsayıları hesaplanır. Seçenekler için yakınlık katsayıları (4.47)’de gösterilen formül yardımı ile belirlenmektedir [80].

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.47)$$

$CC_i = 1$ ise $A_i = \tilde{A}^+$ ve $CC_i = 0$ ise $A_i = \tilde{A}^-$ dir. Diğeri bir değışle yakınlık katsayı değıeri “1” olarak bulunmuşsa seeneğimize pozitif ideal zme, “0” olarak bulunmuşsa seeneğimize negatif ideal zme eşittir. Hesaplanan yakınlık katsayıları değıerine göre alternatiflerin sıralaması bulunmaktadır. Seçeneklerin sıralamasının bulunmasının ardından, bütün seçeneklerin ayrı ayrı yakınlık katsayı değıerleri için sayısal olmayan değışkenler belirlemek zmn gereğeri yakın olmasına katkı sağılar. Karar verme ekibinde yer alan karar verme yetkisine sahip kişiler belirlenen sayısal olmayan değışkenleri dikkate alarak tercih edilen seçeneklerin analizini gerçekleştirebilir. Yakınlık katsayı değıerlerinin hesaplanması için belirlenecek olan sözel değışkenler Tablo 4.5’te ifade edilmiştir [95].

Tablo 4.5 Yakınlık Katsayı Nedeniyle Seçilen Alternatifin Kabul Durumu [95]

Yakınlık Katsayısı (CC_i)	Durum Değıerlendirmesi
$CC_i \in [0, 0.2]$	Kabul edilmesi önerilmez.
$CC_i \in [0.2, 0.4]$	Yüksek risk ile kabul edilebilir.
$CC_i \in [0.4, 0.6]$	Düşük risk ile kabul edilebilir.
$CC_i \in [0.6, 0.8]$	Kabul edilebilir.
$CC_i \in [0.8, 1.0]$	Kabul edilebilir ve kesinlikle tercih edilebilir.

4.5 Bulanık VIKOR Yöntemi

Bulanık VIKOR Yöntemi, bulanık ve fazla sayıda kriter barındıran problemlerin çözümü için geliştirilen yöntemlerden biridir [101]. Bu yöntem, nihai bir karara varmada karar verici uzmanların yardımıyla, birbiriyle çelişkili kriterleri olan problemler için uzlaştırmacı çözümler bulmaya ve seçenekler içerisinde bir sıralama yapmaya dayanır [101]. Belirtilen yöntemde uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın olan çözümdür [50]. Aynı zamanda uzlaşık çözüm, ideal çözüme “yakınlık” ölçüsüne dayanarak çok amaçlı sıralama dizinini sunmaktadır [101]. Bütün alternatifler göz önünde tutularak tüm kriterlerin değerlendirildiği düşünüldüğünde, uzlaşık düzenleme en uygun seçeneğe yakınlık mesafesi baz alarak yapılır [101].

Literatür incelendiğinde, bulanık VIKOR algoritmasının tek bir karar verici tarafından uygulandığı örnekler mevcuttur.

Wang ve ark. [99] yaptıkları çalışmada, yazılım şirketi seçiminde beş alternatif şirket ve beş kriter belirlemişlerdir. Bu kriterler; deneyim, yetenek, lojistik, eğitim ve maliyettir. Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak uzlaşık çözüme ulaşılmıştır.

Wu ve ark. [102] çalışmalarında, entelektüel sermaye konusuna odaklanmıştır. Bunun için entelektüel öncelik ve maddi varlıklar olmak üzere iki ana kriter belirlemişlerdir. Alternatif olarak üç üniversite değerlendirilmiştir. Bulanık VIKOR yöntemi AHP yöntemi ile beraber kullanılmıştır ve Tayvan’daki üniversitelerin yapı olarak stratejileri incelenmiştir.

Kuo ve Liang [103] gerçekleştirdikleri çalışmada hava alanlarının servis hizmetini değerlendirmek üzere çalışmışlardır. Belirledikleri kriterler; işlem süresi maliyetleri, kolaylık, konfor, bilgi görünürlüğü, personelin davranışı, güvenlik ve reaksiyon kapasitesidir. Değerlendirilme dahilinde yedi alternatif belirlenmiştir. Bulanık VIKOR ile gri ilişki analizini birlikte kullanılarak alternatiflerin değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Opricovic [101] çalışmasında, su kaynakları planlamasını yapabilmek adına altı tane alternatif rezervuar belirlemiştir. Bu alternatifleri değerlendirmek için yatırım maliyeti, su tedarigi, sosyal etki ve manastıra etki olmak üzere dört adet kriter dikkate alınmıştır. Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak en uygun alternatif tercih edilmiştir.

Wang ve Pang [104] çalışmalarında, çevrimiçi servis kalitesini değerlendirmişlerdir. Dikkate alınan altı ana kriter vardır. Bu kriterler; web tasarımı, operasyon kolaylığı, web sitesi tanıtımı, ücret kalemi, müşteri servisi ve işlem güvenliği mekanizmasıdır. Kriter ağırlıkları AHP yöntemiyle bulunmuş, değerlendirme dahilindeki üç alternatif bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak uzlaşık çözüme ulaştırılmıştır.

Dincer ve Hacıoğlu [105] çalışmalarında, bankacılık üzerine müşteri memnuniyeti değerlendirmesinde Bulanık VIKOR yöntemini kullanmıştır. Çalışmada ele alınan kriterler; zamanlama ve işlevsellik, iletişim ve etkileşim, fiziksel tesis, rekabetçi kârlılık, operasyonel kolaylık ve tutarlılık oranıdır. Üç adet banka alternatifi değerlendirilmeye alınmış, kriter ağırlıklarını belirlerken AHP yöntemi kullanılmıştır.

Bairagi ve ark.[106], robot seçimi için beş alternatif belirlemişlerdir. Dikkate aldıkları kriterler; maliyet, tekrarlanabilirlik, robot eğitim periyodu, yükleme kapasitesi, hız ve programlama esnekliğidir. Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR ve COPRAS-G yöntemleri kullanılarak alternatifler değerlendirilmiş, alternatiflerin sıralaması gerçekleştirilmiştir.

Literatürde bulanık VIKOR yönteminde grup kararı olarak gerçekleşen çalışmalar da mevcuttur.

Büyüközkan ve Ruan [107] gerçekleştirdikleri çalışmada, ERP yazılımlarının değerlendirilmesi için üç karar verici belirlemiştir. Kurumsal kaynak planlama yazılımı için on yedi adet kriter ve beş adet alternatif mevcuttur. Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak en uygun ERP yazılımı tercih edilmiştir.

Zıngıl [108] bir sağlık kuruluşu tarafından en iyi ilaç tedarikçisini seçebilmek adına doktor, başhemşire, başhekim ve satın alma departmanı olmak üzere dört kişiden oluşan karar verici grubu oluşturmuştur. Tedarikçiler için aranan kriterler; zamanında teslimat, ürün kalitesi, fiyat, ödeme koşulları, ürün ömrü ve sertifikadır. Bu kriterler doğrultusunda karar vericiler tarafından yedi adet alternatif tedarikçi belirlenmiş ve Bulanık VIKOR yöntemiyle en uygun ilaç tedarikçisi seçilmiştir.

Chen ve Wang [109] gerçekleştirdikleri çalışmada, bilişim sistemleri ile ilgili dış kaynak kullanımı projelerinde, işletme tercihi için beş kişilik karar verme ekibi tarafından beş adet

alternatif firma belirlemişlerdir. Belirtilen amaç doğrultusunda; teknik yetenek, finansal performans, performans geçmişi, kalite, fiyat, esneklik, itibar teslim süresi, deneyim, pazar payı olmak üzere on adet kriter mevcuttur. Bulanık VIKOR yöntemini uygulanarak en uygun tedarikçi firmanın seçimi sağlanmıştır.

Sanayei ve ark. [110] yaptıkları çalışmada, otomobil parçası imalatı alanında faaliyet gösteren bir firma için tedarikçi seçiminde bulunmuşlardır. Üç kişiden oluşan bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Aranılan kriterler; ürün kalitesi, teslimat zamanı, ücret, tedarikçinin teknolojik bilgi düzeyi ve esnekliktir. Kriterler doğrultusunda alternatif beş tedarikçi belirlenmiştir. Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak alternatif tedarikçiler değerlendirilmiştir.

Devi [111] robot seçimi için bulanık VIKOR yöntemini kullanmıştır. Dört kişilik bir karar komitesi oluşturulmuş, üç adet alternatif robot belirlenmiştir. Çalışmada ele alınan kriterler; insan- makine ara yüzü, programlama esnekliği, hizmet sözleşmesi, satın alma maliyeti, yük kapasitesi ve konumlandırma doğruluğudur.

Büyüközkan ve ark. [112] şirket çalışanlarının şirketin tüm boyutlarına erişmesi ve katkı sağlaması için bilgi yönetim sistemi araçlarını bulanık VIKOR ve bulanık DELPHI yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Beş kişiden oluşan bir uzman grubu oluşturulmuştur. Ele alınan kriterler; yazılım geliştirme, yazılıma adaptasyon, doküman yönetimi, iş birliği tesisleri, portal işlevleri, iş akışı tesisleri, kullanım kolaylığı, sermaye arttırımı, işletme harcamaları ve satıcı itibarıdır. Üç adet alternatif bilgi yönetim aracı değerlendirilmeye alınmıştır.

Yücenur ve Demirel [113] çalışmalarında bir sigorta işletmesi tercihi üzerine yoğunlaşmışlardır. Bunun için üç karar verici tarafından beş alternatif şirket belirlenmiştir. Ele aldıkları kriterler; fiyat, karlılık, portföy yapısı, portföy boyutu, satış kanalı yapısı, marka değeri, örgütsel kalite (teknik ve sosyal yapı), ödeme gücü oranıdır. Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak alternatif şirketler değerlendirilmiş, uygun bulunan şirket tercih edilmiştir.

Akyüz [114] çalışmasında en iyi tedarikçiyi seçebilmek adına beş kişiden oluşan bir karar verme ekibi oluşturmuştur. Karar verme ekibi yaptığı değerlendirmelerde yedi kriter ve beş alternatif tedarikçi belilemiştir. Belirlenen kriterler; fiyat, kalite, teslimata uyum, teknik yeterlilik, geçmişe dönük performans ve teknolojidir. Belirlenen ölçütler, geçmişte

gerçekleştirilen çalışmalardan ve karar vericilerin tecrübelerinden faydalanılarak oluşturulmuştur. Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak firma için en uygun tedarikçi seçilmiştir.

Girubha ve Vinodh [115], çalışmalarında otomotiv bileşeni olan gösterge paneli metaryel seçimi için Bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Beş kişilik bir karar komitesi oluşturulmuştur. Ele alınan kriterler; maksimum sıcaklık sınırı, geri dönüştürülebilirlik, uzama, ağırlık, termal iletkenlik, çekme mukavemeti, maliyet ve toksisite seviyesidir. Karar komitesi tarafından belirlenen kriterler dikkate alınarak dört malzeme alternatifi değerlendirilmiştir.

Liu ve ark. [116] çalışmalarında, hastanelerde anestezi sırasında oluşan arıza modlarında risk değerlendirmesi için Bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Altı adet potansiyel arıza modu belirlenmiştir. Beş kişiden oluşan bir FMEA ekibi kurulmuştur. Geçmişte yapılan araştırmalara ve verilere bakılarak O, S, D olmak üzere üç adet risk faktörü tanımlanmıştır.

Yıldız ve Deveci [117] çalışmalarında, teknoloji firması için mühendis seçme problemini bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak incelemişlerdir. Çalışma kapsamında uygun mühendisin değerlendirilebilmesi adına bir insan kaynakları müdürü, bölüm müdürü ve bölüm şefi olmak üzere üç kişiden oluşan bir karar verme ekibi belirlenmiştir ve başvuru yapan beş alternatif incelenmiştir. Problem çözümü için dikkate alınan ölçütler: iş tecrübesi, eğitim düzeyi, yabancı dil, almış olunan eğitimler ve sosyal ilişkilerdir. Üçgen bulanık sayılar kullanılarak her bir kriter karar vericiler tarafından ağırlıklandırılmış, en iyi alternatif seçilmiştir.

Bali [118] yapmış olduğu çalışmada, yüksek öğretim kurumuna öğretim görevlisi olabilmek için bulanık ikili karşılaştırma boyut analizi ve bulanık VIKOR yöntemlerini kullanmış ve bir model tasarlamıştır. Çalışma kapsamında beş kişiden oluşan bir karar verme ekibi oluşturulmuş ve başvuru yapan beş aday değerlendirmeye alınmıştır. Personel seçimi için belirlenen kriterler; genel görünüş, anlatma yeteneği, liderlik, çalışma disiplini, sosyal durum, motivasyon ve bilimsel yeterliliktir.

Mousavi ve ark. [119] çalışmalarında yeni ürün fikri seçimi üzerine yoğunlaşmışlardır. Dikkate alınan kriterler; proje kaynak uyumluluğu, ürün üstünlüğü ve eşsizliği, teknoloji karmaşıklığı ve büyüklüğü, pazar ihtiyacı (genişliği, büyüklüğü), pazar payının korunması ve proje riskidir.

Beş kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Dört adet alternatif proje fikri öne sürülmüş, bulanık VIKOR yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Liu ve ark. [120] çalışmalarında, sağlık bakım atıklarının yok edilmesi için bulanık VIKOR ve OWA yöntemini kullanmışlardır. Ekonomik, çevresel, teknik ve sosyal olmak üzere dört ana kriter belirlenmiştir. Alanında uzman beş karar verici tarafından; yakma, buhar sterilizasyonu, mikrodalga ve düzenli depolama alternatifleri değerlendirilmeye alınmıştır.

Vinodh ve ark. [121] çalışmalarında, yaşam döngüsü ve sürdürülebilir konsept seçimi için bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Altı kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Komite tarafından on iki adet kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler; finansal sağlık, ekonomik performans, potansiyel finansal faydalar, ticaret fırsatları, hava kaynakları, su kaynakları, kara kaynakları, maden ve enerji kaynakları, iç insan kaynakları, dış nüfus, paydaş katılımı ve makro sosyal performanstır. Bu kriterler doğrultusunda belirlenen beş adet alternatif konsept karar vericiler tarafından bulanık VIKOR yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Vinodh ve ark. [122] hızlı protatipleme teknolojisi seçimi üzerine çalışmışlardır. Beş kişilik bir karar komitesi oluşturulmuş ve yirmi adet kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler; yüzey kalitesi, inşa süresi, destek yapısı, inşa hızı, malzeme inşası, yüzey bitişi, maksimum parça boyu, çeşitlilik, üretim maliyeti, fiyat, karmaşıklık, güvenilirlik, esneklik, teslim zamanı iyileştirme potansiyeli, maliyet iyileştirme potansiyeli, ofis kolaylığı, atık öğütme, geri dönüşüm, çalışan eğitimi ve yerel teknoloji kullanılabilirliğidir. Kriterlere ilişkin üç adet alternatif protatip teknoloji değerlendirmeye alınmış bulanık VIKOR yöntemiyle en uygun teknoloji seçilmiştir.

Rostamzadeh ve ark. [123] yeşil tedarik zincirini değerlendirirken bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Yeşil tasarım, yeşil satın alma, yeşil depolama, yeşil ulaşım ve yeşil geri dönüşüm olmak üzere beş adet ana kriter belirlenmiştir. Dört adet karar verici tarafından dört alternatif değerlendirilmiş bulanık VIKOR yöntemiyle uzlaşık çözüme ulaşılmıştır.

Arunachalam ve ark. [124] çalışmalarında, yumuşak başlı parlatma aracı seçmek için AHP ve bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Üç kişiden oluşan bir karar komitesi

oluşturulmuştur. Maliyet, zaman, yüzey bitişi, yüzey bütünlüğü, uyum ve malzeme kaldırma oranı olmak üzere altı kriter belirlenmiştir. Kemer parlatma, fiber disk kompozit destek, flap çarkı, lastikli flap disk destek pedi, keçe altlık ve gaz torbası parlatma alternatifleri arasından belirtilen yöntemler kullanılarak tercih yapılmıştır.

Bulanık VIKOR algoritması adımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. **Adım:** Problemin çözümü için K adet karar verici, n tane kriter ve m tane alternatif belirlenir.
2. **Adım:** Dilsel değişkenler ve bu değişkenlerin karşılıkları bulanık sayılar olarak ifade edilir. Dilsel değişkenler kriter ağırlıklarını belirlemek ve alternatifleri derecelendirmek için kullanılır.
3. **Adım:** f_{ij} , j kriterine göre i alternatifinin derecesini gösterdiğinde karar kriterlerinin önem ağırlıkları ve kriterler bazında alternatiflerin dereceleri formül (4.48) ve 4.49) kullanılarak her biri için tek bir değerlendirme olacak şekilde birleştirilir, bütünleştirilmiş değerler elde edilir.

$$W_j^{\sim} = \frac{1}{K} [W_j^{\sim 1}(+) W_j^{\sim 2}(+) \dots (+) W_j^{\sim K}] \quad (4.48)$$

$$f_{ij}^{\sim} = \frac{1}{K} [f_{ij}^{\sim 1}(+) f_{ij}^{\sim 2}(+) \dots (+) f_{ij}^{\sim K}] \quad (4.49)$$

4. **Adım:** Tüm kriter ve alternatifler için tek bir değer elde edildikten sonra, i alternatifli ve j kriterli $\tilde{D}$ bulanık karar matrisi ve W_j ağırlık matrisi Eşitlik (4.50)'de gösterildiği şekilde oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{f}_{11} & \tilde{f}_{12} & \dots & \tilde{f}_{1j} \\ \tilde{f}_{21} & \tilde{f}_{22} & \dots & \tilde{f}_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{f}_{i1} & \tilde{f}_{i2} & \dots & \tilde{f}_{in} \end{bmatrix}, \bar{W}_j = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_j] \quad (4.50)$$

$i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$

$\tilde{f}_{ij}$, i alternatifinin j. kritere göre derecesini ve $\tilde{w}_j$ ise j. kriterin önem ağırlığını ifade etmektedir.

5. Adım: Bulanık karar matrisinde j kriteri fayda açısından değerlendiriliyorsa tüm kriter fonksiyonlarının en iyi $\tilde{f}_j^*$ ve en kötü $\tilde{f}_j^-$ değerleri Eşitlik (4.51) kullanılarak belirlenir.

$$\tilde{f}_j^* = \max_j \tilde{f}_{ij} \quad , \quad \tilde{f}_j^- = \min_j \tilde{f}_{ij} \quad (4.51)$$

6. Adım: $\tilde{S}_i$ değerleri Eşitlik (4.52) ve $\tilde{R}_i$ değerleri Eşitlik (4.53) kullanılarak hesaplanır.

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n [w_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_{ij}^*) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (4.52)$$

$$R_i^- = \max_j [w_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_{ij}^*) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (4.53)$$

$\tilde{S}_i$, tüm kriterlere göre i. alternatifin en iyi bulanık değere uzaklığının toplamıdır.

$\tilde{R}_i$, ise j. kritere göre i. alternatifin en kötü bulanık değerlere olan maksimum uzaklığıdır.

