

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA VE BULANIK TODİM
YÖNTEMİ İLE MAKİNE VE EKİPMAN SEÇİMİ: OTOMOTİV
SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

İLAYDA AKBULUT

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA VE BULANIK TODİM
YÖNTEMİ İLE MAKİNE VE EKİPMAN SEÇİMİ: OTOMOTİV
SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

İLAYDA AKBULUT

Doç. Dr. Burcu Özcan Türkkın
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Gülşen AYDIN KESKİN
Jüri Üyesi, Balıkesir Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 18.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, otomotiv sektöründe bulunan ve aydınlatma-elektronik ürünlerin üretimini gerçekleştiren bir fabrikada, bulanık bilişsel haritalama ve bulanık TODIM yöntemi ile makine ve ekipman seçimi üzerine bir uygulama gerçekleştirerek literatüre katkı sağlamak üzere yapılmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarına katkıda bulunan ve tez çalışmamda da desteğini esirgemeyen, her konuda bilgi, deneyim ve zamanını paylaşan, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım Doç. Dr. Burcu Özcan TÜRKKAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım sırasında, birçok aşamada beni destekleyen Endüstri Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine teşekkür ediyorum.

Fen Bilimleri Enstitüsü'ndeki çalışma hayatım boyunca, üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmanın uygulama aşamasında bilgi ve deneyimleriyle destek olan Deniz Evrim ÜNAL' a çok teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca bana maddi ve manevi anlamda güç veren her zaman yanımda olan sevgili annem Aylin AKBULUT, babam Şaban AKBULUT ve abim Hakan AKBULUT' a teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2021

İlayda AKBULUT

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. MAKİNE SEÇİM PROBLEMLERİ	4
1.1. Literatür Araştırması	4
2. KARAR TEORİSİ, ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ VE BULANIK MANTIK	12
2.1. Karar Teorisi	12
2.2. Çok Kriterli Karar Verme	14
2.3. Bulanık Mantık	15
2.3.1 Bulanık kümeler	17
2.3.2. Bulanık sayılar ve aritmetik işlemler	17
2.3.3. Bulanık mantık avantaj ve dezavantajları.....	20
3. BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA YÖNTEMİ.....	21
3.1. Bulanık Bilişsel Haritalama Yöntemi ve Literatür Araştırması.....	21
3.2. Bulanık Bilişsel Haritalama Yönteminin Uygulama Adımları	27
4. BULANIK TODİM YÖNTEMİ.....	34
4.1. Bulanık TODİM Yöntemi ve Literatür Araştırması	34
4.2. Bulanık TODİM Yönteminin Uygulama Adımları.....	38
5. MAKİNE SEÇİMİNDE BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA VE BULANIK TODİM UYGULAMASI	43
5.1. Uygulamanın Gerçekleştirileceği İşletme Hakkında Genel Bilgi.....	43
5.2. Bulanık Bilişsel Haritalama Yönteminin Uygulanması.....	43
5.3. Bulanık TODİM Yönteminin Uygulanması	57
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	81
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	95
ÖZGEÇMİŞ	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Makine ve ekipman seçiminde en çok kullanılan kriterler	11
Şekil 2.1. Üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonu	18
Şekil 3.1. Yukarıdan aşağıya hiyerarşik ayrışma yaklaşımı ve etkileşen özellikler ile eksiksiz değerlendirme şeması.....	27
Şekil 3.2. Hiyerarşide örtülü etki akışı	33
Şekil 5.1. Modelin adımları	45
Şekil 5.2. Ana kriterlerin dinamik davranışı	55
Şekil 5.3. Karar probleminin hiyerarşik yapısı	59