7. Adım: $\tilde{S}_i^*$, $\tilde{S}_i^-$, $\tilde{R}_i^*$, $\tilde{R}_i^-$, $\tilde{Q}_i$ değerleri Eşitlik (4.54) ve Eşitlik (4.55)' e göre hesaplanır.

$$S_i^{*-} = \min_i S_i^-, S_i^{*-} = S_i^{*-} = \max_i S_i^- \quad (4.54)$$

$$R_i^{*-} = \min_i R_i^-, R_i^{*-} = R_i^{*-} = \max_i R_i^- \quad (4.55)$$

$\tilde{S}_i^*$, maksimum çoğunluk kuralını ve $\tilde{R}_i$, farklı görüştekilerin minimum bireysel pişmanlığını ifade etmektedir. $\tilde{Q}_i$, indeksi grup faydası ile bireysel pişmanlığı birlikte değerlendirilmesi ile hesaplanır. V değeri maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin önemini ifade eder iken, (1-v) bireysel pişmanlık değerini ifade eder. Uzlaşmacı çoğunluk için $v \approx 0.5$ alınabilir.

$$\tilde{Q}_i = v(\tilde{S}_i - \tilde{S}_i^*) / (\tilde{S}_i^- - \tilde{S}_i^*) + (1-v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}_i^*) / (\tilde{R}_i^- - \tilde{R}_i^*) \quad (4.56)$$

8. Adım: Bu aşamada bulanık sayıların ortalamaları alınarak durulaştırılmış ve S_i , R_i ve Q_i indeks değerleri hesaplanır. Daha sonra elde edilen indeks değerlerine göre alternatifler sıralanır. İndeks değeri en küçük olan en iyi alternatifi ifade etmektedir.

9. Adım: Bu aşamada belirlenen en iyi alternatifin uzlaştırmacı çözüm olup olmadığının belirlenmesi gerekir. Uzlaştırmacı en iyi çözümü belirlemek için aşağıdaki iki koşulun uygunluğu kontrol edilir.

1.Koşul: Kabul Edilebilir Avantaj: Bu koşul en iyi ve en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını içerir ve Eşitlik (4.57)'de gösterilmiştir.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (4.57)$$

$$DQ = \frac{1}{m-1}$$

a' değeri sıralamada birinci sırada yer alan alternatif, a'' sıralamada en iyi ikinci alternatif ve m de alternatif sayısını gösterir.

2.Koşul: Kabul edilebilir istikrar: En iyi Q değerine sahip a' alternatifi S ve R değerlerinden en az bir tanesinde en iyi skoru elde etmiş olmalıdır.

Eğer koşul 1 sağlanmaz ise ve $Q(a^{(m)}) - Q(a') \leq DQ$ olursa, $a^{(m)}$ ve a' uzlaştırmacı çözüm olur.

Eğer koşul 2 sağlanmaz ise, her ne kadar a' 'nın nispi bir avantajı olsa da karar vermede tutarlılık yetersiz olur. Bundan dolayı uzlaşma çözümleri a' ve a'' aynıdır.

10. Adım: Uzlaşık çözüm kümesinde koşulları gerçekleştiren küçük Q_i değerine sahip seçenek en iyi çözüm olarak bulunur.

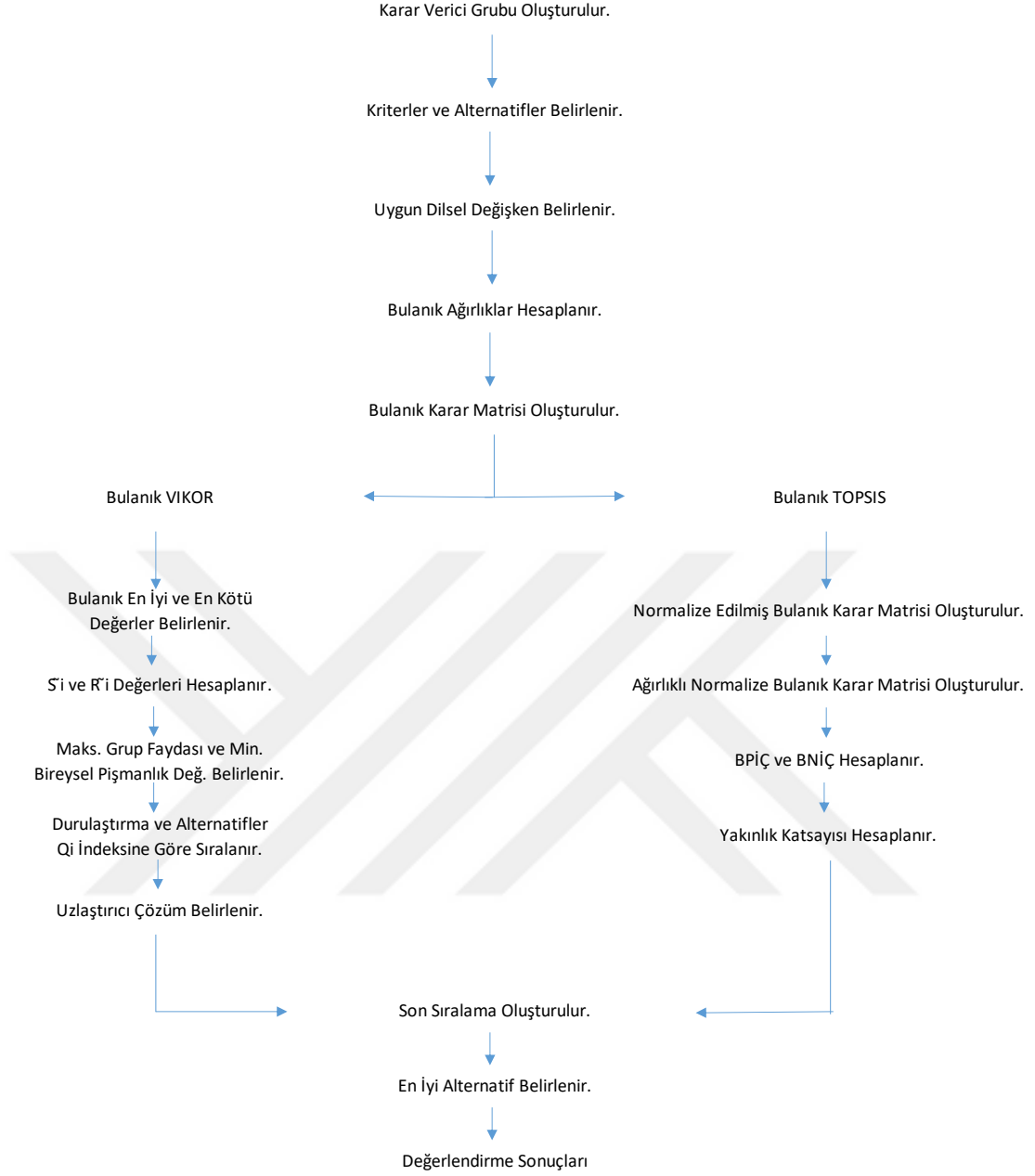
4.6 Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemlerinin Benzerlik ve Farklılıkları

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve VIKOR, referans noktalarına olan yakınlığı gösteren bir toplama fonksiyonuna dayanmaktadır. İki yöntem arasındaki fark, her iki yöntemde farklı normalizasyon yöntemlerinin kullanılmasıdır. TOPSIS metodunda vektörel normalizasyon yöntemine başvurulurken, VIKOR metodunda doğrusal (linear) normalizasyon yöntemine başvurulmaktadır. Normalizasyon değeri VIKOR yönteminde kriter fonksiyonunun değerlendirme birimine bağlı değilken, TOPSIS yönteminde vektör normalizasyonuna göre olan bu normalizasyon değeri değerlendirme birimine bağlıdır.

Bulanık TOPSİS, ideal yakınlığı temsil eden toplama fonksiyonuna dayanmaktadır. Seçilen alternatif, ideal çözüme en kısa mesafede, negatif ideale ise en uzak mesafede olmalıdır. Pozitif ideal çözüm, tüm niteliklerde ulaşabilecek en iyi değerlere sahip olan alternatif; negatif ideal çözüm ise tüm niteliklerde olası en kötü puanları alan alternatif olarak tanımlanmaktadır. TOPSİS ideal çözüme yaklaşık olan bir çözüme ulaşmaya çalışan uzlaşma modellerinden biridir.

Bulanık VIKOR yöntemi ise, aynı birimle ölçülemeyen ve birbiriyle çelişkili ölçütleri farklı bir bulanık çok kriterli problem çözümünde, bulanık çok kriterli karar verme yöntemi olarak geliştirilmiştir. VIKOR yöntemi, bulanık küme teorisini dahil ederek çoğunluk için ekip yararını üst düzeyde tutarak ve karşı tercih için bireysel pişmanlığı minimum seviyede tutarak uzlaşık bir çözüm sunar. Uzlaşık çözüm, ideale en yakın çözümdür ve çözüm bulunurken, ideal çözüme yakınlık ölçüsüne dayanan çok amaçlı sıralama indeksi uygulamaktadır. Her bir alternatif her bir kriter fonksiyonuna göre değerlendirildiği için, uzlaşık sıralama ideal alternatife yakınlık mesafesi karşılaştırılarak yapılmaktadır.

Yukarıda belirtilen farklılıklara karşılık Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS metotlarının uygulama aşamaları birbirine benzerdir. Bulanık karar matrisinin oluşturulmasına kadar belirtilen tüm adımlar aynıdır. Şekil 4.12’de Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin uygulama aşaması yer almaktadır.



Şekil 4.12 Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemlerinin Çözüm Aşamaları

Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR metotlarının birlikte kullanıldığı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir. İncelenen literatür doğrultusunda plastik enjeksiyon makinesi seçim tercihi problemi için Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS metotlarının birlikte kullanıldığı çalışmaya rastlanmamıştır.

Bark [125] “Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Mobilya Sektöründe Tedarikçi Seçimi” adlı çalışmada, Sakarya da bulunan bir mobilya işletmesinde tedarikçi seçimi problemine yanıt

bulunmasını amaçlanmıştır. Problemin çözümünde bulanık mantık dahilinde TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. İşletme ihtiyaçlarıyla örtüşen en uygun alternatif belirtilen her bir kritere göre analiz edilmiş, yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çevikcan ve ark [68], hemşire seçimi için yaptıkları çalışmada alanında uzman beş kişiden oluşan bir karar verme ekibi oluşturmuşlardır. Beş aday değerlendirmeye alınmıştır. Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak adaylar değerlendirilmiştir. Kullanılan iki yöntem için karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir.

Zıngıl [108], “Bulanık Ortamda TOPSIS ve VIKOR Kullanılarak Tedarikçi Seçimi” adlı çalışmada özel bir hastanenin tedarikçi seçim sürecini analiz etmiştir. Çalışmada yamuk bulanık sayılar kullanılmış, alanında uzman kişilerden oluşan karar verici grubu oluşturulmuştur. Bulanık VIKOR ve bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatif tedarikçiler değerlendirilmeye alınmıştır.

Özcan [126] “Portföy Yöneticilerinin Performanslarının Değerlendirilmesinde Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Tekniklerinin Kullanılması” adlı çalışmada, Türkiye’de faaliyette olan bankanın belirlenen bir şubesindeki bireysel portföy yetkililerinin durumlarını bulanık VIKOR, bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak değerlendirmiştir. Değerlendirme sonuçlarını birbiriyle karşılaştırmıştır.

Örs [127] “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Bir Uygulama: Ev Satın Alma Problemi” adlı çalışmada, ev alımı için Konya merkez ilçelerini Bulanık VIKOR ve Bulanık HİYERARŞİK TOPSIS yöntemiyle değerlendirmiştir.

Erol [128] “Tersanelerde İmalatı Yapılacak Gemi Tipinin Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemleri ile Belirlenmesi” adlı çalışmada, üst düzey yetkililerden oluşan bir karar verici grubu yardımıyla seçim kriterleri belirlenmiştir. Belirlenen tercih kriterleri bulanık küme teorisi dahil edilerek TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kriterleri ihtiyaçlar doğrultusunda karşılayan en iyi alternatif seçilmiştir.

Şahin [129] “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Bulanık Ortamda Afet Yönetimi Sisteminde Geçici Barınma Alanları Yer Seçimi” adlı çalışmasında, daimi olmayan barınılacak mekan yerleşimi tercih sorununun çözüme kavuşabilmesi için Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerini kullanmıştır. Seçenek yerleşimlerin değerlendirilmesini ve en uygun barınma alanının tercih edilmesi için çalışmıştır.

Tuyğun [130] “Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemi Kullanılarak Rüzgar Enerjisi Santral Yer Seçimi” adlı çalışmasında, enerji santrali kurulumu için hangi yerin tercih edileceğine, sayısal olmayan değerlendirmeleri de dikkate alan Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleriyle karar verilmiştir.

Alpay ve ark [131] çalışmalarında, hidrolik ekskavatör seçimi için alanında uzman beş mühendisten oluşan bir karar verme ekibi oluşturmuştur. On yedi kriter değerlendirmeye alınmıştır. Beş alternatif Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemiyle değerlendirmiş, değerlendirme sonuçları karşılaştırılmıştır.

Taylan ve ark [132] enerji sistemlerini değerlendirmek üzere yaptıkları çalışmada, alanında uzman üç kişiden oluşan bir karar verme ekibi oluşturmuşlardır. Dört ana kriter belirlemişlerdir. Kriter ağırlıklarını BAHP yöntemiyle bulmuşlar; Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemiyle de alternatifleri değerlendirmişler, sonuçları analiz etmişlerdir.

5. BULANIK TOPSIS VE BULANIK VIKOR YÖNTEMLERİNİN MAKİNE SEÇİMİNDE UYGULANMASI

5.1 Uygulama Alanı Olan İşletmenin Tanımı

Plastik enjeksiyon makinesi seçim problemine çözüm bulmak amacıyla hazırlanan çalışma, 1994 yılında kurulan Teknika Plast firmasında gerçekleştirilmiştir. Firma, hem kendine ait ürünleri (plastik gıda kapları ve kovaları, plastik bardaklar, plastik zemin plastikleri) hem de diğer firmalara ait plastik parçalarının enjeksiyon ile üretilmesine olanak sağlamaktadır.

Artan iş hacmi gereği 2005 yılı başında 3. O.S.B' deki firma devreye girmiştir. Bu fabrikanın devreye girmesi ile daha önce baskısız olarak satılan gıda kovalarını altı renkli ofset baskılı üretmeye başlanmıştır. Gıda kovalarıyla ilgili güncel kalıp ve enjeksiyon makine yatırımlarıyla hem kapasite artması hem de verimliliğin artması sağlanmıştır. Bunun yanında 2007 yılında yan sanayi üretimi için büyük tonajlı makinelerin yer aldığı bir tesis daha kurulmuştur. Yan sanayi olarak hizmet verilen konularda da hem ürüne uygun enjeksiyon makinesi yatırımları hem de boyama ile ilgili yatırımlar gerçekleştirerek ana sanayilere hizmet kalitesi ve ürün kalitesi arttırılmıştır.

1 gram'dan 15.000 gram'a kadar her türlü plastik parçanın basıldığı firmada elli adeti MOSB, yüz adeti Muradiye fabrika olmak üzere toplam yüz elli adet plastik enjeksiyon makinesi bulunmaktadır. Yıllık 70.000 ton plastik hammadde kullanım kapasitesiyle faaliyet göstermektedir. Enjeksiyon makinelerine ek olarak bir adet ultrasonik kaynak, beş adet tampon serigrafi makinesi, dört adet vibrasyon kaynak makinesi, iki adet hot stamp makinesi, üç adet serigrafi fırını ve iki adet manuel kabin mevcuttur.

Firmalardan biri Muradiye sınırları içinde (14.475 m2 kapalı alan, 27.600 m2 açık alan) diğeri de 3.Organize sanayi Bölgesi sınırları içindeki (10.375 m2 kapalı alan, 20.000 m2 açık alan) olmak üzere 2 fabrika olarak hizmet verilmektedir. Üretimi yapılan plastik parçalarda PP, ABS, PS, COPOLYMER PP, POM, PA6, PA66, PC gibi pek çok farklı türde hammaddeler kullanılmaktadır.

5.2 Problem Tanımı

Bu çalışma ile birlikte, artan iş hacmini karşılamak için yeni bir plastik enjeksiyon makinesi yatırım kararı alan Teknika Plast firması için, makine seçim problemine çözüm bulunması amaçlanmıştır.

Plastik sektöründe faaliyet gösteren işletmeler açısından plastik enjeksiyon makinesi seçimi oldukça önemli bir karardır. Makinenin doğru yöntemler kullanarak doğru kapasitede ve nitelikte seçilmesi, üretim kapasitesinin verimini ve ürün kalitesini artırır.

Örneğin; bir plastik enjeksiyon makinesi olması gerekenden büyük seçildiğinde, gereğinden fazla enerji tüketirken, küçük gelen kalıp nedeniyle makinede mengene bölümü başta olmak üzere kalıcı hasarlar oluşabilir. Küçük ve sınır değerleri arasında seçildiğinde ise makine üretimde zorlanır ve makinenin ömrü kısılır.