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. 2007-2020 yılları arasında makine ve ekipman seçimi üzerine yapılan bazı çalışmalar	5
Tablo 4.1. Kriter ağırlıkları için kullanılan ifadeler	39
Tablo 4.2. Alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılan ifadeler.....	39
Tablo 5.1. Kriter ağırlıklarını değerlendirmek için kullanılan ifadeler	44
Tablo 5.2. Kriter ağırlıkları arasındaki ilişki dereceleri için kullanılan ifadeler.....	44
Tablo 5.3. Makine seçim kriterleri ve tanımları	46
Tablo 5.4. Ana kriterlerin görelİ dİsel önem ağırlıkları.....	49
Tablo 5.5. Ana kriterlerin görelİ ÜBS önem ağırlıkları, ortalama ağırlıklar, durulaştırılmış ağırlıklar ve normalize ağırlıklar.....	49
Tablo 5.6. KV1'den elde edilen ana kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri	50
Tablo 5.7. KV2 'den elde edilen ana kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri	51
Tablo 5.8. KV3'ten elde edilen ana kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri	51
Tablo 5.9. Ana kriterler arasındaki bulanık toplam bağımlılık dereceleri.....	52
Tablo 5.10. Ana kriterler arasındaki bulanık olmayan toplam bağımlılık dereceleri	54
Tablo 5.11. Her iterasyon için ana kriterlerin konsept değerleri ve son ana kriter ağırlıklar	56
Tablo 5.12. Makine seçimi için belirlenen ana kriter ve alt kriterlerin genel öncelikleri	57
Tablo 5.13. Kriterler ve kriter kodları	58
Tablo 5.14. Alternatifleri değerlendirmek için kullanılan ifadeler	59
Tablo 5.15. KV'lerin kriterlere göre alternatifler için yaptığı dİsel değerlendirmeler.....	60
Tablo 5.16. Bulanık karar matrisi	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

λ	: Fonksiyonun eğimi
Δ	: Φ_j matrisine bağlı olan toplam baskınlık derecesi matrisi
Φ_j	: Baskınlık derecesi matrisi
$\Phi_{ik}^{j(-)}$: Kayıp baskınlık derecesi
$\Phi_{ik}^{j(+)}$: Kazanç baskınlık derecesi
Φ_{ik}^j	: Kazanç ve kayıp için baskınlık derecesi
$\mu_A(x)$: Üyelik fonksiyonu
θ	: Kayıp azaltma faktörü
$\zeta(A_i)$: A_i alternatifinin toplam değeri
A	: Bulanık küme
A_i	: i. alternatif
\tilde{A}	: Bir üçgen bulanık sayı
\tilde{B}	: Bir üçgen bulanık sayı
C_j	: j. kriter
C_r	: Referans kriteri
$C_{SAp_i}^t$: t = 0 olduğunda p'inci ana kriterine göre l'inci alt kriterinin konsept değeri
$C_{MA_i}^t$: t zamanında i. ana kriterinin konsept değeri
$C_{MA_i}^{t=0}$: t = 0 olduğunda i. ana kriterin kavram değeri
$C_{SAp_i}^t$: t zamanında p'inci ana kriterin altındaki i'nci alt kriterin kavram değeri
\tilde{e}_{ji}^{MA}	: Ana kriterlerin birleştirilmiş bulanık etki matrisi
\tilde{e}_{jiu}^{MA}	: u'ncü karar vericisinden çıkarılan ana kriterlerin etki matrisi
e_{ji}^{SAp}	: p'inci ana kriteri altındaki alt kriterler arasında net etki derecelerini gösteren etki matrisi
G_{ik}^j	: C_j kriteri açısından A_i alternatifinin A_k alternatifine göre kazancı
I_{MA}	: Son net ağırlıklar
k	: Alternatifler
L_{ik}^j	: C_j kriteri açısından A_i alternatifinin A_k alternatifine göre kaybı
m	: Alt kriterler
n	: Ana kriterler
nw_p	: Normalize edilmiş net ağırlık vektörü
o	: Alt-alt kriterler
r_i	: Her ana kiterine ait alt kriterler
r_p	: p'inci ana kriterinin altındaki alt kriterin sayısı
s	: Karar vericiler
w_j	: C_j kriterinin önem ağırlığı
w_p	: Bulanık olmayan ağırlık vektörü

W_{pl}	:	w_{pl} alt kriteri için toplam ağırlık
W_{plt}	:	Toplam alt-alt kriter ağırlığı
\tilde{w}_p	:	Kümelenmiş bulanık ağırlıklar
\tilde{w}_{pl}	:	Alt kriter ağırlıklarının aritmetik ortalaması
\tilde{w}_{pli}	:	Karar vericinin p'inci ana kritere göre l'inci alt kriter için bulanık ağırlık puanı
\tilde{w}_{pi}	:	p'inci ana kriter için i'inci karar vericinin bulanık ağırlık puanı
X	:	Evrensel küme
Y_j	:	C_j kriteri açısından A_i alternatifinin A_k alternatifine göre kazancının normalize edilmiş hali
Z_j	:	C_j kriteri açısından A_i alternatifinin A_k alternatifine göre kaybının normalize edilmiş hali