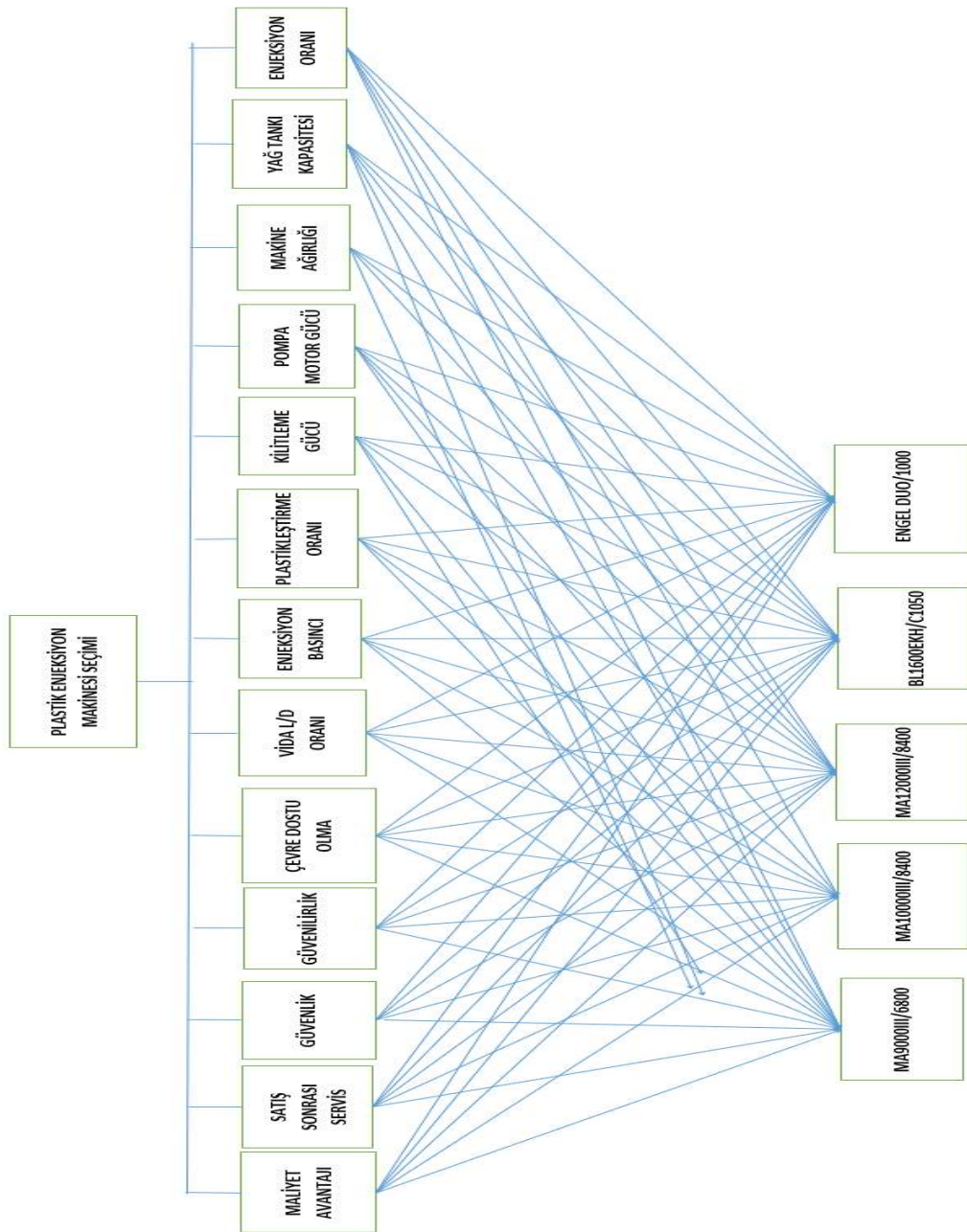
Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı, şirket açısından en doğru alternatifin seçilebilmesi adına alanında uzman iki üretim mühendisi ve bir kalite mühendisinden oluşan üç kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Karar vericilerin yaptığı görüşmeler sonucu on üç adet kriter belirlenmiş, uzun araştırmalar sonucu bu kriterleri karşılayan beş adet plastik enjeksiyon makinesi alternatifi belirlenmiştir. Kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesinde rol alan karar vericilerin görevleri ve deneyim süreleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Karar Verme Ekip Üyelerinin Görevleri ve Deneyim Süreleri

	Görevi	Deneyim Süreleri
KV1	Üretim Mühendisi	13 yıl
KV2	Üretim Mühendisi	6 Yıl
KV3	Kalite Mühendisi	21 yıl

Seçeneklerin analiz edilmesi ve ihtiyaçlar ile en örtüşen alternatifin tercih edilmesi için; çok sayıda ölçüt ve karar verme durumdaki kişilere dayalı değerlendirmeleri gerektiren durumlar ile son zamanlarda uygulanan ÇKKV yöntemlerinden Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntemleri tercih edilmiştir.

Uygulanacak yöntemlerin ve ölçütlerin tanımlanmasının ardından alternatif olarak gösterilen beş farklı gruptaki makine tipleri, her bir kritere göre her bir karar verici tarafından ayrı ayrı sözel değişkenler ile değerlendirilmiş ve bu sözel ifadeler bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Kullanılan iki teknikte de tanımlanan bu bulanık sayılar baz alınarak işlem aşamaları aşama aşama gerçekleştirilmiştir. Karar verme durumundaki kişiler tarafından oluşturulan hiyerarşi yapısı, kriterler ve alternatifler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Şekil 5.1’ de plastik enjeksiyon makinesi seçimi için hiyerarşi yapısı yer almaktadır.



Şekil 5.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi Seçimi Hiyerarşi Yapısı

5.2.1 Kriterler

Alanında uzman üç karar verici tarafından yapılan piyasa araştırmasına göre, en uygun plastik enjeksiyon makinesini seçebilmek adına on üç adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; maliyet avantajı, satış sonrası servis, güvenlik, güvenilirlik, çevre dostu olma ve makinenin teknik özellikleri kapsayan L/D oranı, enjeksiyon basıncı, plastikleştirme oranı, kilitleme gücü, pompa motor gücü, makine ağırlığı, yağ tankı kapasitesi ve enjeksiyon oranıdır.

Belirlenen kriterlerin birçoğu literatürde makine seçiminde kullanılmış olan kriterlerdir. Son yıllarda makine seçiminde revaçta olan çevre dostu olma, güvenilirlik kriterleri çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Maliyet avantajı, vida L/D oranı, enjeksiyon basıncı, plastikleştirme oranı, kilitleme gücü, pompa motor gücü, makine ağırlığı, yağ takı kapasitesi ve enjeksiyon oranı kriterleri net sayısal bilgi içerirken; satış sonrası servis, güvenlik, güvenilirlik, çevre dostu olma kriterlerinin belirlenmesinde karar vericilerin yapmış oldukları sözel değerlendirmeler bulanık küme teorisi dahil edilerek sayısallaştırılmıştır. Karar verme ekibi tarafından belirlenen kriterlerin gösterimleri ve yönleri Tablo 5.2’de gösterilmiş tanımları yapılmıştır.

Tablo 5.2 Kriter Seti

KRİTER	GÖSTERİM	YÖN
Maliyet Avantajı	K1	Maximum
Satış Sonrası Servis	K2	Maximum
Güvenlik	K3	Maximum
Güvenilirlik	K4	Maximum
Çevre Dostu Olma	K5	Maximum
Vida L/D Oranı	K6.1	Maximum
Enjeksiyon Basıncı	K6.2	Maximum
Plastikleştirme Oranı	K6.3	Maximum
Kilitleme Gücü	K6.4	Maximum
Pompa Motor Gücü	K6.5	Maximum
Makine Ağırlığı	K6.6	Maximum
Yağ Tankı Kapasitesi	K6.7	Maximum
Enjeksiyon Oranı	K6.8	Maximum

Maliyet Avantajı (K1): Fabrikanın alternatif plastik enjeksiyon makineleri içerisinde tercih yapılmasına etki edecek faktörlerin başında makinenin satın alma maliyeti ve ödeme şartları gelir. Satın alma, işletme ve bakım maliyetleri makine seçiminde maliyet olarak göz ardı

edilmeyecek kriterlerdir. Tercih edilecek olan plastik enjeksiyon makinesinin düşük maliyetli olması beklenir.

Satış Sonrası Servis (K2): Plastik enjeksiyon makinesi yatırımları yüksek maliyetli ve fabrikanın sürdürülebilirliği için uzun vadeli yatırımlardır. Fabrikanın bu yatırımdan getiriye gerçekleştirmeleri makineleri elverişli bir şekilde kullanacakları zaman ile ilişkilidir. Satın alınacak firmanın sağlayacağı satış sonrası servis yardımı, eğitim hizmetleri ve yedek parça temini plastik enjeksiyon makinesi tercihinde dikkat edilmesi gereken önemli bir kriterdir, bu sebeple satış sonrası servis desteğinin maksimum olması beklenir [68].

Güvenlik (K3): Seçilecek plastik enjeksiyon makinesinin çalışanlar ve çevrenin güvenliği açısından risk oluşturma düzeyinin minimum seviyede tutulabilmesi gerekmektedir [7].

Güvenilirlik (K4): Makinenin minimum düzeyde arıza yapması ve bakım onarım sürelerinin ve bu süreçlerin takibinin kolay yapılabilmesi adına güvenilirlik kriteri oluşturulmuştur. İyi bir plastik enjeksiyon makinesi maksimum güvenilirlikte olmalıdır [68].

Çevre Dostu Olma (K5): Seçilen plastik enjeksiyon makinesinin çevreye duyarlı üretim yapması istenir. Bu sebeple; makinelerin hammadde ve enerji kullanımını baz alarak çevre dostu olma kriteri alternatifler arasından tercih yapılabilmesi için belirlenmiştir.

Vida L/D Oranı (K6.1): Enjeksiyon ünitesinde vida çapı çeşitli üreticiler tarafından değişik seçenekler sunulmaktadır. Vida çapı L/D oranını dolayısıyla enjeksiyon hacmini ve enjeksiyon ağırlığını doğrudan etkilemektedir. L/D değeri yüksek olan makinede yüksek sıkıştırma nedeniyle daha iyi karıştırma ve daha düzgün ısıtma elde edilebilir [133].

Enjeksiyon Basıncı (K6.2): Enjeksiyon basıncı vidanın içinde bulunduğu silindirik alana oranını kapsar. Enjeksiyon basıncı çoğunlukla yaklaşık hidrolik basınçtan 10 kat fazla değere sahiptir. Belirli bir enjeksiyon ünitesi için vidalar bir seçenek olduğu zaman, küçük çaplı vida yüksek enjeksiyon basıncı üretir [133].

Plastikleştirme Oranı (K6.3): Plastik enjeksiyon makineleri için birim zamanda plastikleştirilebileceği miktardır. Bir saatte vida dönme hızı ve sıfır geri emme basıncıyla kapasite aşıp aşılmadığı anlaşılır [133].

Kilitleme Gücü (K6.4): Enjeksiyon makinelerinde kilitleme ünitesi en önemli ünitelerden biridir. Kalıpların açılıp kapanması ve enjeksiyon sırasında kalıp yarılarının kapalı tutulmasında yeterli gücün gösterilebilmesi gerekir [134].

Pompa Motor Gücü (K6.5): İletilen maksimum güç pompa motor gücü olarak tanımlanmaktadır. Pompa motor gücünün değerlendirmesi birim olarak kW ve Hp cinsinden yapılmaktadır. İyi bir plastik enjeksiyon makinesinin pompa motor gücünün yüksek olması beklenir [134].

Makine Ağırlığı (K6.6): Bir makinenin mevcut ağırlığı taşıma sırasında kaldırmada büyük öneme sahiptir. Bir plastik enjeksiyon makinesi konum olarak kullanılacağı zemine dikkat edilmesi gerekir, makine ağırlığı fazla ise zemine olan tutuculuğu yüksektir.

Yağ Tankı Kapasitesi (K6.7): Yağ tankının kapasitesi satın alınacak yağ miktarı, soğutma aralığı için öneme sahiptir. Büyük yağ tankı kapasite sahip makineler fazla miktardaki yağın sıcaklığını azaltır ve üretilen ısıнын daha hızlı ve fazla yayılmasını sağlar. Büyük yağ tankına sahip makinelerin soğutma yüzeyleri daha geniştir.

Enjeksiyon Oranı (K6.8): Enjeksiyon basıncı göz önüne alındığında daha yüksek bir hızda enjeksiyon sağlamak için enjeksiyon oranına bakılır. Enjeksiyon hızının yerine plastik enjeksiyon makinesinde enjeksiyon oranı da kullanılmaktadır [134].

5.2.2 Alternatifler

Plastik enjeksiyon makinesi seçimi için karar vericiler tarafından piyasa araştırması yapılmış ve olası makine alternatifleri belirlenmiştir. Belirlenen alternatifler Tablo 5.3’ de yer almaktadır.

Tablo 5.3 Plastik Enjeksiyon Makinesi Alternatifleri

Alternatifler	Kod
MA9000IIS/6800	A1
MA10000IIS/8400	A2
MA12000IIS/8400	A3
BL1600EKH/C1050	A4
ENGEL DUO/1000	A5

A1, A2, A3 alternatifleri Haitian marka MA serisi, üretimi Çin’de gerçekleşen enjeksiyon makineleridir. Alternatifler arasında enjeksiyon basınç farklılıkları ve sıkma kuvveti farklılığı bulunmaktadır. A1 alternatifi 9000 kN, A2 alternatifi 10000 kN, A3 alternatifi 12000 kN sıkma kuvvetine sahiptir.

A4 alternatifi Bole marka EKH serisi, üretimi Çin’de gerçekleşen plastik enjeksiyon makinesidir. 1600 kN sıkma kuvvetine sahiptir.

A5 alternatifi, Engel marka Dua serisi, üretimi Almanya’ da gerçekleşen plastik enjeksiyon makinesidir. 1000 kN sıkma kuvvetine sahiptir.

5.3 Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Bulanık TOPSIS yönteminin öne çıkan özelliklerinden biri, belirlenen karar kriterlerinin farklı önem ağırlığına sahip olabilmelerine imkan sağlamasıdır. Bu durumda karar verme grubu arasında yer alan karar vericiler, her bir karar kriterinin önem ağırlığının farklı olabileceğinin bilincine vararak daha doğru kararlar verebilirler.

Üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanarak Bulanık TOPSIS yöntemiyle plastik enjeksiyon makinesi seçim problemine çözüm aranmıştır. Farklı bulanık sayıların kullanılması ile ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.3.1 Üçgen Bulanık Sayılar Kullanarak TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Belirlenen kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak olan dilsel ifadeler sırasıyla Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’de gösterilmiştir:

Tablo 5.4 Kriterler İçin Göreceli Önem Ağırlıklarını Gösteren Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Olarak İfadeleri

Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Biraz Düşük (BD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Biraz Yüksek (BY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1.0)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1.0, 1.0)

Tablo 5.5 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Olarak İfadeleri

Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

Ölçütlerin belirlenmesinin ardından, karar verme ekibi Tablo 5.4’deki dilsel ifadeleri kullanarak kriterleri önem derecelerine göre değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler aşağıda Tablo 5.6’da verilmiş olup, kullanılan dilsel ifadelerin üçgen bulanık sayı olarak gösterimi de Tablo 5.7’de yer almaktadır.

Tablo 5.6 Kriter Ağırlıklarının Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	ÇY	Y	Y
K2	BD	D	BD
K3	Y	ÇY	ÇY
K4	BY	BY	0
K5	ÇY	Y	Y
K6.1	D	BD	D
K6.2	BY	0	0
K6.3	D	BD	D
K6.4	D	D	D
K6.5	0	BD	D
K6.6	D	D	BD
K6.7	BD	0	D
K6.8	ÇD	ÇD	D

Tablo 5.7 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılar ile Gösterilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	0,9,1,0,1,0	0,7,0,9,1,0	0,7,0,9,1,0
K2	0,1,0,3,0,5	0,0,1,0,3	0,1,0,3,0,5
K3	0,7,0,9,1,0	0,9,1,0,1,0	0,9,1,0,1,0
K4	0,5,0,7,0,9	0,5,0,7,0,9	0,3,0,5,0,7
K5	0,9,1,0,1,0	0,7,0,9,1,0	0,7,0,9,1,0
K6.1	0,0,1,0,3	0,1,0,3,0,5	0,0,1,0,3
K6.2	0,5,0,7,0,9	0,3,0,5,0,7	0,3,0,5,0,7
K6.3	0,0,1,0,3	0,1,0,3,0,5	0,0,1,0,3
K6.4	0,0,1,0,3	0,0,1,0,3	0,0,1,0,3
K6.5	0,3,0,5,0,7	0,1,0,3,0,5	0,0,1,0,3
K6.6	0,0,1,0,3	0,0,1,0,3	0,1,0,3,0,5
K6.7	0,1,0,3,0,5	0,3,0,5,0,7	0,0,1,0,3
K6.8	0,0,0,1	0,0,0,1	0,0,1,0,3

Üç karar verici tarafından değerlendirilen kriter ağırlıkları ise Formül (4.30) yardımıyla tek bir değere indirgenmiş ve bu değerler de Tablo 5.8’de gösterilmiştir.

Tablo 5.8 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılarla Gösterilmesi

Kriterler	Ağırlıklar
K1	(0.77,0.94,1)
K2	(0.067,0.24,0.44)
K3	(0.84,0.97,1)
K4	(0.44,0.64,0.84)
K5	(0.77,0.94,1)
K6.1	(0.04,0.17,0.37)
K6.2	(0.37,0.57,0.77)
K6.3	(0.04,0.17,0.37)
K6.4	(0,0.1,0.3)
K6.5	(0.14,0.3,0.5)
K6.6	(0,.04,0.17,0.37)
K6.7	(0.14,0.3,0.5)
K6.8	(0,0.04,0.17)

Örneğin K1 kriterinin ağırlığı;

$(0.9+0.7+0.7) / 3, (1.0,0.9+0.9) / 3, (1.0+1.0+1.0) / 3 = (0.77, 0.94, 1.0)$ şeklinde hesaplanır.

Sonraki aşamada ise, karar verme durumundaki kişiler ayrı ayrı bütün ölçütleri dikkate alarak alternatif plastik enjeksiyon makinesi tiplerini tek tek değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler Tablo 5.9’da gösterilmiştir. Tablo 5.5 kullanılarak dilsel ifadelerin üçgen bulanık sayılara dönüşümü de Tablo 5.10’da gösterilmiştir.

Tablo 5.9 Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	Çi	i	Çi
	A2	i	Bi	Bi
	A3	O	O	BK
	A4	i	Bi	Bi
	A5	Bi	Bi	O
K2	A1	BK	O	BK
	A2	O	Bi	i
	A3	O	i	i
	A4	BK	O	O
	A5	O	i	Çi
K3	A1	i	Çi	Çi
	A2	Bi	i	Çi
	A3	Bi	i	i
	A4	BK	O	BK
	A5	i	Çi	Çi
K4	A1	i	i	Bi
	A2	Bi	Bi	O
	A3	Bi	i	O
	A4	O	BK	BK
	A5	Bi	i	Bi
K5	A1	Çi	i	Çi
	A2	i	Bi	i
	A3	Çi	Bi	i
	A4	Bi	O	O
	A5	i	Bi	i
K6.1	A1	BK	K	BK
	A2	O	BK	O
	A3	O	O	O
	A4	i	Çi	Çi
	A5	i	i	i

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K6.2	A1	Bi	i	K
	A2	Bi	Bi	BK
	A3	i	Bi	BK
	A4	O	BK	K
	A5	i	i	Çi
K6.3	A1	Bi	O	Bi
	A2	i	Bi	Bi
	A3	i	i	Bi
	A4	Bi	O	BK
	A5	Çi	i	i
K6.4	A1	BK	O	BK
	A2	O	O	O
	A3	Bi	Bi	O
	A4	Bi	i	i
	A5	O	BK	O
K6.5	A1	K	BK	K
	A2	BK	O	BK
	A3	K	O	BK
	A4	Çi	i	Çi
	A5	K	BK	BK
K6.6	A1	Bi	O	Bi
	A2	Bi	O	Bi
	A3	i	Bi	i
	A4	Çi	i	Çi
	A5	O	O	Bi
K6.7	A1	O	Bi	BK
	A2	Bi	Bi	O
	A3	O	O	BK
	A4	Çi	i	i
	A5	Bi	i	Bi
K6.8	A1	K	BK	K
	A2	O	O	BK
	A3	Bi	BK	O
	A4	Bi	O	i
	A5	O	O	Bi

Tablo 5.10 Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesinin Bulanık Sayılarla Gösterilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
	A2	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)
	A3	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A4	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)
	A5	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
K2	A1	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A2	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)
	A3	(3,5,7)	(7,9,10)	(7,9,10)
	A4	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)
	A5	(3,5,7)	(7,9,10)	(9,10,10)
K3	A1	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)
	A2	(5,7,9)	(7,9,10)	(9,10,10)
	A3	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)
	A4	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A5	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)
K4	A1	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)
	A2	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
	A3	(5,7,9)	(7,9,10)	(3,5,7)
	A4	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)
	A5	(5,7,9)	(7,9,10)	(5,7,9)
K5	A1	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
	A2	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)
	A3	(9,10,10)	(5,7,9)	(7,9,10)
	A4	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)
	A5	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)
K6.1	A1	(1,3,5)	(0,1,3)	(1,3,5)
	A2	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)
	A3	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)
	A4	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)
	A5	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)
Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K6.2	A1	(5,7,9)	(7,9,10)	(0,1,3)
	A2	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)
	A3	(7,9,10)	(5,7,9)	(1,3,5)
	A4	(3,5,7)	(1,3,5)	(0,1,3)
	A5	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
K6.3	A1	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)
	A2	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)
	A3	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)
	A4	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A5	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)
K6.4	A1	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A2	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)
	A3	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
	A4	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)
	A5	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)
K6.5	A1	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)
	A2	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A3	(0,1,3)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A4	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
	A5	(0,1,3)	(1,3,5)	(1,3,5)
K6.6	A1	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)
	A2	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)
	A3	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)
	A4	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
	A5	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)
K6.7	A1	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)
	A2	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
	A3	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A4	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)
	A5	(5,7,9)	(7,9,10)	(5,7,9)
K6.8	A1	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)
	A2	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A3	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)
	A4	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,10)
	A5	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)

Yukarıdaki tabloda üç karar vericinin tüm alternatifleri her bir kriter üzerinden yaptığı değerlendirmelerinin üçgen bulanık sayılarla gösterimi, Eşitlik (4.31) kullanılarak, Tablo 5.11’de gösterildiği gibi tek bir değere indirgenerek, bulanık karar matrisi elde oluşturulmuştur.