Kısaltmalar

AHP	:	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
ANP	:	Analytic network process (Analitik Ağ Prosesi)
ARAS	:	Additive Ratio Assessment (Toplamsal Oran Değerlendirmesi)
BBH	:	Bulanık Bilişsel Haritalama
BNP	:	Bulanık Olmayan Performansı
BTODIM	:	Bulanık Yinelemeli Çok Kriterli Karar Verme
BWM	:	Best-Worst Method (En İyi-En Kötü Yöntemi)
CIA	:	Çapraz Etki Analizi
CODAS	:	COMbinative Distance-based Assessment (Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme)
CoG	:	Ağırlık Merkezi
COPRAS	:	COMplex PROportional Assessment (Karmaşık Orantılı Değerlendirme)
CPT-TODIM	:	Kümülatif Beklenti Teorisi
CR	:	Müşteri Gereksinimi
CRITIC	:	CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (Kriterler Arası Korelasyon Açısından Kriterlerin Önemi)
ÇKKV	:	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	:	DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory (Karar Vermede Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı)
EDAS	:	Evaluation based on Distance from Average Solution (Ortalama Çözüme Uzaklığa Göre Değerlendirme)
ELECTRE II	:	ELimination Et Choix Traduisant la Réalité (Eleme ve Seçim Yansıtan Gerçeklik)
ETSIE	:	Sürdürülebilir ve Yenilikçi Ortamlar
EW	:	Entropi Ağırlıklandırma
ExpertTS	:	Expert Threading System (Uzman Dış Açma Sistemi)
FAHP	:	Fuzzy AHP (Bulanık AHP)
FARAS	:	Fuzzy ARAS (Bulanık ARAS)
FCM	:	Fuzzy Cognitive Mapping
FCRITIC	:	Fuzzy CRITIC (Bulanık CRITIC)
FDEMATEL	:	Fuzzy DEMATEL (Bulanık DEMATEL)

FDM	: Fuzzy Delphi Method (Bulanık Delphi Metodu)
FEDAS	: Fuzzy EDAS (Bulanık EDAS)
FIT2	: Sonlu Aralıklı Tip-2
FPROMETHEE	: Fuzzy PROMETHEE (Bulanık PROMETHEE)
FSWARA	: Fuzzy SWARA (Bulanık SWARA)
FTODIM	: Fuzzy Iterative Multiple Criteria Decision Making
FTOPSIS	: Fuzzy TOPSIS (Bulanık TOPSIS)
FUTASTAR	: Fuzzy Utility Additive Type (Bulanık İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda)
FVIKOR	: Fuzzy VIKOR (Bulanık VIKOR)
GDM	: Group decision-making (Grup Karar Verme)
GFN	: Genelleştirilmiş Bulanık Sayılar
GRA	: Grey Relational Analysis (Gri İlişkisel Analiz)
GTMA	: Graph Theory and Matrix Approach (Grafik Teorisi Matris Yaklaşımı)
HFLTS	: Kararsız Dilbilimsel Terim Kümeleri
IC-FSAHP	: Entegre kısıtlı bulanık stokastik analitik hiyerarşi süreci
IFS	: Sezgisel Bulanık Kümeler
IFVIKOR	: Intuitionistic Fuzzy VIKOR (Sezgisel Bulanık VIKOR)
IT2	: Aralık Değerli Tip-2
IT-MULTIMOORA	: Hedef-Aralık Tabanlı MULTIMOORA (Interval target-based MULTIMOORA)
IT-VIKOR	: Interval Target-based VIKOR (Hedef-Aralık Tabanlı VIKOR)
IVPF-CPT-TODIM	: Aralık Değerli Pisagor Bulanık CPT-TODIM
IVPFS	: Aralık Değerli Pisagor Bulanık Kümesi
İSG	: İş Sağlığı Ve Güvenliği
KEMIRA-M	: KEmeny Median Indicator Rank Accordance-Modified (KEmeny Medyan Gösterge Sıralaması Uyumluluğu Değiştirildi)
LDVIKOR	: Later Defuzzification VIKOR (Sonradan Bulanıklaştırma Yapılan VIKOR)
MACBETH	: Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (Kategorik Bazlı Değerlendirme Tekniği ile Çekiciliği Ölçme)
MADM	: Çok Amaçlı Karar Verme
MAGDM	: Çok Özellikli Grup Karar Verme
MCDM	: Multi-Criteria Decision-Making
MOORA	: MultiObjective Optimization on the basis of Ratio Analysis (Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon)
MOOSRA	: Multi-Objective Optimization on the basis of Simple Ratio Analysis (Basit Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon)
MULTIMOORA	: Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis Plus the Multiplicative Form (Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon ve Tam Çarpımsal Form)
PESTEL	: Politik, Ekonomik, Sosyal, Teknolojik, Çevresel ve Yasal
PFN	: Resim Bulanık Sayılar