Tablo 5.11 Üçgen Bulanık Sayılarla Oluşturulan Bulanık Karar Matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5			K6.1		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	8,34	9,67	10	1,67	3,67	5,67	8,34	9,67	10	6,34	8,34	9,67	8,34	9,67	10	0,67	2,34	4,3
A2	5,67	7,67	9,34	5	7	8,67	7	8,67	9,67	4,34	6,34	8,34	6,34	8,34	9,67	2,34	4,34	6,3
A3	2,34	4,34	6,34	5,67	7,67	9	6,34	8,34	9	5	7,8	8,67	7	8,67	9,67	3	5	7
A4	5,67	7,67	9,34	2,34	4,34	6,34	1,67	4,34	5,67	1,67	3,67	5,67	3,67	5,67	7,67	8,34	9,67	10
A5	4,34	6,34	8,34	6,34	8	9	8,34	9,67	10	5,67	7,67	9,34	6,34	8,34	9,67	7	9	10

	K6.2			K6.3			K6.4			K6.5			K6.6			K6.7			K6.8		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	4	5,67	7,34	4,34	6,34	8,34	1,67	3,67	5,67	0,34	1,67	3,67	4,34	6,34	8,34	3	5	7	0,34	1,67	3,67
A2	3,67	5,67	7,34	5,67	7,67	9,34	3	5	7	1,67	3,67	5,67	4,34	6,34	8,34	4,34	6,34	8,34	2,34	4,34	6,34
A3	4,34	6,34	8	6,34	8,34	9,67	4,34	6,34	8,34	1,34	3	5	6,34	8,34	9,67	2,34	4,34	6,34	3	5	7
A4	1,34	3	5	3	5	7	6,34	8,34	9,67	8,34	9,67	10	8,34	9,67	10	7,67	9,34	10	5	7	8,67
A5	7,67	9,34	10	7,67	9,34	10	2,34	4,34	6,34	0,67	2,34	4,34	3,67	5,67	7,67	5,67	7,67	9,34	3,67	5,67	7,67

$\tilde{A} = (l, m, u)$ üçgen bulanık sayıyı ifade etmek üzere; l üçgen bulanık sayının alt sınır değerini, m ortanca değerini, u ise üst sınır değerini göstermektedir.

Örneğin; birinci alternatif ile birinci kriterin üç karar verici tarafından yapılan bulanık sayı değerlendirilmesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$(9+7+9) / 3, (10+9+10) / 3, (10+10+10)/3 = (8.34, 9.67, 10)$$

Bulanık karar matrisi, Eşitlik (4.32) kullanılarak normalize edilmiş ve bu normalize edilmiş karar matrisine Tablo 5.12’de yer verilmiştir.

Tablo 5.12 Üçgen Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5			K6.1		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	0,83	0,97	1	0,29	0,65	1	0,83	0,97	1	0,66	0,86	1	0,83	0,97	1	0,15	0,54	1
A2	0,61	0,82	1	0,58	0,81	1	0,72	0,90	1	0,52	0,76	1	0,66	0,86	1	0,37	0,68	1
A3	0,37	0,68	1	0,63	0,85	1	0,70	0,93	1	0,58	0,90	1	0,72	0,90	1	0,43	0,71	1
A4	0,61	0,82	1	0,37	0,68	1	0,29	0,77	1	0,29	0,65	1	0,48	0,74	1	0,83	0,97	1
A5	0,52	0,76	1	0,70	0,89	1	0,83	0,97	1	0,61	0,82	1	0,66	0,86	1	0,70	0,90	1

	K6.2			K6.3			K6.4			K6.5			K6.6			K6.7			K6.8		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	0,54	0,77	1	0,52	0,76	1	0,29	0,65	1	0,09	0,46	1	0,52	0,76	1	0,43	0,71	1	0,09	0,46	1
A2	0,50	0,77	1	0,61	0,82	1	0,43	0,71	1	0,29	0,65	1	0,52	0,76	1	0,52	0,76	1	0,37	0,68	1
A3	0,54	0,79	1	0,66	0,86	1	0,52	0,76	1	0,27	0,60	1	0,66	0,86	1	0,37	0,68	1	0,43	0,71	1
A4	0,27	0,60	1	0,43	0,71	1	0,66	0,86	1	0,83	0,97	1	0,83	0,97	1	0,77	0,93	1	0,58	0,81	1
A5	0,77	0,93	1	0,77	0,93	1	0,37	0,68	1	0,15	0,54	1	0,48	0,74	1	0,61	0,82	1	0,48	0,74	1

Örneğin; birinci alternatif ile birinci kriterin normalize bulanık sayı değerlendirilmesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$(8.34/10, 9.67/10, 10/10) = (0.83, 0.97, 1.0)$$

Normalize edilmiş karar matrisinde bulunan değerlerin her biri, Tablo 5.8’de belirtilen kriter ağırlıklarıyla çarpılmış ve ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Hesaplanan değerler Tablo 5.13’de gösterilmiştir:

Tablo 5.13 Üçgen Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5			K6.1		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	0,64	0,91	1	0,02	0,16	0,44	0,70	0,94	1,00	0,29	0,55	0,84	0,64	0,91	1,00	0,01	0,09	0,37
A2	0,47	0,77	1	0,04	0,19	0,44	0,61	0,87	1,00	0,23	0,49	0,84	0,50	0,81	1,00	0,01	0,12	0,37
A3	0,28	0,64	1	0,04	0,20	0,44	0,59	0,90	1,00	0,25	0,58	0,84	0,56	0,84	1,00	0,02	0,12	0,37
A4	0,47	0,77	1	0,02	0,16	0,44	0,25	0,74	1,00	0,13	0,41	0,84	0,37	0,69	1,00	0,03	0,16	0,37
A5	0,40	0,71	1	0,05	0,21	0,44	0,70	0,94	1,00	0,27	0,53	0,84	0,50	0,81	1,00	0,03	0,15	0,37

	K6.2			K6.3			K6.4			K6.5			K6.6			K6.7			K6.8		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	0,20	0,44	0,77	0,02	0,13	0,37	0	0,06	0,3	0,013	0,137	0,5	0,02	0,129	0,37	0,06	0,21	0,5	0	0,02	0,17
A2	0,19	0,44	0,77	0,02	0,14	0,37	0	0,07	0,3	0,041	0,194	0,5	0,02	0,129	0,37	0,073	0,23	0,5	0	0,03	0,17
A3	0,20	0,452	0,77	0,03	0,15	0,37	0	0,08	0,3	0,038	0,18	0,5	0,03	0,147	0,37	0,052	0,21	0,5	0	0,03	0,17
A4	0,10	0,342	0,77	0,02	0,12	0,37	0	0,09	0,3	0,117	0,29	0,5	0,03	0,164	0,37	0,107	0,28	0,5	0	0,03	0,17
A5	0,28	0,532	0,77	0,03	0,16	0,37	0	0,07	0,3	0,022	0,162	0,5	0,02	0,126	0,37	0,085	0,25	0,5	0	0,03	0,17

Örneğin K1-A1 için ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$(0,77, 0,94, 1) \times (0,83, 0,97, 1) = (0,64, 0,91, 1)$$

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmasının ardından eşitlik (4.34) kullanılarak bulanık pozitif ideal çözüm ($\tilde{A}^+$) ve bulanık negatif ideal çözüm ($\tilde{A}^-$) belirlenmiştir. Bu tanımlamada Chen (2000)'in Bulanık TOPSIS modeli gereği ($\tilde{A}^+$)'da karar kriteri sayısı kadar (1, 1, 1), ($\tilde{A}^-$)'de karar kriteri sayısı kadar (0, 0, 0) değeri bulunur.

$$\tilde{A}^+ = [(1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1)]$$

$$\tilde{A}^- = [(0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0)]$$

Bütün seçeneklerin FPIS' den ve FNIS' den olan mesafeleri Vertex yöntemi kullanılarak (4.35) ve (4.36) eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.14'de gösterilmiştir.

5.14 FPIS ve FNIS' den Olan Uzaklıklar

ALTERNATİFLER	D_i^+	D_i^-
A1	8,43	5,58
A2	8,68	5,37
A3	8,73	5,35
A4	9,02	5,22
A5	8,53	5,45

Örneğin, A1 için (FPIS, $\tilde{A}^+$) uzaklığı;

$$\begin{aligned} d_1^+ = & \left[\left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,64)^2 + (1 - 0,91)^2 + (1 - 1)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,02)^2 + (1 - 0,16)^2 + (1 - 0,44)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,70)^2 + (1 - 0,94)^2 + (1 - 1)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,29)^2 + (1 - 0,54)^2 + (1 - 0,84)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,64)^2 + (1 - 0,91)^2 + (1 - 1)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,01)^2 + (1 - 0,09)^2 + (1 - 0,37)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,20)^2 + (1 - 0,44)^2 + (1 - 0,77)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,02)^2 + (1 - 0,13)^2 + (1 - 0,37)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0)^2 + (1 - 0,06)^2 + (1 - 0,30)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,01)^2 + (1 - 0,14)^2 + (1 - 0,50)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,02)^2 + (1 - 0,13)^2 + (1 - 0,37)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0,06)^2 + (1 - 0,21)^2 + (1 - 0,52)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((1 - 0)^2 + (1 - 0,02)^2 + (1 - 0,17)^2) \right]^{1/2} \right] = 8,43 \end{aligned}$$

A1 için (FNIS, $\tilde{A}^-$) uzaklığı;

$$\begin{aligned} d_1^- = & \left[\left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,64)^2 + (0 - 0,91)^2 + (0 - 1)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,02)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,44)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,70)^2 + (0 - 0,94)^2 + (0 - 1)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,29)^2 + (0 - 0,54)^2 + (0 - 0,84)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,64)^2 + (0 - 0,91)^2 + (0 - 1)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,01)^2 + (0 - 0,09)^2 + (0 - 0,37)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,20)^2 + (0 - 0,44)^2 + (0 - 0,77)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,02)^2 + (0 - 0,13)^2 + (0 - 0,37)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0)^2 + (0 - 0,06)^2 + (0 - 0,30)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,01)^2 + (0 - 0,14)^2 + (0 - 0,50)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,02)^2 + (0 - 0,13)^2 + (0 - 0,37)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0,06)^2 + (0 - 0,21)^2 + (0 - 0,52)^2) \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{3} * ((0 - 0)^2 + (0 - 0,02)^2 + (0 - 0,17)^2) \right]^{1/2} \right] = 5,58 \text{ şeklinde hesaplanır.} \end{aligned}$$

Mesafelerin bulunmasının ardından (4.37) eşitliği yardımıyla her bir seçenek için yakınlık katsayıları hesaplanmıştır ve bu katsayılar Tablo 5.15'te gösterilmiştir:

Tablo 5.15 Yakınlık Katsayıları

ALTERNATİFLER	CC _i
A1	0,398
A2	0,382
A3	0,38
A4	0,367
A5	0,39

Örneğin, A1 için; $CC_1 = (5,58/(5,58+8,43)) = 0,398$ şeklinde hesaplanır.

Tablo 5.15 incelendiğinde yakınlık katsayıları büyükten küçüğe göre sıralandığında, alternatifler $A1 > A5 > A2 > A3 > A4$ şeklinde olmaktadır. Yani 1 numaralı alternatif MA9000III/6800 en iyi seçim olacaktır. Bunu ENGEL DUO/1000, MA10000III/8400, MA12000III/8400 ve BL1600EKH/C1050 takip etmektedir.

5.3.2 Yamuk Bulanık Sayılar Kullanılarak Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Belirlenen kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak olan sözel değişkenler sırasıyla Tablo 5.16 ve Tablo 5.17’de gösterilmiştir:

Tablo 5.16 Kriterler İçin Göreceli Önem Ağırlıklarını Gösteren Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri

Sözel Değişken	Yamuk Bulanık Sayı
Çok Düşük (ÇD)	(0.0, 0.0, 0.1, 0.2)
Düşük (D)	(0.1, 0.2, 0.2, 0.3)
Biraz Düşük (BD)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
Orta (O)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
Biraz Yüksek (BY)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)

Tablo 5.17 Alternatif Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Yamuk Bulanık Sayı Olarak İfadeleri

Sözel Değişken	Yamuk Bulanık Sayı
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1, 2)
Kötü (K)	(0, 2, 2, 3)
Biraz Kötü (BK)	(2, 3, 4, 5)
Orta (O)	(4, 5, 5, 6)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 6, 7, 8)
İyi (İ)	(7, 8, 8, 9)
Çok İyi (Çİ)	(8, 9, 10, 10)

Ölçütlerin tanımlanmasının ardından, karar verme ekibi Tablo 5.14’deki sözel değişkenleri kullanarak ölçütleri önem derecelerine göre değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler aşağıda Tablo 5.18’de verilmiş olup, kullanılan dilsel ifadelerin yamuk bulanık sayı olarak gösterimi de Tablo 5.19’da gösterilmiştir.

Tablo 5.18 Kriter Ağırlıklarının Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	ÇY	Y	Y
K2	BD	D	BD
K3	Y	ÇY	ÇY
K4	BY	BY	0
K5	ÇY	Y	Y
K6.1	D	BD	D
K6.2	BY	0	0
K6.3	D	BD	D
K6.4	D	D	D
K6.5	0	BD	D
K6.6	D	D	BD
K6.7	BD	0	D
K6.8	ÇD	ÇD	D

Tablo 5.19 Kriter Ağırlıklarının Yamuk Bulanık Sayılar ile Gösterilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	(0.8,0.9,1.0,1.0)	(0.7,0.8,0.8,0.9)	(0.7,0.8,0.8,0.9)
K2	(0.2,0.3,0.4,0.5)	(0.1,0.2,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.4,0.5)
K3	(0.7,0.8,0.8,0.9)	(0.8,0.9,1.0,1.0)	(0.8,0.9,1.0,1.0)
K4	(0.5,0.6,0.7,0.8)	(0.5,0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.5,0.5,0.6)
K5	(0.8,0.9,1.0,1.0)	(0.7,0.8,0.8,0.9)	(0.7,0.8,0.8,0.9)
K6.1	(0.1,0.2,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.4,0.5)	(0.1,0.2,0.2,0.3)
K6.2	(0.5,0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.5,0.5,0.6)	(0.4,0.5,0.5,0.6)
K6.3	(0.1,0.2,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.4,0.5)	(0.1,0.2,0.2,0.3)
K6.4	(0.1,0.2,0.2,0.3)	(0.1,0.2,0.2,0.3)	(0.1,0.2,0.2,0.3)
K6.5	(0.4,0.5,0.5,0.6)	(0.2,0.3,0.4,0.5)	(0.1,0.2,0.2,0.3)
K6.6	(0.1,0.2,0.2,0.3)	(0.1,0.2,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.4,0.5)
K6.7	(0.2,0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.5,0.5,0.6)	(0.1,0.2,0.2,0.3)
K6.8	(0.0,0.0,0.1,0.2)	(0.0,0.0,0.1,0.2)	(0.1,0.2,0.2,0.3)

Üç karar verici tarafından değerlendirilen kriter ağırlıkları ise Formül (4.39) kullanılarak bir değere düşürülmüş ve bu değerlere Tablo 5.20’de yer verilmiştir.

Tablo 5.20 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılarla Gösterilmesi

Kriterler	Ağırlıklar
K1	(0.74,0.84,0.87,0.94)
K2	(0.17,0.27,0.34,0.44)
K3	(0.77,0.87,0.94,0.97)
K4	(0.47,0.57,0.64,0.74)
K5	(0.74,0.84,0.87,0.94)
K6.1	(0.14,0.24,0.27,0.37)
K6.2	(0.44,0.54,0.57,0.67)
K6.3	(0.14,0.24,0.26,0.37)
K6.4	(0.1,0.2,0.2,0.3)
K6.5	(0.24,0.34,0.37,0.47)
K6.6	(0.14,0.24,0.27,0.47)
K6.7	(0.24,0.34,0.37,0.47)
K6.8	(0.04,0.07,0.14,0.24)

Sonraki aşamada, karar verme durumundaki kişiler bütün ölçütlere göre ayrı ayrı alternatif plastik enjeksiyon makinesi tiplerini tek tek değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler Tablo 5.21’de gösterilmiştir. Tablo 5.17 kullanılarak sözel değişkenlerin yamuk bulanık sayılara dönüşümüne Tablo 5.22’de yer verilmiştir.

Tablo 5.21 Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	Çi	i	Çi
	A2	i	Bi	Bi
	A3	O	O	BK
	A4	i	Bi	Bi
	A5	Bi	Bi	O
K2	A1	BK	O	BK
	A2	O	Bi	i
	A3	O	i	i
	A4	BK	O	O
	A5	O	i	Çi
K3	A1	i	Çi	Çi
	A2	Bi	i	Çi
	A3	Bi	i	i
	A4	BK	O	BK
	A5	i	Çi	Çi
K4	A1	i	i	Bi
	A2	Bi	Bi	O
	A3	Bi	i	O
	A4	O	BK	BK
	A5	Bi	i	Bi
K5	A1	Çi	i	Çi
	A2	i	Bi	i
	A3	Çi	Bi	i
	A4	Bi	O	O
	A5	i	Bi	i
K6.1	A1	BK	K	BK
	A2	O	BK	O
	A3	O	O	O
	A4	i	Çi	Çi
	A5	i	i	i
Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K6.2	A1	Bi	i	K
	A2	Bi	Bi	BK
	A3	i	Bi	BK
	A4	O	BK	K
	A5	i	i	Çi
K6.3	A1	Bi	O	Bi
	A2	i	Bi	Bi
	A3	i	i	Bi
	A4	Bi	O	BK
	A5	Çi	i	i
K6.4	A1	BK	O	BK
	A2	O	O	O
	A3	Bi	Bi	O
	A4	Bi	i	i
	A5	O	BK	O
K6.5	A1	K	BK	K
	A2	BK	O	BK
	A3	K	O	BK
	A4	Çi	i	Çi
	A5	K	BK	BK
K6.6	A1	Bi	O	Bi
	A2	Bi	O	Bi
	A3	i	Bi	i
	A4	Çi	i	Çi
	A5	O	O	Bi
K6.7	A1	O	Bi	BK
	A2	Bi	Bi	O
	A3	O	O	BK
	A4	Çi	i	i
	A5	Bi	i	Bi
K6.8	A1	K	BK	K
	A2	O	O	BK
	A3	Bi	BK	O
	A4	Bi	O	i
	A5	O	O	Bi

Tablo 5.22 Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesinin Bulanık Sayılarla Gösterilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	(8,9,10,10)	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)
	A2	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
	A3	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A4	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
	A5	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)
K2	A1	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A2	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)
	A3	(4,5,5,6)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)
	A4	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
	A5	(4,5,5,6)	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)
K3	A1	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)	(8,9,10,10)
	A2	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)
	A3	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)
	A4	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A5	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)	(8,9,10,10)
K4	A1	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)
	A2	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)
	A3	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)	(4,5,5,6)
	A4	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)	(2,3,4,5)
	A5	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)
K5	A1	(8,9,10,10)	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)
	A2	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)
	A3	(8,9,10,10)	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)
	A4	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
	A5	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)
K6.1	A1	(2,3,4,5)	(0,2,2,3)	(2,3,4,5)
	A2	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)
	A3	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
	A4	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)	(8,9,10,10)
	A5	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)
K6.2	A1	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)	(0,2,2,3)
	A2	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(2,3,4,5)
	A3	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(2,3,4,5)
	A4	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)	(0,2,2,3)
	A5	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)
K6.3	A1	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)
	A2	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
	A3	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)
	A4	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A5	(8,9,10,10)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)
K6.4	A1	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A2	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
	A3	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)
	A4	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)
	A5	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)
K6.5	A1	(0,2,2,3)	(2,3,4,5)	(0,2,2,3)
	A2	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A3	(0,2,2,3)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A4	(8,9,10,10)	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)
	A5	(0,2,2,3)	(2,3,4,5)	(2,3,4,5)
K6.6	A1	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)
	A2	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)
	A3	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)
	A4	(8,9,10,10)	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)
	A5	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)
K6.7	A1	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)	(2,3,4,5)
	A2	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)
	A3	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A4	(8,9,10,10)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)
	A5	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)
K6.8	A1	(0,2,2,3)	(2,3,4,5)	(0,2,2,3)
	A2	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(2,3,4,5)
	A3	(5,6,7,8)	(2,3,4,5)	(4,5,5,6)
	A4	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(7,8,8,9)
	A5	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)

Tablo 5.22’de, karar verme durumundaki kişiler tarafından her bir ölçüt için değerlendirilen seçeneklerin sözel ifadeleri yamuk bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Söz konusu bulanık sayılar (4.41) eşitliği kullanılarak, Tablo 5.23’de belirtildiği gibi tek değere düşürülerek bulanık karar matrisi elde oluşturulmuştur.

Tablo 5.23 Yamuk Bulanık Sayılarla Oluşturulan Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6.1
A1	(7.67,8.67,9.34,9.67)	(2.67,3.67,4.34,5.34)	(7.67,8.67,9.34,9.67)	(6.34,7.34,7.67,8.67)	(7.67,8.67,9.34,9.67)	(1.34,2.67,3.34,4.34)
A2	(5.67,6.67,7.34,8.34)	(5.34,6.34,6.67,7.67)	(6.67,7.67,8.34,9)	(4.67,5.67,6.34,7.34)	(6.34,7.34,7.67,8.67)	(3.34,4.34,4.67,5.67)
A3	(3.34,4.34,4.67,5.67)	(6,7,7,8)	(6.34,7.34,7.67,8.67)	(5.34,6.34,6.67,7.67)	(6.67,7.67,8.34,9)	(4,5,5,6)
A4	(5.67,6.67,7.34,8.34)	(3.34,4.34,4.67,5.67)	(2.67,3.67,4.34,5.34)	(2.67,3.67,4.34,5.34)	(4.34,5.34,5.67,6.67)	(7.67,8.67,9.34,9.67)
A5	(4.67,5.67,6.34,7.34)	(6.34,7.34,7.67,8.34)	(7.67,8.67,9.34,9.67)	(5.67,6.67,7.34,8.34)	(6.34,7.34,7.67,8.67)	(7,8,8,9)

	K6.2	K6.3	K6.4	K6.5	K6.6	K6.7	K6.8
A1	(4,5,34,5.67,6.67)	(4.67,5.67,6.34,7.34)	(2.67,3.67,4.34,5.34)	(0.67,2.34,2.67,2.67,3.67)	(4.67,5.67,6.34,7.34)	(3.67,4.67,5.34,6.34)	(0.67,2.34,2.67,3.67)
A2	(4,5,6,7)	(5.67,6.67,7.34,8.34)	(4,5,5,6)	(2.67,3.67,4.34,5.34)	(4.67,5.67,6.34,7.34)	(4.67,5.67,6.34,7.34)	(3.34,4.34,4.67,5.67)
A3	(4.67,5.67,6.34,7.34)	(6.34,7.34,7.67,8.67)	(4.67,5.67,6.34,7.34)	(2,3,34,3.67,4.67)	(6.34,7.34,7.67,8.67)	(3.34,4.34,4.67,5.67)	(3.67,4.67,5.34,6.34)
A4	(2,3,34,3.67,4.67)	(3.67,4.67,5.34,6.34)	(6.34,7.34,7.67,8.67)	(7.67,8.67,9.34,9.67)	(7.67,8.67,9.34,9.67)	(7.34,8.34,8.67,9.34)	(5.34,6.34,6.67,7.67)
A5	(7.34,8.34,8.67,9.34)	(7.34,8.34,8.67,9.34)	(3.34,4.34,4.67,5.67)	(1.34,2.67,3.34,4.34)	(4.34,5.34,5.67,6.67)	(5.67,6.67,7.34,8.34)	(4.34,5.34,5.67,6.67)

Bulanık karar matrisi, Eşitlik (4.42) kullanılarak normalize edilmiş ve bu normalize edilmiş karar matrisine Tablo 5.24’de yer verilmiştir.

Tablo 5.24 Yamuk Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6.1	K6.2	K6.3
A1	0,79 0,90 0,97 1	0,50 0,69 0,81 1	0,79 0,90 0,97 1	0,73 0,85 0,88 1	0,79 0,90 0,97 1	0,31 0,62 0,77 1	0,60 0,80 0,85 1	0,64 0,77 0,86 1
A2	0,68 0,80 0,88 1	0,70 0,83 0,87 1	0,74 0,85 0,93 1	0,64 0,77 0,86 1	0,73 0,85 0,88 1	0,59 0,77 0,82 1	0,57 0,71 0,86 1	0,68 0,80 0,88 1
A3	0,59 0,77 0,82 1	0,75 0,88 0,88 1	0,73 0,85 0,88 1	0,70 0,83 0,87 1	0,74 0,85 0,93 1	0,67 0,83 0,83 1	0,64 0,77 0,86 1	0,73 0,85 0,88 1
A4	0,68 0,80 0,88 1	0,59 0,77 0,82 1	0,50 0,69 0,81 1	0,50 0,69 0,81 1	0,65 0,80 0,85 1	0,79 0,90 0,97 1	0,43 0,72 0,79 1	0,58 0,74 0,84 1
A5	0,64 0,77 0,86 1	0,76 0,88 0,92 1	0,79 0,90 0,97 1	0,68 0,80 0,88 1	0,73 0,85 0,88 1	0,78 0,89 0,89 1	0,79 0,89 0,93 1	0,79 0,89 0,93 1
	K6.4	K6.5	K6.6	K6.7	K6.8			
A1	0,50 0,69 0,81 1	0,18 0,64 0,73 1	0,64 0,77 0,86 1	0,58 0,74 0,84 1	0,18 0,64 0,73 1			
A2	0,67 0,83 0,83 1	0,50 0,69 0,81 1	0,64 0,77 0,86 1	0,64 0,77 0,86 1	0,59 0,77 0,82 1			
A3	0,64 0,77 0,86 1	0,43 0,72 0,79 1	0,73 0,85 0,88 1	0,59 0,77 0,82 1	0,58 0,74 0,84 1			
A4	0,73 0,85 0,88 1	0,79 0,90 0,97 1	0,79 0,90 0,97 1	0,79 0,89 0,93 1	0,70 0,83 0,87 1			
A5	0,59 0,77 0,82 1	0,31 0,62 0,77 1	0,65 0,80 0,85 1	0,68 0,80 0,88 1	0,65 0,80 0,85 1			

Normalize edilmiş karar matrisinde hesaplanan değerlerin her biri, Tablo 5.20’de ifade edilecek ölçüt ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Bu değerler Tablo 5.25’de ifade edilmiştir.

Tablo 5.25 Yamuk Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6.1	K6.2	K6.3
A1	0,59 0,75 0,84 0,94	0,09 0,19 0,28 0,44	0,61 0,78 0,91 0,97	0,34 0,48 0,57 0,74	0,59 0,75 0,84 0,94	0,04 0,15 0,21 0,37	0,26 0,43 0,48 0,67	0,09 0,19 0,22 0,37
A2	0,50 0,67 0,77 0,94	0,12 0,22 0,30 0,44	0,57 0,74 0,87 0,97	0,30 0,44 0,55 0,74	0,54 0,71 0,77 0,94	0,08 0,18 0,22 0,37	0,25 0,39 0,49 0,67	0,10 0,19 0,23 0,37
A3	0,44 0,64 0,72 0,94	0,13 0,24 0,30 0,44	0,56 0,74 0,83 0,97	0,33 0,47 0,56 0,74	0,55 0,72 0,81 0,94	0,09 0,20 0,23 0,37	0,28 0,42 0,49 0,67	0,10 0,20 0,23 0,37
A4	0,50 0,67 0,77 0,94	0,10 0,21 0,28 0,44	0,39 0,60 0,76 0,97	0,24 0,39 0,52 0,74	0,48 0,67 0,74 0,94	0,11 0,22 0,26 0,37	0,19 0,39 0,45 0,67	0,08 0,18 0,22 0,37
A5	0,47 0,65 0,75 0,94	0,13 0,24 0,31 0,44	0,61 0,78 0,91 0,97	0,32 0,46 0,56 0,74	0,54 0,71 0,77 0,94	0,11 0,21 0,24 0,37	0,35 0,48 0,53 0,67	0,11 0,21 0,24 0,37
	K6.4	K6.5	K6.6	K6.7	K6.8			
A1	0,05 0,14 0,16 0,30	0,04 0,22 0,27 0,47	0,09 0,19 0,23 0,47	0,14 0,25 0,31 0,47	0,01 0,04 0,10 0,24			
A2	0,07 0,17 0,17 0,30	0,12 0,23 0,30 0,47	0,09 0,19 0,23 0,47	0,15 0,26 0,32 0,47	0,02 0,05 0,12 0,24			
A3	0,06 0,15 0,17 0,30	0,10 0,24 0,29 0,47	0,10 0,20 0,24 0,47	0,14 0,26 0,30 0,47	0,02 0,05 0,12 0,24			
A4	0,07 0,17 0,18 0,30	0,19 0,30 0,36 0,47	0,11 0,22 0,26 0,47	0,19 0,30 0,34 0,47	0,03 0,06 0,12 0,24			
A5	0,06 0,15 0,16 0,30	0,07 0,21 0,28 0,47	0,09 0,19 0,23 0,47	0,16 0,27 0,33 0,47	0,03 0,06 0,12 0,24			

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmasının ardından bulanık pozitif ideal çözüm ($\tilde{A}^+$) ve bulanık negatif ideal çözüm ($\tilde{A}^-$) belirlenmiştir.

$$\tilde{A}^+ = [(1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1), (1,1,1,1)]$$

$$\tilde{A}^- = [(0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0), (0,0,0,0)]$$

Her bir seçeneğin FPIS' den ve FNIS' den olan mesafeleri Vertex yöntemi kullanılarak (4.45) ve (4.46) eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.26'da gösterilmiştir.

Tablo 5.26 FPIS ve FNIS' den Olan Uzaklıklar

ALTERNATİFLER	D_i^+	D_i^-
A1	8,16	5,42
A2	8,23	5,34
A3	8,2	5,33
A4	8,34	5,27
A5	8,11	5,41

Uzaklıkların bulunmasının ardından 4.47 eşitliği yardımıyla her bir seçenek için yakınlık katsayıları hesaplanmıştır ve bu katsayılar Tablo 5.27’de ifade edilmiştir:

Tablo 5.27 Yakınlık Katsayıları

ALTERNATİFLER	CC _i
A1	0,3991
A2	0,3935
A3	0,3939
A4	0,3872
A5	0,4001

Tablo 5.27 incelendiğinde yakınlık katsayıları büyükten küçüğe göre sıralandığında, seçenekler A5>A1>A3>A2>A4 şeklinde olmaktadır. Yani 5 numaralı alternatif ENGEL DUO/1000 en iyi seçim olacaktır.

5.4 Bulanık VIKOR Yönteminin Uygulanması

Karar verme ekibin yardımıyla, çok kriteri barından bir problem için uzlaşık çözümler aramaya ve seçenekler içerisinde sıralama yapmaya dayanan bulanık VIKOR yönteminde bulanık TOPSIS yönteminde kullanılan veriler ile analiz gerçekleştirilmiştir.

Bulanık TOPSIS yönteminde olduğu gibi, üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanarak Bulanık VIKOR yöntemiyle plastik enjeksiyon makinesi seçim problemine çözüm aranmıştır. Farklı bulanık sayıların kullanılması ile ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.4.1 Üçgen Bulanık Sayılar Kullanarak VIKOR Yönteminin Uygulanması

Üçgen bulanık sayılar kullanarak VIKOR yöntemiyle problemi çözmek için; oluşturulan karar verme ekibi ile beraber, Tablo 5.4’de kriter değerlendirmesi için belirtilen dilsel ifadeler, Tablo 5.8’de belirtilen kriter ağırlıkları, Tablo 5.5’te alternatif değerlendirmesi için belirtilen dilsel ifadeler ve Tablo 5.11’de bulunan bulanık karar matrisi baz alınmıştır. Elde edilen bu verilerin ardından bulanık VIKOR yöntemi için daha önce açıklanan işlem adımları takip edilmiştir.

Bulanık TOPSIS yönteminin uygulamasında belirtilen kriterlerin ağırlıkları, bu bölümde de anımsatma amaçlı Tablo 5.28’de tekrar ifade edilmiştir.

Tablo 5.28 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılarla Gösterilmesi

Kriterler	Ağırlıklar
K1	(0.77,0.94,1)
K2	(0.067,0.24,0.44)
K3	(0.84,0.97,1)
K4	(0.44,0.64,0.84)
K5	(0.77,0.94,1)
K6.1	(0.04,0.17,0.37)
K6.2	(0.37,0.57,0.77)
K6.3	(0.04,0.17,0.37)
K6.4	(0,0.1,0.3)
K6.5	(0.14,0.3,0.5)
K6.6	(0,0.04,0.17,0.37)
K6.7	(0.14,0.3,0.5)
K6.8	(0,0.04,0.17)

Tablo 5.28’deki bulanık sayıların ortalaması alınarak, elde edilen yeni ağırlıklar Tablo 5.29’da gösterilmiştir.

Tablo 5.29 Kriterin Ortalama Ağırlıkları ve Normalize Ağırlıklar

Kriterler	Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
K1	0,9	0,16
K2	0,24	0,04
K3	0,93	0,17
K4	0,64	0,11
K5	0,9	0,16
K6.1	0,19	0,03
K6.2	0,57	0,10
K6.3	0,19	0,03
K6.4	0,13	0,02
K6.5	0,31	0,06
K6.6	0,19	0,03
K6.7	0,31	0,06
K6.8	0,07	0,01
TOPLAM	5,57	1,00

Örneğin, üç karar verici olduğu için birinci kriterin ağırlığı;

$$K_1 = (0.77, 0.94, 1.0)/3 = 0.90 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Sonrasında ağırlıklar 0- 1 arasında normalize edilir.

Örneğin K_1 için;

$$\text{normalize ağırlık değeri } (0.9/5.57)=0.16 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Normalize ağırlıklara bakıldığında karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerde 0,17 değeriyle en önemli kriterin güvenlik olduğu, sonrasında 0,16 değerleriyle maliyet avantajı çevre dostu olma kriterinin takip ettiği görülmektedir.

Bölüm 5.2.3'te TOPSIS yönteminin uygulaması aşamasında belirtilen normalize bulanık karar matrisi Tablo 5.30'da tekrar gösterilmiştir.

Tablo 5.30 Üçgen Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5			K6.1		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	0,83	0,97	1	0,29	0,65	1	0,83	0,97	1	0,66	0,86	1	0,83	0,97	1	0,15	0,54	1
A2	0,61	0,82	1	0,58	0,81	1	0,72	0,90	1	0,52	0,76	1	0,66	0,86	1	0,37	0,68	1
A3	0,37	0,68	1	0,63	0,85	1	0,70	0,93	1	0,58	0,90	1	0,72	0,90	1	0,43	0,71	1
A4	0,61	0,82	1	0,37	0,68	1	0,29	0,77	1	0,29	0,65	1	0,48	0,74	1	0,83	0,97	1
A5	0,52	0,76	1	0,70	0,89	1	0,83	0,97	1	0,61	0,82	1	0,66	0,86	1	0,70	0,90	1

	K6.2			K6.3			K6.4			K6.5			K6.6			K6.7			K6.8		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	0,54	0,77	1	0,52	0,76	1	0,29	0,65	1	0,09	0,46	1	0,52	0,76	1	0,43	0,71	1	0,09	0,46	1
A2	0,50	0,77	1	0,61	0,82	1	0,43	0,71	1	0,29	0,65	1	0,52	0,76	1	0,52	0,76	1	0,37	0,68	1
A3	0,54	0,79	1	0,66	0,86	1	0,52	0,76	1	0,27	0,60	1	0,66	0,86	1	0,37	0,68	1	0,43	0,71	1
A4	0,27	0,60	1	0,43	0,71	1	0,66	0,86	1	0,83	0,97	1	0,83	0,97	1	0,77	0,93	1	0,58	0,81	1
A5	0,77	0,93	1	0,77	0,93	1	0,37	0,68	1	0,15	0,54	1	0,48	0,74	1	0,61	0,82	1	0,48	0,74	1

Bölüm 4.5'de gösterilen bulanık VIKOR adımlarına göre yapılan işlemler aşağıda sırasıyla belirtilmiştir. Her bir kriter için hesaplanan en iyi ve en kötü ($\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$) değerleri Eşitlik (4.51) kullanılarak Tablo 5.31'de gösterilmiştir.