PROMETHEE	:	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations (Değerlendirmelerin Zenginleştirilmesi için Tercih Sıralama Organizasyonu Yöntemi)
QFD	:	Quality Function Deployment (Kalite Fonksiyon Dağılımı)
ROV	:	Range of value (Değer Aralığı)
RTLS	:	Real Time Locating System (Gerçek Zamanlı Konum Belirleme)
SPV	:	Güneş Fotovoltaikleri
SWARA	:	Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi Yöntemi)
TIFN	:	Yamuk Sezgisel Bulanık Sayılar
TOPSIS	:	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Yöntemi)
TRM	:	Teknoloji Yol Haritası
ÜBS	:	Üçgen Bulanık Sayılar
VIKOR	:	Višekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje (Çok Kriterli Uzlaşık Sıralama Yöntemi)
WASPAS	:	Weighted Aggregated Sum Product Assesment (Ağırlıklı Bütünleşik Toplamsal ve Çarpımsal Değerlendirme)
WSM	:	Weighted Sum Model (Ağırlıklı Toplam Yöntemi)

BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA VE BULANIK TODİM YÖNTEMİ İLE MAKİNE VE EKİPMAN SEÇİMİ: OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

ÖZET

Bugünkü ekonomik şartlarda müşteri taleplerinde meydana gelen devamlı değişim, müşteri beklentilerinin farklılığı sebebiyle istenen ürünün üretiminde kullanılacak makine ve ekipman sayısındaki fazlalık gibi nedenlerden dolayı işletmeler için makine seçimi zor ve karmaşık bir problem haline gelmiştir. Kriterlerin farklılığı ve makine alternatifinin sayıca fazla olması sebebiyle makine seçimi çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak değerlendirilmelidir. Karar veren kişiler belirli olan ve kesinlik içeren durumlar söz konusu olduğunda klasik ÇKKV metotlarını kullanarak seçim işlemini gerçekleştirebilmektedir. Reel yaşam içerisinde karmaşık ve birden fazla belirsizliği bulunduran bulanık bir ortamdır. Bu sebeple kesinlik içeren verileri esas alan klasik ÇKKV yöntemleri insan düşünce sistemini ve karar veren kişilerin görüşlerini modellemede yetersiz olabilmektedir. Belirsizlik bulunduran reel yaşam problemlerini insan düşünce sistemine uygun şekilde çözümleyebilmek için karar vericiler, bulanık mantık ilkelerinden faydalanmaktadır. Bu çalışmada, makine ve ekipman seçim problemi, bulanık ÇKKV yöntemlerinden biri olan Bulanık Yinelemeli Çok Kriterli Karar Verme (BTODİM) ile Bulanık Bilişsel Haritalama (BBH) yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. En uygun makine ve ekipman seçimi, Kocaeli’de far üretimi yapan bir firmada uygulanmıştır. Uygulamada BBH yöntemi ile makine ve ekipman seçim kriterleri için ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan kriterlerin ağırlıkları göz önünde bulundurularak alternatif makinelerin değerlendirilmesi için bulanık TODİM yöntemi kullanılmıştır. İşletmeye en uygun makine ve ekipman seçimi yapılmıştır. Uygulama sonucunda bulanık TODİM ve BBH yöntemlerinin makine seçiminin dışında diğer ÇKKV problemlerinin çözümü için kullanılacak kolay bir metot olduğu görülmüştür. Makine ve ekipman seçimi için BBH ve bulanık TODİM metodunun entegre olarak uygulandığı bu çalışmanın literatüre önemli bir katkı sağladığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Bilişsel Haritalama, Bulanık Mantık, Bulanık TODİM, Çok Kriterli Karar Verme, Makine Seçimi.

MACHINE AND EQUIPMENT SELECTION WITH FUZZY COGNITIVE MAPPING AND FUZZY TODIM METHOD: AN APPLICATION IN THE AUTOMOTIVE SECTOR

ABSTRACT

In today's economic conditions, machine selection has become difficult and complex for enterprises due to reasons such as a constant change in customer demands, differences in customer expectations, and the number of machines and equipment that can be used in production. Due to the difference in criteria and the availability of many machine alternatives, machine selection should be considered as a multi-criteria decision-making (MCDM) problem. Decision-makers can choose classical MCDM methods in specific and precise situations. Real-life is an environment of many uncertainties. Classical MCDM methods may be insufficient to model the human thought system. Decision-makers use fuzzy logic principles to solve uncertain real-life problems well. In this study, the machine and equipment selection problem was solved by using Fuzzy Iterative Multiple Criteria Decision Making (FTODIM) and Fuzzy Cognitive Mapping (FCM) methods. The most suitable machinery and equipment were selected in a company producing headlights in Kocaeli. In practice, the weights of machine and equipment selection criteria are calculated using the BBH method. Alternative machines were evaluated using the FTODIM method using the calculated criterion weights. The most suitable machine for the business was chosen. As a result of the application, it was seen that FTODIM and FCM methods are easy methods that can be used to solve MCDM problems other than machine selection. It is thought that this study, in which FCM and FTODIM methods are applied in an integrated manner in the selection of machinery and equipment, has made a significant contribution to the literature.