Tablo 5.31 $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ Değerleri

Kriterler	$\tilde{f}_j^*$			$\tilde{f}_j^-$		
K1	0,83	0,97	1	0,37	0,68	1
K2	0,7	0,89	1	0,29	0,65	1
K3	0,83	0,97	1	0,29	0,77	1
K4	0,66	0,86	1	0,29	0,65	1
K5	0,83	0,97	1	0,48	0,74	1
K6.1	0,83	0,97	1	0,15	0,54	1
K6.2	0,77	0,93	1	0,27	0,6	1
K6.3	0,77	0,93	1	0,43	0,71	1
K6.4	0,66	0,86	1	0,29	0,65	1
K6.5	0,83	0,97	1	0,09	0,46	1
K6.6	0,83	0,97	1	0,48	0,74	1
K6.7	0,77	0,93	1	0,37	0,68	1
K6.8	0,58	0,81	1	0,09	0,46	1

Her bir kriter için hesaplanan en iyi ve en kötü ($\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$) değerleri durulaştırılmış ve Tablo 5.32’de gösterilmiştir.

Tablo 5.32 Ortalama $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ Değerleri

Kriterler	$\tilde{f}_j^*$	$\tilde{f}_j^-$
K1	0,93	0,68
K2	0,86	0,65
K3	0,93	0,69
K4	0,84	0,65
K5	0,93	0,74
K6.1	0,93	0,56
K6.2	0,90	0,62
K6.3	0,90	0,71
K6.4	0,84	0,65
K6.5	0,93	0,52
K6.6	0,93	0,74
K6.7	0,90	0,68
K6.8	0,80	0,52

Örneğin K₁ için;

$\tilde{f}_j^*$ değeri: $(0.83 + 0.97 + 1.0)/3 = 0.93$ $\tilde{f}_j^-$ değeri : $(0.37 + 0.68 + 1.0)/3 = 0.68$ şeklinde hesaplanır.

Her bir alternatif plastik enjeksiyon makinesi tipinin her bir kriter için olan bulanık değerlerinin tek tek ortalaması alınmış ve bulunan net değerleri Tablo 5.33’de ifade edilmiştir.

Tablo 5.33 Karar Matrisi İçin Net Değerler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6.1	K6.2	K6.3	K6.4	K6.5	K6.6	K6.7	K6.8
A1	0,93	0,65	0,93	0,84	0,93	0,56	0,77	0,76	0,65	0,52	0,76	0,71	0,52
A2	0,81	0,79	0,87	0,76	0,84	0,68	0,76	0,81	0,71	0,65	0,76	0,76	0,68
A3	0,68	0,83	0,88	0,83	0,87	0,71	0,78	0,84	0,76	0,62	0,84	0,68	0,71
A4	0,81	0,68	0,69	0,65	0,74	0,93	0,62	0,71	0,84	0,93	0,93	0,90	0,80
A5	0,76	0,86	0,93	0,81	0,84	0,87	0,90	0,90	0,68	0,56	0,74	0,81	0,74

Örneğin A1-K1 için net değer;

$(0.83+ 0.97+ 1.0)/3 = 0.93$ şeklinde hesaplanmıştır.

Net değerlerin hesaplanmasının ardından $\tilde{S}_i$ değerleri Eşitlik (4.52) $\tilde{R}_i$ değerleri Eşitlik (4.53), $\tilde{Q}_i$ değeri Eşitlik (4.56) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 5.34’te gösterilmiştir.

Tablo 5.34 Tüm Alternatif Plastik Enjeksiyon Makineleri İçin S, R, Q değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5
S	0,32	0,48	0,47	0,7	0,34
R	0,06	0,08	0,16	0,17	0,11
Q	0	0,32	0,67	1	0,28

Örneğin 1. Alternatif için $\tilde{S}_1$ değeri;

$$\begin{aligned} \tilde{S}_1 = & [0,16 * (0,93-0,93) / (0,93-0,68)] + [0,04 * (0,86-0,65) / (0,86-0,65)] + [0,17 * (0,93-0,93) / \\ & (0,93-0,69)] + [0,11 * (0,84-0,84) / (0,84-0,65)] + [0,16 * (0,93-0,93) / (0,93-0,74)] + [0,03 \\ & * (0,93-0,56) / (0,93-0,56)] + [0,10 * (0,90-0,77) / (0,90-0,62)] + [0,03 * (0,90-0,76) / (0,90- \\ & 0,71)] + [0,02 * (0,84-0,65) / (0,84-0,65)] + [0,06 * (0,93-0,52) / (0,93-0,52)] + [0,03 * (0,93- \end{aligned}$$

$$0,76) / (0,93-0,74)] + [0,06 * (0,90-0,71) / (0,90-0,68)] + [0,01 * (0,80-0,52) / (0,80-0,52)] \\ =1,78$$

$\nu =0.5$ için $\tilde{Q}_i$ değerleri;

$$\tilde{Q}_1 = 0,5*(0,32-0,32)/(0,7-0,32)+(1-0,5)*(0,06-0,06)/(0,17-0,06)=0$$

$$\tilde{Q}_2=0,5*(0,48-0,32)/(0,7-0,32)+(1-0,5)*(0,08-0,06)/(0,17-0,06)=0,32$$

$$\tilde{Q}_3= 0,5*(0,47-0,32)/(0,7-0,32)+(1-0,5)*(0,16-0,06)/(0,17-0,06)=0,67$$

$$\tilde{Q}_4= =0,5*(0,7-0,32)/(0,7-0,32)+(1-0,5)*(0,17-0,06)/(0,17-0,06)=1$$

$$\tilde{Q}_5= 0,5*(0,34-0,32)/(0,7-0,32)+(1-0,5)*(0,11-0,06)/(0,17-0,06)=0,28 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Farklı üst düzeyde grup yararını sağlayan strateji ağırlığı ile (ν) , zıt görüşte olanların minimum pişmanlığının ağırlığını ($1- \nu$) ifade eden değerlerin değişmesinin problem çözümünde nasıl bir etki yaratacağını görebilmek adına; farklı değerlerdeki (ν) ve ($1- \nu$) ile hesaplanan Q değerleri Tablo 5.35’de belirtilmiştir.

Tablo 5.35 Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Farklı ν Değerleri İçin Sıralama Sonuçları

$\nu=0$ için		$\nu=0,25$ için		$\nu=0,50$ için		$\nu=0,75$ için		$\nu=1$ için	
Sıralama	Q_i	Sıralama	Q_i	Sıralama	Q_i	Sıralama	Q_i	Sıralama	Q_i
A1	0	A1	0	A1	0	A1	0	A1	0
A2	0,23	A2	0,27	A5	0,28	A5	0,17	A5	0,06
A5	0,5	A5	0,39	A2	0,32	A2	0,37	A3	0,4
A3	0,95	A3	0,81	A3	0,67	A3	0,53	A2	0,42
A4	1	A4	1	A4	1	A4	1	A4	1

Tablo 5.35’de de görülebileceği gibi maksimum grup faydasını sağlayan stratejilerin ağırlığı 0 ve 0,25 iken alternatif sıralaması MA9000IIS/6800(A1), MA10000IIS/8400(A2), ENGEL DUO/1000(A5), MA12000IIS/8400(A3) ve BL1600EKH/C1050(A4) şeklinde olmaktadır.

$v = 0,50$ ve $v = 0,75$ için alternatif sıralaması MA9000IIS/6800(A1), ENGEL DUO/1000(A5), MA10000IIS/8400(A2), MA12000IIS/8400(A3) ve ve BL1600EKH/C1050(A4) şeklinde olmaktadır.

$v = 1$ için ise alternatif sıralaması MA9000IIS/6800(A1), ENGEL DUO/1000(A5), MA12000IIS/8400(A3), MA10000IIS/8400(A2) ve BL1600EKH/C1050(A4) şeklinde olmaktadır.

Farklı v değerleri kullanarak gerçekleştirilen bu çalışmada en iyi alternatif her seferinde MA9000IIS/6800(A1) olarak bulunurken, en kötü alternatif BL1600EKH/C1050(A4) olarak bulunmuştur.

S, R ve Q değerlerinin belirlenmesinin ardından bu değerler küçükten büyüğe doğru sıralanmış olup çözümde kullanılacak sıralama listeleri Tablo 5.36’da gösterilmiştir.

Tablo 5.36 Farklı v Değerleri İçin Duyarlılık Analizi Sonuçları

Si Değerlerine Göre	Ri Değerlerine Göre	Qi Değerlerine Göre				
		$v=0$	$v=0,25$	$v=0,5$	$v=0,75$	$v=1$
A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1
A5	A2	A2	A2	A5	A5	A5
A3	A5	A5	A5	A2	A2	A3
A2	A3	A3	A3	A3	A3	A2
A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4

Elde edilen sonuçlar $v=0,5$ için Tablo 5.37’de gösterilmiştir.

Tablo 5.37 Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin S, R ve Q’ ya Göre Sıralanması

	1	2	3	4	5
S	A1	A5	A3	A2	A4
R	A1	A2	A5	A3	A4
Q	A1	A5	A2	A3	A4

Hesaplanan sonucun geçerli olabilmesi için iki şart sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde, minimum Q değerine sahip alternatif, en iyi olarak nitelendirilebilmektedir. Şartlar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

C1: Kabul Edilebilir Avantaj

En iyi ve ikinci en iyi alternatiflerin Q değerlerinin farkına ve seçenek sayısını baz alarak gerçekleştirilen hesaplamada, şartın desteklenip desteklenmediği tespit edilmektedir.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

a'' burada; Q değerine göre sıralama listesinde ikinci sırada olan seçenek,

a' ise en az Q değerine sahip seçenektir.

$DQ = 1/(M-1)$, M burada alternatif sayısını ifade eder.

Gerçekleştirilen çalışmada en iyi Q değerine sahip alternatif $A1$ ve ikinci sıradaki alternatif ise $A5$ 'dir. Yapılan işlemler aşağıda belirtilmiştir;

$$A5 - A1 \geq DQ$$

$$0,28 - 0,0 \geq 1/(5-1)$$

$0,28 \geq 0,25$ sonucuna göre eşitlik sağlanmaktadır.

Bu durumda $C1$ koşulu sağlanmaktadır.

C2: Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar

Hesaplanan uzlaşık çözümün, karar verme sürecinde dengeli olduğunun belirlenmesi açısından, alternatif a'' 'in, S ve/veya R değerlerinden en az birinde en iyi seçenek olarak tercih edilmelidir. S ve/veya R değerlerine göre sıralanan seçeneklere bakıldığı zaman, S' 'ye ve R' 'ye göre en iyi seçenek $A1$ 'dir.

Bu durumda $C2$ koşulu sağlanmaktadır.

Uzlaşık çözüm kümesi dahilinde Q değerlerine göre sıralama yapılır. En iyi alternatif $MA9000III/6800$ 'dir. Bunu sırasıyla $ENGEL DUO/1000$, $MA10000III/8400$, $MA12000III/8400$ ve $BL1600EKH/C1050$ takip eder.

5.4.2 Yamuk Bulanık Sayılar Kullanarak VIKOR Yönteminin Uygulanması

Yamuk bulanık sayılar kullanarak VIKOR yöntemiyle problemi çözmek için; oluşturulan karar verme ekibi ile beraber, Tablo 5.16’da kriter değerlendirmesi için belirtilen dilsel ifadeler, Tablo 5.20’de belirtilen kriter ağırlıkları, Tablo 5.17’de alternatif değerlendirmesi için belirtilen dilsel ifadeler ve Tablo 5.23’de bulunan bulanık karar matrisi baz alınmıştır. Elde edilen bu verilerin ardından bulanık VIKOR yöntemi için daha önce açıklanan işlem adımları takip edilmiştir. Bulanık TOPSIS yönteminin uygulamasında belirtilen kriterlerin ağırlıkları, bu bölümde de anımsatma amaçlı Tablo 5.38’de tekrar ifade edilmiştir.

Tablo 5.38 Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılarla Gösterilmesi

Kriterler	Ağırlıklar
K1	(0,74,0.84,0.87,0.94)
K2	(0.17,0.27,0.34,0.44)
K3	(0.77,0.87,0.94,0.97)
K4	(0.47,0.57,0.64,0.74)
K5	(0.74,0.84,0.87,0.94)
K6.1	(0.14,0.24,0.27,0.37)
K6.2	(0.44,0.54,0.57,0.67)
K6.3	(0.14,0.24,0.26,0.37)
K6.4	(0.1,0.2,0.2,0.3)
K6.5	(0.24,0.34,0.37,0.47)
K6.6	(0.14,0.24,0.27,0.47)
K6.7	(0.24,0.34,0.37,0.47)
K6.8	(0.04,0.07,0.14,0.24)

Tablo 5.38’deki bulanık sayıların ortalaması alınarak, elde edilen yeni ağırlıklar Tablo 5.39’da gösterilmiştir.

Tablo 5.39 Kriterlerin Ortalama Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar	Normalize Edilmiş Ağırlıklar
K1	0,85	0,14
K2	0,31	0,05
K3	0,89	0,15
K4	0,61	0,10
K5	0,85	0,14
K6.1	0,26	0,04
K6.2	0,56	0,09
K6.3	0,25	0,04
K6.4	0,2	0,03
K6.5	0,36	0,06
K6.6	0,28	0,05
K6.7	0,36	0,06
K6.8	0,12	0,02
Toplam	5,9	1

Bölüm 5.2.3'te TOPSIS yönteminin uygulaması aşamasında belirtilen normalize bulanık karar matrisi Tablo 5.40'ta tekrar gösterilmiştir.

Tablo 5.40 Yamuk Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1				K2				K3				K4				K5				K6.1			
A1	0,79	0,9	0,97	1	0,5	0,69	0,81	1	0,79	0,9	0,97	1	0,73	0,85	0,88	1	0,79	0,9	0,97	1	0,31	0,62	0,77	1
A2	0,68	0,8	0,88	1	0,7	0,83	0,87	1	0,74	0,85	0,93	1	0,64	0,77	0,86	1	0,73	0,85	0,88	1	0,59	0,77	0,82	1
A3	0,59	0,77	0,82	1	0,75	0,88	0,88	1	0,73	0,85	0,88	1	0,7	0,83	0,87	1	0,74	0,85	0,93	1	0,67	0,83	0,83	1
A4	0,68	0,8	0,88	1	0,59	0,77	0,82	1	0,5	0,69	0,81	1	0,5	0,69	0,81	1	0,65	0,8	0,85	1	0,79	0,9	0,97	1
A5	0,64	0,77	0,86	1	0,76	0,88	0,92	1	0,79	0,9	0,97	1	0,68	0,8	0,88	1	0,73	0,85	0,88	1	0,78	0,89	0,89	1

	K6.2				K6.3				K6.4				K6.5				K6.6				K6.7				K6.8			
A1	0,6	0,8	0,85	1	0,64	0,77	0,86	1	0,5	0,69	0,81	1	0,18	0,64	0,73	1	0,64	0,77	0,86	1	0,58	0,74	0,84	1	0,18	0,64	0,73	1
A2	0,57	0,71	0,86	1	0,68	0,8	0,88	1	0,67	0,83	0,83	1	0,5	0,69	0,81	1	0,64	0,77	0,86	1	0,64	0,77	0,86	1	0,59	0,77	0,82	1
A3	0,64	0,77	0,86	1	0,73	0,85	0,88	1	0,64	0,77	0,86	1	0,43	0,72	0,79	1	0,73	0,85	0,88	1	0,59	0,77	0,82	1	0,58	0,74	0,84	1
A4	0,43	0,72	0,79	1	0,58	0,74	0,84	1	0,73	0,85	0,88	1	0,79	0,9	0,97	1	0,79	0,9	0,97	1	0,79	0,89	0,93	1	0,7	0,83	0,87	1
A5	0,79	0,89	0,93	1	0,79	0,89	0,93	1	0,59	0,77	0,82	1	0,31	0,62	0,77	1	0,65	0,8	0,85	1	0,68	0,8	0,88	1	0,65	0,8	0,85	1

Bölüm 4.5'de gösterilen bulanık VIKOR adımlarına göre yapılan işlemler aşağıda sırasıyla belirtilmiştir. Her bir kriter için hesaplanan en iyi ve en kötü ($\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$) değerleri Eşitlik (4.51) kullanılarak Tablo 5.41'de gösterilmiştir.

Tablo 5.41 $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ Değerleri

Kriterler	$\tilde{f}_j^*$				$\tilde{f}_j^-$			
K1	0,79	0,9	0,97	1,00	0,59	0,77	0,82	1,00
K2	0,76	0,88	0,92	1,00	0,5	0,69	0,81	1,00
K3	0,79	0,9	0,97	1,00	0,5	0,69	0,81	1,00
K4	0,73	0,85	0,88	1,00	0,5	0,69	0,81	1,00
K5	0,79	0,9	0,97	1,00	0,65	0,8	0,85	1,00
K6.1	0,79	0,90	0,97	1,00	0,31	0,62	0,77	1,00
K6.2	0,79	0,89	0,93	1,00	0,43	0,71	0,79	1,00
K6.3	0,79	0,89	0,93	1,00	0,58	0,74	0,84	1,00
K6.4	0,73	0,85	0,88	1,00	0,50	0,69	0,81	1,00
K6.5	0,79	0,90	0,97	1,00	0,18	0,62	0,73	1,00
K6.6	0,79	0,90	0,97	1,00	0,64	0,77	0,85	1,00
K6.7	0,79	0,89	0,93	1,00	0,58	0,74	0,82	1,00
K6.8	0,70	0,83	0,87	1,00	0,18	0,64	0,73	1,00

Bütün ölçütler için ayrı ayrı hesaplanan en iyi ve en kötü($\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$) değerleri durulaştırılmış ve Tablo 5.42’de gösterilmiştir.

Tablo 5.42 Ortalama $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ Değerleri

Kriterler	$\tilde{f}_j^*$	$\tilde{f}_j^-$
K1	0,92	0,80
K2	0,89	0,75
K3	0,92	0,75
K4	0,87	0,75
K5	0,92	0,83
K6.1	0,91	0,67
K6.2	0,90	0,73
K6.3	0,90	0,79
K6.4	0,87	0,75
K6.5	0,91	0,63
K6.6	0,91	0,81
K6.7	0,90	0,78
K6.8	0,85	0,64

Her bir alternatif plastik enjeksiyon makinesi tipinin her bir kriter için olan bulanık değerlerinin ayrı ayrı ortalaması alınmış ve bulunan net değerleri Tablo 5.43’te gösterilmiştir.

Tablo 5.43 Karar Matrisi için Net Değerler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6.1	K6.2	K6.3	K6.4	K6.5	K6.6	K6.7	K6.8
A1	0,91	0,75	0,91	0,87	0,91	0,67	0,81	0,82	0,75	0,64	0,82	0,79	0,64
A2	0,84	0,85	0,88	0,82	0,87	0,79	0,79	0,84	0,83	0,75	0,82	0,82	0,79
A3	0,79	0,88	0,87	0,85	0,88	0,83	0,82	0,87	0,82	0,73	0,87	0,79	0,79
A4	0,84	0,79	0,75	0,75	0,83	0,91	0,73	0,79	0,87	0,91	0,91	0,90	0,85
A5	0,82	0,89	0,91	0,84	0,87	0,89	0,90	0,90	0,79	0,67	0,83	0,84	0,83

Net değerlerin hesaplanmasının ardından $\tilde{S}_i$ değerleri Eşitlik (4.52) $\tilde{R}_i$ değerleri Eşitlik (4.53), $\tilde{Q}_i$ değeri Eşitlik (4.56) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına Tablo 5.44'te yer verilmiştir.

Tablo 5.44 Tüm Alternatif Plastik Enjeksiyon Makineleri İçin S, R, Q değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5
S	0,4	0,51	0,48	0,66	0,37
R	0,06	0,09	0,14	0,15	0,12
Q	0	0,42	0,64	1	0,31

Farklı v değerleri için hesaplanan Q değerleri Tablo 5.45'te belirtilmiştir.

Tablo 5.45 Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Farklı v Değerleri İçin Sıralama Sonuçları

v=0 için		v=0,25 için		v=0,5 için		v=0,75 için		v=1 için	
Sıralama	Qi	Sıralama	Qi	Sıralama	Qi	Sıralama	Qi	Sıralama	Qi
A1	0	A1	0	A1	0	A1	0	A5	0
A2	0,33	A2	0,36	A5	0,31	A5	0,15	A1	0,09
A5	0,62	A5	0,47	A2	0,42	A2	0,43	A3	0,37
A3	0,92	A3	0,78	A3	0,64	A3	0,5	A2	0,47
A4	1	A4	1	A4	1	A4	1	A4	1

S , R ve Q değerlerinin bulunmasından sonra bu değerler küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve çözümde kullanılacak sıralama listeleri Tablo 5.46'da gösterilmiştir.

Tablo 5.46 Farklı ν Değerleri İçin Duyarlılık Analizi Sonuçları

Si Değerlerine Göre	Ri Değerlerine Göre	Qi Değerlerine Göre			
		$\nu=0$	$\nu=0,25$	$\nu=0,5$	$\nu=1$
A5	A1	A1	A1	A1	A5
A1	A2	A2	A2	A5	A1
A3	A5	A5	A5	A2	A3
A2	A3	A3	A3	A3	A2
A4	A4	A4	A4	A4	A4

Elde edilen sonuçlar $\nu=0,5$ için Tablo 5.47’de gösterilmiştir.

Tablo 5.47 Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin S , R ve Q ’ ya Göre Sıralanması

	1	2	3	4	5
S	A5	A1	A3	A2	A4
R	A1	A2	A5	A3	A4
Q	A1	A5	A2	A3	A4

Bulunan sonucun geçerli olabilmesi için iki koşul sağlanmalıdır. Bu şekilde, minimum Q değerine sahip alternatif, en iyi olarak değerlendirilebilmektedir. Bu şartlar;

C1: Kabul Edilebilir Avantaj

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

$$A5-A1 \geq 1/(M-1),$$

$$0,31-0 \geq 0,25$$

$$0,31 \geq 0,25$$

sonucuna göre eşitlik sağlanmaktadır.

Bu durumda C1koşulu sağlanmaktadır.

C2: Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar

Hesaplanan uzlaşık çözümün, karar verme prosesinde dengede olduğunun belirlenmesi açısından, seçenek a'' ’in, S ve/veya R değerlerinden en az birinde en iyi seçenek olarak tercih edilmelidir.

S ve/veya R değerlerine göre sıralanan alternatiflere bakıldığı zaman, R 'ye göre en uygun seçenek A1'dir.

Bu durumda C2 koşulu sağlanmaktadır.

Uzlaşık çözüm kümesi içerisinde Q değerlerine göre sıralama yapıldığında, en uygun seçenek MA9000III/6800'dir. Bunu sırasıyla ENGEL DUO/1000, MA10000III/8400, MA12000III/8400 ve BL1600EKH/C1050 takip eder.

5.5 Üçgen Bulanık Sayılar ve Yamuk Bulanık Sayılar Kullanılarak Gerçekleştirilen Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yönteminin Değerlendirilmesi

Üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak çözülen Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerinde iki yöntemin birbiriyle ilişkisi doğrusal korelasyon kullanılarak hesaplanmıştır.

Doğrusal korelasyonda, aralarında hangi yönde bir bağ olduğu bilinmek istenen değerlerin kantitatif özellikte olduğu ve hesaplamalarıyla ilişki doğru ve gerçek verilerin bilindiği düşünülür. Buna karşı, karar alma prosesinde nicel karakterli parametrelerin olmadığı durumlarda parametrelerin sayı diliyle analizi yapılamamaktadır. Gerçekleştirilen analizlerin herhangi bir kısıta göre sıralandığı durumlarda parametrelerin sayısal olarak analizi yerine kaçınıcı sırada yer aldığı anlam kazandığında, doğrusal korelasyon katsayısının hesaplanması ile olağandır. Alternatiflerin kaçınıcı sırada bulunduğu Spearman sıra korelasyon katsayısının bulunması için gereklidir. Sıra korelasyon katsayısı hesaplanırken analiz edilen değerler belirtilen kurala göre sıralanmakta, sonrasında ise gerçek değerler yerine söz konusu sıra numaraları arasındaki bağ hesaplanmaktadır. Spearman sıra korelasyon katsayısı (5.1)' de gösterilen formül yardımı ile bulunur [135].

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5.1)$$

Burada;

r_s : Spearman sıra korelasyon katsayı değerini,

D_i : İki gözlemin sıraları arasındaki farkı,

n : Örneklem büyüklüğünü ifade etmektedir.

Sıra korelasyon katsayı değeri -1 ile +1 arasında değer almaktadır. Eğer r_s :+1 bulunur ise Spearman sıra korelasyon katsayısı değeri ile analiz edilen sıralamanın tam pozitif bir ilişki gösterdiği , $r_s = -1$ olursa sıra korelasyon katsayı değeri ile, gözlemlerin sıraları arasında aynı yönde olmayan tam negatif bir ilişki olduğu görülür [135].

Plastik enjeksiyon makinesi seçimi problemine 5.1’deki formül uygulanarak Spearman sıra korelasyon katsayı hesaplanmış ve Tablo 5.48’ de yer verilmiştir.

Tablo 5.48 Üçgen Bulanık Sayılar Kullanarak Grup Kararı için Spearman Sıra Korelasyon Katsayısının Hesaplanması

	TOPSIS Üçgen Bulanık Sayılar ile Grup Kararı Sıralaması	VIKOR Üçgen Bulanık Sayılar ile Grup Kararı Sıralaması	Sıralamalar Arasındaki Farklar(D_i)	(D_i) ²
A1	1	1	0	0
A2	3	3	0	0
A3	4	4	0	0
A4	5	5	0	0
A5	2	2	0	0
TOPLAM			0	0
SPEARMAN SIRA KORELASYON KATSAYISI			$r_s= 1$	

Tablo 5.48’den de görülebileceği gibi, sıra korelasyon katsayısı r_s : 1 olarak bulunmuştur. Bu durum, TOPSIS yöntemi üçgen bulanık sayılar kullanılarak yapılan sıralama ile VIKOR yöntemi üçgen bulanık sayılar kullanılarak yapılan sıralama arasında tam pozitif doğrusal ilişki olduğunu göstermektedir.

Aynı şekilde yamuk bulanık sayılar kullanarak gerçekleştirilen TOPSIS ve VIKOR yöntemleri arasındaki ilişkiye Tablo 5.49’da gösterilmiştir.

Tablo 5.49 Yamuk Bulanık Sayılar Kullanarak Grup Kararı için Spearman Sıra Korelasyon Katsayısının Hesaplanması

	TOPSIS Yamuk Sayılar ile Grup Kararı Sıralaması	VIKOR Yamuk Bulanık Sayılar ile Grup Kararı Sıralaması	Sıralamalar Arasındaki Farklar(D_i)	(D_i) ²
A1	2	1	1	1
A2	4	3	1	1
A3	3	4	-1	1
A4	5	5	0	0
A5	1	2	-1	1
TOPLAM			0	4
SPEARMAN SIRA KORELASYON KATSAYISI			$r_s = 0.8$	

Tablo 5.49'dan da görülebileceği gibi, sıra korelasyon katsayısı r_s : 0.8 olarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu, TOPSIS yöntemi yamuk bulanık sayılar kullanılarak yapılan sıralama ile VIKOR yöntemi yamuk bulanık sayılar kullanılarak yapılan sıralama arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir.

Üçgen bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde alternatif sıralaması aynı çıkmıştır. En iyi alternatif MA9000IIS/6800(A1) olarak bulunurken, en kötü alternatif BL1600EKH/C1050(A4) olarak bulunmuştur.

Yamuk bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde alternatif sıralaması arasında az da olsa farklılar bulunmuştur. Yamuk bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS yönteminde en iyi alternatif ENGEL DUO/1000(A5), en kötü alternatif BL1600EKH/C1050(A4) olarak bulunurken; VIKOR yönteminde en iyi alternatif MA9000IIS/6800(A1), en kötü alternatif BL1600EKH/C1050(A4) olarak bulunmuştur.

Yamuk ve üçgen bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde bütünleşik sıralamaya Tablo 5.50' de yer verilmiştir.

Tablo 5.50 Alternatiflerin Bütünleşik Sıralaması

	TOPIS ÜÇGEN BULANIK SIRALAMA	VIKOR ÜÇGEN BULANIK SIRALAMA	TOPSIS YAMUK BULANIK SIRALAMA	VIKOR YAMUK BULANIK SIRALAMA	ORTALAMA	BÜTÜNLEŞİK SIRALAMA
A1	1.sırada	1.sırada	2.sırada	1.sırada	$(1+1+2+1)/4=1,25$	1.sırada
A2	3.sırada	3.sırada	4.sırada	3.sırada	3,25	3.sırada
A3	4.sırada	4.sırada	3.sırada	4.sırada	3,75	4.sırada
A4	5.sırada	5.sırada	5.sırada	5.sırada	5,00	5.sırada
A5	2.sırada	2.sırada	1.sırada	2.sırada	1,75	2.sırada

Tablo 5.50 incelendiğinde MA9000IIS/6800(A1)' in kullanılan tüm yöntemler baz alındığında en iyi alternatif olduğu görülmüştür. Sonrasında ENGEL DUO/1000(A5) en iyi ikinci alternatif olarak belirlenmiştir. A1 alternatifi ve A5 alternatifi arasında az bir ortalama farklı vardır. A1 ve A5 alternatifinin ardından bunu sırasıyla; MA10000IIS/8400(A2), MA12000III/8400 (A3) ve BL1600EKH/C1050(A4) takip etmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; plastik enjeksiyon sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için satın alınacak en uygun plastik enjeksiyon makinesine nasıl karar verildiği incelenmiştir. Bu amaçla; üç farklı tonajda Haitian plastik enjeksiyon makinesi, Bole enjeksiyon makinesi ve Engel enjeksiyon makinesi arasından yapılacak seçim; enjeksiyon makinesi seçimi için üzerinde durulması gereken iktisadi unsurlardan hariç makine seçim prosesi üzerinde etkili olan kriterler de gözetilerek, daha önce gerçekleştirilmiş olan bulanık çok kriterli karar verme metotlarından bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Ne tür plastik enjeksiyon makinesinin işletme için daha elverişli olduğuna karar verilmiştir.

Yapılan çalışmada; en uygun plastik enjeksiyon makinesi seçimini gerçekleştirebilmek adına maliyet, satış sonrası servis, teknik özellikler gibi klişeleşmiş kriterlerin yanı sıra; çevrenin ve çalışanların maksimum güvende olması için güvenlik kriteri, makinelerin bakım onarım süreçlerinin ve bu süreçlerin takibinin kolay yapılabilmesi için güvenilirlik kriteri, çevreye duyarlı üretim yapılabilmesi için çevre dostu olma kriteri üzere on üç adet kriter bulunmaktadır. İnsan yargılarında yer alan belirsizliği dikkate alarak daha önce plastik enjeksiyon makinesi seçimi için beraber kullanılmamış olan bulanık çok kriterli karar verme metotlarından bulanık VIKOR ve bulanık TOPSIS metotları beraber kullanılmış, makine seçim kararının daha doğru verilmesine yol gösterilmiştir.

Çalışmanın uygulama kısmında, alanında uzman olarak belirlenen üç karar vericinin beş makine alternatifini, tespit edilen bütün ölçütler baz alınarak analiz edilmesi üçgen ve yamuk bulanık sayıları kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemlerinin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Üçgen bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS metoduna göre gerçekleştirilen uygulamada en uygun alternatif A1, yani alternatif MA9000III/6800 en iyi seçim olacaktır. Bunu sırasıyla ENGEL DUO/1000, MA10000III/8400, MA12000III/8400 ve BL1600EKH/C1050 takip etmektedir. Yamuk bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS metodu baz alınarak gerçekleştirilen çalışmada en uygun alternatif A5, yani alternatif ENGEL DUO/1000 en iyi seçim olacaktır. Üçgen bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen VIKOR yöntemine göre yapılan analizde en iyi seçim A1, yani alternatif MA9000III/6800 en iyi seçim olacaktır. Bunu sırasıyla Bunu ENGEL DUO/1000, MA10000III/8400,

MA12000III/8400 ve BL1600EKH/C1050 takip etmektedir. Yamuk bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen VIKOR yönteminde de alternatif sıralaması üçgen bulanık sayılar kullanarak gerçekleşen VIKOR yöntemiyle aynıdır.

Sonuç olarak, makine seçim süreci için Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerinin uygulanabilirliği konusunda olumlu bir çalışma ortaya konulmuş olup tüm yöntemlerde aynı sonuca ulaşılmıştır. Bu iki yöntemin de aynı araştırma içinde kullanılması, karar vericiler için en uygun plastik enjeksiyon makinesini seçme ve yöntemleri kıyaslama konusunda yardımcı olmaktadır.

İleride plastik enjeksiyon sektöründe makine tercihi için gerçekleştirilecek çalışmalarda, bu tezde tespit edilmiş ve analizi gerçekleştirilmiş kriterlere enerji tüketimini ve çevresel etkiyi baz alan eklemeler yapılabilir. Problemin çözümü için daha önce birlikte kullanılmamış olan bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri beraber kullanılabilir. Aynı bir sektörde daha değişik bir ekipman tercihi sorunu için bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleri tercih edilebilir. Ek olarak çalışmada gerçekleştirilen metotlar, işletmenin diğer bölümlerinde makine ve ekipman seçimi tercihinde de denenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Jahan, A., Edwards, K. L., Bahraminasab, M. Multi Criteria Decision Analysis For Supporting The Selection of Engineering Materials in Product Design. Butterworth-Heinemann, USA, 2016, 223s.
- [2] Wang, T-Y., Shaw, C-F., Chen, Y-L. Machine Selection in Flexible Manufacturing Cell: A Fuzzy Multiple Attribute Decision-Making Approach. International Journal of Production Research, 2000, 38(9), 2-2079.
- [3] Sarıçalı, G. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS Yöntemlerinin Mermer İşletme Makine Seçim Sürecine Uygulanması, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Denizli, 2018, 92s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [4] Yurdakul, M. AHP as a Strategic Decision Making Tool to Justify Machine Tool Selection. Journals of Materials Processing Technology, 2004, 146(3),365–376.
- [5] Kabadayı, N., Dağ, S. Bulanık DEMATEL ve Bulanık PROMETHEE Yöntemleri ile Kablo Üretiminde Makine Seçimi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi, 2017, (14),1-22.
- [6] Çimren E., Çatay B., Budak, E. Development of A Machine Tool Selection System Using AHP. Int J Adv Manuf Technology, 2007, (35),363–376.
- [7] Ayag, Z., R. G. Ozdemir. A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives. International Journal of Intelligent Manufacturing, 2006, 17 (2), 179–190.
- [8] Yılmaz, B., Dağdeviren, M. Ekipman Seçimi Probleminde PROMETHEE ve Bulanık PROMETHEE Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,2006, 25(4), 811-826.
- [9] Guelsuen, Bahadır. Selection Of AS/RS By Using Fuzzy Topsis Method. Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium,v 22(1).
- [10] Taha, Z., Rostam, S. A Hybrid Fuzzy AHP-PROMETHEE. Decision Support System for Machine Tool Selection in Flexible Manufacturing Cell. Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, 23(6), 2137-2149.
- [11] Samvedi, A., Jain, V., Chan, F. T. An Integrated Approach For Machine Tool Selection Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process And Grey Relational Analysis. International Journal of Production Research, 2012, 50(12), 3211-3221.
- [12] Organ, A. Bulanık DEMATEL Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,2012, 22(1), 157-172.
- [13] Kumru, M., Kumru, P. Y. A Fuzzy ANP Model for The Selection of 3D Coordinate-Measuring Machine. Journal of Intelligent Manufacturing, 2015,26(5),999-1010.
- [14] Pamuc, D., İrović, G. The Selection Of Transport and Handling Resources in Logistics Centers Using Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC). Expert Systems with Applications, 2015, (42),3016–3028.
- [15] Dilip Kumar Sen Saurav Datta S.S. Mahapatra. Application of TODIM (Tomada De Decisión Iterativa Multicriterio) for Industrial Robot Selection. Benchmarking, International Journal, 2016,23(7),1818 – 1833.
- [16] Kumar, S., Raj,T. Selection of Material Handling Equipment for Flexible Manufacturing System Using FAHP. International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering, 2016,5(1).
- [17] Ulutaş, A. EDAS Yöntemi Kullanılarak Bir Tekstil Atölyesi İçin Dikiş Makinesi Seçimi. İşletme Araştırmaları Dergisi,2017, 9(2), 169-183.

- [18] Varun, S., Harshita, R., Pramod, S., and Nagaraju, D. Selecting The Suitable Material Handling Equipment In The Presence Of Vagueness. *Int J Adv Manuf Technol*, 2017, (44), 818–828.
- [19] Gök Kısa, A., C., Perçin, S. Application of Integrated Fuzzy DEMATEL-Fuzzy VIKOR Approach to Machine Selection Problem. *Journal of Yasar University*, 2017, 12(48), 249-256.
- [20] Mathew, M., Sahu, S. Comparison Of New Multi-Criteria Decision Making Methods for Material Handling Equipment Selection. *Management Science Letters*, 2018, (8), 139-150.
- [21] Jovcic. S., Prusa. P., ve Nikolicic. S. Evaluation Criteria of The Belt Conveyor Using The AHP Method and Selection of The Right Conveyor By Hurwitz Method. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2018, 12(2), 2.
- [22] Prusa, P., Jovcic, S., Nemec. C. ve Mrazek. P. Forklift Truck Selection Using TOPSIS Method. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2018, 8(3), 390 – 398.
- [23] Indap, S. Application Of The Analytic Hierarchy Process In The Selection of Storage Rack Systems For E-Commerce Clothing Industry. *Journal Of Management, Marketing and Logistics*, 2018, 5(4), 255-266.
- [24] Akın, N.G. Makine Seçimi Probleminde ENTROPİ-ROV ve CRITIC-ROV Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2019, (62), 20-39.
- [25] H. Li, W. Wang, L. Fan et al. A Novel Hybrid MCDM Model for Machine Tool Selection Using Fuzzy DEMATEL, Entropy Weighting And Later Defuzzification VIKOR. *Applied Soft Computing Journal*, 2020:106207.
- [26] Chankong, V., Haimes, Y.Y. *Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology*. 2018, New York, Courier Dover Publications.
- [27] Saaty, T.L. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytical Hierarchy Process*. 2000, Pittsburgh: RWS Publications.
- [28] Ersöz, F., Kabak, M. Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 2010, 9(1), 97-125.
- [29] Saaty, T.L. *Axiomatic Foundation of The Analytic Hierarchy Process*. *Management Science*, 1986, 32(7), 841-855.
- [30] Kuruüzüm, A., Atsan, N. Analitik Hiyerarşi Yönetimi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 2001, (1), 83-105.
- [31] Pala, O. Bulanık Mantık ve Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2013, (Yüksek Lisans tezi).
- [32] Can C.İ. Çok Kriterli Bir Karar Verme Süreci için Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi ve Savunma Sanayinde Uygulaması. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2016, (Yüksek Lisans Tezi).
- [33] Karakaya, K. İstanbul Boğazı'ndan Geçen Gemilerin Emniyetli Geçişinin Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Analizi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi).
- [34] Tekin, M. *Sayısal Yöntemler*. 5. Baskı, Konya, 2014.
- [35] Tekeş, M. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Türk Silahlı Kuvvetleri'nde Kullanılan Tabancaların Bulanık Uygunluk İndeksli Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi).
- [36] Karakaşoğlu, N. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri, 2008, 27-31.
- [37] Çil, İ. 2012, Sakarya Üniversitesi Eğitim Öğretim Bilgi Sistemi, Sakarya Üniversitesi, http://www.ebs.sakarya.edu.tr/ebs_2012/?upage=fak&page=drs&f=01&b=02&ch=1&dpage=all&InKod=11272 [Erişim Tarihi: 14.04.2021]

- [38] Karakaşoğlu, N. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri, 2008, 27-31.
- [39] Subaşı, H. Çok Kriterli Karar Vermede Kullanılan TOPSIS ve AHP Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2011, (Yüksek Lisans Tezi).
- [40] Okul, D. Stokastik Çok Kriterli Karar Vermede Yeni Bir Yöntem: SMAA-TOPSIS ve Bir Uygulama. Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012, (Doktora Tezi).
- [41] Daft, R.L. Management (9th edition). USA: Cengage Learning, 2018.
- [42] Hsieh, T.Y., Lu, S.T., Tzeng, G.H. Fuzzy MCDM Approach for Planning And Design Tenders Selection In Public Office Buildings. International Journal of Project Management, 2004, 22, 573-584.
- [43] Deng, H., Yeh, C.H., Willis, R.J. Inter-Company Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights. Computer and Operational Research, 2000, (27), 963-973.
- [44] Soner, S., Önüt, S. Multi-Criteria Supplier Selection: An ELECTRE-AHP Application. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2006, (4), 110-120.
- [45] Ulucan, A. Yöneylem Araştırması. Siyasal Kitabevi, Ankara, 2006.
- [46] Hwang C. L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications, Springer, Berlin Heidelberg, 1981.
- [47] Lai, Y. J., Liu, T. Y., Hwang, C. L. TOPSIS for MCDM, European Journal of Operational Research, 1994, (76), 486-500.
- [48] Gürbüz T., Albayrak Y. E. İnsan Kaynaklarında Bilgi Yönetimi Uygulaması Seçimi için Bulanık TOPSIS Kullanımı. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVI. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Kocaeli, 2006, 426-428.
- [49] Wang, Y. J., Lee, H. S. Generalizing TOPSIS for Fuzzy Multiple-Criteria Group Decision Making. Computers and Mathematics with Applications. 2007, (53), 1762-1772.
- [50] Opricovic, S. and Tzeng, G.H. Extended VIKOR Method In Comparison with Outranking Methods. European Journal of Operational Research, 2007, (178), 514-529.
- [51] Karthik, S.R.G., Mancsh, B., Sivakumaran, S. Supplier Selection in Retail Industry Using VIKOR Method. Advances In Management, 2011, 4(4), 38-44.
- [52] Yıldırım, F. ve Önder, E. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Bursa: Dora Yayınları, 2014.
- [53] Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N. Fuzzy TOPSIS Method for Academic Member Selection in Engineering Faculty. Innovations in E-learning. Instruction Technology, Assessment and Engineering Education, Iskander, Magued (ed), Springer, Netherlands, 2017, 151-156.
- [54] Göktürk, İ. F., Eryılmaz, A. Y., Yörür B., Yuluğkural, Y. Bir İşletmenin Tedarikçi Değerlendirme ve Seçim Probleminin Çözümünde AAS ve VIKOR Yöntemlerinin Kullanılması. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2011 (25), 61-74.
- [55] Yang, C. Ve Wang, T. VIKOR Method Analysis of Interactive Trade in Policy-Making. The Business Review, 2006, 6(2), 77-85.
- [56] Zadeh, L.A. Fuzzy Sets, Information and Control, 1995, 8.
- [57] Klir, G.F., Folger, T.A. Fuzzy Sets. Uncertainty and Information, Prentice –Hall Inc., London, 1998.
- [58] Kahraman, C. İleri İmalat Teknolojilerinin Ekonomik Analizi ve Esneklik Faktörünün Sayısallaştırılmasına Bulanık Kümeler Yaklaşımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000, (Doktora Tezi).
- [59] Şen, Z. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul, 2001.
- [60] Yeşil, E. Bulanık Mantığa Giriş. BUMAT, Şubat 2001 Bülteni, <http://www.bumat.itu.edu.tr/index.php>, 11 Nisan, 2021.

- [61] Chen, S.J. ve Hwang, C.L. Fuzzy Multible Attribute Decision Making: Methods and Its Applications. Lecture Notes in Economics and Maths., Springer- Verlag, Germany, 1992.
- [62] Üzgün, T. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [63] Negi, D.S. Fuzzy Analysis and Optimization, Ph.D. Thesis, Kansas State University, 1989.
- [64] Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh, F., Izadikhah, M. Extension of the TOPSIS Method for Decision Making Problems with Fuzzy Data. Applied Mathematics and Computation, 2006, 181, 1544-1551.
- [65] Bottani, E., Rizzi, A. A Fuzzy TOPSIS Methodology to Support Outsourcing of Logistics Services. Supply Chain Management: An International Journal, 2006, 11(4), 294-308.
- [66] Küçük O., Ecer F. Evulation of Suppliers Using Fuzzy TOPSIS and An Application In Erzurum. Abant İzzet Baysal University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Journal of Economic and Social Research, 2007, 3(1), 45-65.
- [67] Eleren, A. Ersoy, M. Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi. Madencilik Dergisi, 2007, 46(3), 9-22.
- [68] Kaya, İ., Kılınç, M., Serdar, Çevikcan., Emre, Makine – Teçhizat Seçim Probleminde Bulanık Karar Verme Süreci. Mühendis ve Makine Dergisi, 2017, 49(576), 8-14.
- [69] Yang, T., Hung, C. C. Multiple-Attribute Decision Making Methods for Plant Layout Design Problem. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2017, (23), 126-137.
- [70] Benitez, J. M., Martin, J. C., Roman, C. Using Fuzzy Number for Measuring Quality of Service in the Hotel Industry. Tourism Management, 2007, 28 (2), 544- 555.
- [71] Kahraman, C., Ateş N. Y., Çevik S., Gülbay M., Erdoan S. A. Hierarchical Fuzzy TOPSIS Model for Selection Among Logistics Information Technologies. Journal of Enterprise Information Management, 2007a, 20(2), 143-168.
- [72] Kahraman, C., Buyukozkan, G., & Ates, N. Y. A Two Phase Multi-Attribute Decision-Making Approach for New Product Introduction. Information Sciences, 2007b, 177(7), 1567-1582.
- [73] Kahraman, C., Çevik, S., Ate, N. Y., Gülbay, M. Fuzzy Multi-Criteria Evaluation of Industrial Robotic Systems. Computers and Industrial Engineering, 2007c, (52), 414-433.
- [74] Özçakar, N., Demir, H. Supplier Selection with Fuzzy TOPSIS. Istanbul University, Faculty of Management, Journal of Business Adminstration Institue of Economics, 2011, 22(69) 25-44.
- [75] D. Kannan, A.B.L.S. Jabbour, C.J.C. JSelecting Green Suppliers Based on GSCM Practices: Using Fuzzy TOPSIS Applied to A Brazilian Electronics Company. European Journal of Operational Research, 2014, (233), 432-447.
- [76] Aslan, H.K., Yıldız, M.S., Uysal, H.S., Afet İstasyonlarının Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması: Düzce’de Bir Lokasyon Analizi. Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 2015, 3(2), 111-128.
- [77] Moayeri, M., Shahvarani, A., Behzadi, M. H. ve Lotfi, F. Hosseinzadeh-Lotfi, F. Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods for Math Teachers Selection. Indian Journal of Science and Technology, 2015, 8(13), 1-10.
- [78] Sağır, H., ve Doğanalp, B. Bulanık Çok-Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye için Enerji Kaynakları Değerlendirmesi. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2016, (11), 233-256.
- [79] Paksoy, T., Pehlivan, N.Y. ve Özceylan, E. Bulanık Küme Teorisi. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., 1, Ankara, 2013.
- [80] Chu, T.C. Selecting Plant Location via Fuzzy TOPSIS Approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, (20), 859-864.

- [81] Karsak, E. E. Distance-Based Fuzzy MCDM Approach for Evaluating Flexible Manufacturing System Alternatives. *International Journal of Production Research*, 2002,4013, 3167-3181.
- [82] Chu, T.C., Lin, Y. C. A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2002, (21),284-290.
- [83] Saghafian, S., Hejazi, S.R. Multi-criteria Group Decision Making Using A Modified Fuzzy TOPSIS Procedure *Proceedings of the 2005 International Conference on Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation, and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'05)*, IEEE Computer Society,2005.
- [84] Tiryaki, F., Ahlatçıolu, M. Fuzzy Stock Selection Using a New Fuzzy Ranking and Weighting Algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 2005,170,144- 157.
- [85] Yong, D. Plant Location Selection Based on Fuzzy TOPSIS. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006,28, 839-844.
- [86] Dünder, S., Ecer, F., Özdemir. Fuzzy TOPSIS Yöntemi ile Sanal Mağazaların Web Sitelerinin Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*,2005,21(1) 287-305.
- [87] Wang, T. C., Chang, T. H. Application of TOPSIS in Evaluating Initial Training Aircraft Under a Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 2007,33(4),870-880.
- [88] Li, D. F. Compromise Ratio Method for Fuzzy Multi-Attribute Group Decision Making. *Applied Soft Computing*, 2007, 7(3),807-817.
- [89] Kuo, M. S., Tzeng G. H., Huang, W. C. Group Decision-Making Based on Concepts of Ideal and Anti-Ideal Points in a Fuzzy Environment. *Mathematical and Computer Modelling*,2007, 45, 324–339.
- [90] Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N. Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods for Facility Location Selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007d, doi: 10.2007/s00170-007-1249-8
- [91] Wang, Y. J. Applying FMCDM to Evaluate Financial Performance of Domestic Airlines in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 2008, 34(3), 837-1845.
- [92] Çınar, N. T. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yöntemi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2010,12(18),37-45.
- [93] Büyükkız, Ş. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*, 2018 (Yüksek Lisans Tezi).
- [94] Çetin, A. Bulanık TOPSIS ve AHP Yöntemleri ile Performans Değerlendirmesi: Esenboğa Havalimanında Bir Uygulama. *Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara*, 2019, (Yüksek Lisans Tezi).
- [95] Chen, T. Extensions of The TOPSIS for Group Decision Making Under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, (114), 1-9.
- [96] Ertuğrul, İ. Güneş, M. Fuzzy Multi-criteria Decision Making Method for Machine Selection, *Analysis and Design of Intelligent Systems Using Soft Computing Techniques*, Springer, Berlin Heidelberg, 2008, (41),638-648.
- [97] Öztürk, B., Başkaya, Z. Bulanık TOPSIS Algoritması ile Yamuk Bulanık Sayıların Satış Elemanı Seçiminde Kullanılması. *Business and Economics Research Journal*, ISSN: 1309-2448, 2011,2(2) 77-100.
- [98] Akalp, G., Özok, A.F. Ergonomik Risklerin Bulanık Mantık Yöntemi İle Modellenmesi ve Bir Uygulama. *Journal of Engineering Sciences and Design*,2017, (5),69-79.

- [99] Chen, Tung., Ching, Torng Lin., Sue, Fn Hwang. A Fuzzy Spproach for Supplier Evaluation and Selection In Supply Chain Management. *International Journal of Production Economics*, 2006, (102) 289-301.
- [100] Chen, T. A Fuzzy Approach To Select The Location of The Distribution Center. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, (118), 65-73.
- [101] Opricovic, S. Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning. *Expert Systems with Applications*, 2011, (38), 12983–12990.
- [102] H. Y. Wu, J. K. Chen, I. S. Chen, Innovation Capital Indicator Assessment of Taiwanese Universities: A Hybrid Fuzzy Model Application. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37, 1635-1642.
- [103] M. S. Kuo, G. S. Liang, Combining VIKOR with GRA Techniques to Evaluate Service Quality of Airports under Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 2010, 38, 1304-1312.
- [104] Wang, C.-H.; Pang, C.-T. Using VIKOR Method for Evaluating Service Quality of Online Auction under Fuzzy Environment. *Int. J. Comput. Sci. Eng. Technol.*, 2011, 1, 307–314.
- [105] Dincer, H., Hacıoglu, U. Performance Evaluation with Fuzzy VIKOR and AHP Method Based On Customer Satisfaction In Turkish Banking Sector. *Kybernetes*, 2013, 42, 1072–1085.
- [106] Bairagi, B. Dey, B. Sarkar, B. Sanyal, S. Selection of Robot for Automated Foundry Operations Using Fuzzymulti-Criteria Decision Making Approaches. *Int. J. Manag. Sci. Eng. Manag.* 2014, 9, 221–232.
- [107] G. Büyüközkan, G. D. Ruan, Evaluation of Software Development Projects Using a Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2008, 77, 464-475
- [108] Zıngıl, T. Supplier Selection Using TOPSIS and VIKOR Under Fuzzy Environment, Unpublished Master's Thesis, University of Bahcesehir, 2009.
- [109] Chen, L.Y., Wang, T.C. Optimizing Partners Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR. *International Journal of Production Economics*, 2009, (120), 233-242.
- [110] Sanayei, A.; Mousavi, S.F.; Yazdankhah, A. Group Decision Making Process for Supplier Selection with VIKOR Under Fuzzy Environment. *Expert Syst. Appl.* 2010, 37, 24–30.
- [111] Devi, K. Extension of VIKOR Method In Intuitionistic Fuzzy Environment for Robot Selection. *Expert Syst. Appl.* 2011, 38, 14163–14168.
- [112] G. Büyüközkan, G. D. Ruan, Evaluation of Software Development Projects Using a Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2008, 77, 464-475.
- [113] Yücenur, G.N., Demirel, Ç. Group Decision Making Process for Insurance Company Selection Problem with Extended VIKOR Method Under Fuzzy Environment. *Expert Systems With Applications*, 2012, 3(39), 3702-3707.
- [114] Akyüz, G. Bulanık VIKOR Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. *Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2012, 26 (1), 197-215.
- [115] Vinodh, S., Nagaraj, S., Girubha, J. Application of Fuzzy VIKOR for Selection of Rapid Prototyping Technologies In An Agile Environment. *Rapid Prototyp. J.* 2014, 20, 523–532.
- [116] Liu, H.-C.; Liu, L.; Liu, N.; Mao, L.-X. Risk Evaluation In Failure Mode and Effects Analysis with Extended VIKOR Method Under Fuzzy Environment, *Expert Syst. Appl.* 2012, 39, 12926–12934.
- [117] Yıldız, A., Deveci, M. Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 2013, 13(4), 427-436.

- [118] Bali, Ö. Bulanık Boyut Analizi ve Bulanık VIKOR ile Bir ÇNKV Modeli: Personel Seçimi Problemi. KHO Bilim Dergisi, 2013,23(2), 125-149.
- [119] Mousavi, S.M.; Torabi, S.A.; Tavakkoli-Moghaddam, R. A Hierarchical Group Decision-Making Approach for New Product Selection In A Fuzzy Environment. Arab. J. Sci. Eng. 2013, 38, 3233–3248.
- [120] Liu, H.-C.; Wu, J.; Li, P. Assessment of Health-Care Waste Disposal Methods Using A VIKOR-Based Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Method, Waste Manag. 2013, 33, 2744–2751.
- [121] Vinodh, S., Kamala, V., Shama, M. Compromise Ranking Approach for Sustainable Concept Selection In An Indian Modular Switches Manufacturing Organization. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2013, 64, 1709–1714.
- [122] Girubha, R.J.; Vinodh, S. Application of Fuzzy VIKOR and Environmental Impact Analysis for Material Selection of An Automotive Component. Mater,2012, 37, 478–486.
- [123] Rostamzadeh, R., Govindan, K., Esmaeili, A., Sabaghi, M. Application of Fuzzy VIKOR for Evaluation of Green Supply Chain Management Practices. Ecol, Indic, 2015, 49, 188–203.
- [124] Arunachalam, A.P.S., Idapalapati, S., Subbiah, S. Multi-Criteria Decision Making Techniques for Compliant Polishing Tool Selection, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2015, 79, 519–530.
- [125] Bark, N. Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Mobilya Sektöründe Tedarikçi Seçimi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya, 2015,111 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [126] Özcan, G. Portföy Yöneticilerinin Performanslarının Değerlendirilmesinde Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Tekniklerinin Kullanılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2011, 170s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [127] Örs, F. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Bir Uygulama Ev Satın Alma Problemi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Ana Bilim Dalı, Konya, 2013, 78s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [128] Erol, A. Tersanelerde İmalatı Yapılacak Gemi Tipinin Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemleri ile Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul,2014, 68s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [129] Şahin, S. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Bulanık Ortamda Afet Yönetimi Sisteminde Geçici Barınma Alanları ve Yer Seçimi. T.C İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2017, 56s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [130] Tuyğun, N. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemi Kullanılarak Rüzgar Enerjisi Santral Yer Seçimi. Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2017, 87s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [131] Alpay, S., Iphar, M. Equipment Selection Based On Two Different Fuzzy Multi Criteria Decision Making Methods: Fuzzy TOPSIS And Fuzzy VIKOR, Research Article. Open Geosci.,2018,10,661–677.
- [132] Taylan, O., Alamoudi, R., Kabli, M., AlJifri, A., Ramzi, F. and Herrera-Viedma, E. Assessment of Energy Systems Using Extended Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR, and TOPSIS Approaches to Manage Non-Cooperative Opinions. Sustainability 2020, 12, 2745.
- [133] Özbek, İ. Plastik Enjeksiyon Makinesi Seçiminde Aksiyomatik Tasarım Yaklaşımı. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 2013, 173s. (Yüksek Lisans Tezi).

- [134] Esenlik, M. Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 2011,164s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [135] Özer, S. Uygulamalı İstatistik, 6. Baskı, Ezgi Kitapevi, Bursa, 2010.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bahar ARSLAN

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Yunus Emre Anadolu Lisesi, 2014

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2014-2018

Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2019-2021

Mesleki Deneyim

TEKNİKA PLAST TEKNİKA KALIP PLASTİK SAN VE TİC A.Ş. 2020-.....