Keywords: Fuzzy Cognitive Mapping, Fuzzy Logic, Fuzzy Iterative Multi-criteria Decision Making, Multi-criteria Decision-making, Machine Selection.

GİRİŞ

Günümüz koşullarında ekonomik anlamda ülkeler arası sınırlar ortadan kalkmaktadır. Bu da küresel ekonomi kavramını ortaya çıkararak rekabeti ulusal pazardan uluslararası bir boyuta taşıyarak daha zorlu bir hale getirmektedir. 20. yüzyılın sonlarına doğru bütün dünyayı etkisi altına alan bu rekabet durumu, şirketlerde değişimi mecburi kılmış ve stratejik, operasyonel ve organizasyonel oluşumlar geçen zaman ile birlikte kritik değişiklikler göstermiştir. Bu dönemde sadece fiyat odaklı geliştirilen rekabet stratejileri istenilen ölçüde etkili olamamış, bu nedenle şirketler stratejilerini daha geniş açıdan değerlendirmeler yaparak kalite, esneklik verimlilik ve ürün çeşitliliği gibi değişkenleri de dahil ederek oluşturup rekabet etmeyi öğrenmiştir [1].

Bu süreç sadece üretim yapıp satmanın şirketlere pek de bir şey katmadığını ve büyüyemedikleri bir durum ortaya çıkarmıştır. Firmalar, bu sürece ayak uydurarak mal veya hizmet üretirken buna paralel olarak rekabet gücünü arttıracak birden fazla konuda mesai harcayarak rakiplerini geçmeyi hedeflemektedir. Rekabet gücünü arttırmanın ilk adımı yapılacak yatırımın doğru yapılmasıdır. Şirketler yatırım planlarını mal veya hizmet üretmek için gerçekleştirirler. Rekabet yönünden güçlü bir şirket olabilmek için yapılan yatırımlar; maliyeti düşük, üretim oranı ve esnekliği yüksek olan kaynaklara yapılmalıdır [2]. Yapılan bu yatırım, günün şartlarına uygun olmalı fakat ileride ortaya çıkabilecek ihtiyaçları da karşılayıcı nitelikte olmalıdır.

Karar veren kişi, karşı karşıya kaldığı problemi farklı açıdan değerlendirerek kendi bakış açısına göre en doğru olanı seçer fakat bu seçim çoğu zaman farklı karar vericilerin seçimleriyle uyuşmamaktadır. Bu karardan şirketteki en üst düzey personel de en düşük seviyedeki personel kadar, her çalışan ve her birim etkilenebilmektedir. Fakat her seviyedeki düşünce bu kararın alınmasında dikkate alınamamaktadır. Bu sebepler doğrultusunda bir seçim probleminde birden fazla birimin düşüncelerinin olabileceği ve karar vericilere karar verirken gerekli olabilecek bütün etkenleri tek bir

yerde toplayan sistematik bir yaklaşım elde edilmesi, neticesinde bu yaklaşımın uygulanması, bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Örneğin, bir şirket makine alırken alternatif olabilecek makineleri değerlendirirken en verimli, en iyi kalitede ürün üreten ve değişen koşullara kolay uyum sağlayabilecek esnek bir makine olmasını fakat aynı zamanda şirkete maliyetinin ucuz olmasını ister. Ancak gerçek yaşamda bu özelliklerin hepsini bir arada bulduran makine bulma şansı düşüktür. Bu sebeple karar vericilerin makine seçimi kararını verirken şirket yararına ve sahip olduğu kısıtlarına en uygun (optimal) olan kararı vermeleri gerekmektedir. Makine seçimi örneğinde de belirtildiği gibi yatırım yapılacakken karar vericiler sıklıkla birden fazla kriteri birlikte değerlendirmek mecburiyetindedir. Bütün yatırım alternatiflerinin birbirine göre üstün olduğu nitelikler, farklı teknik özellikler ve maliyetler vardır. Birden çok karar vericinin birçok farklı kriteri göz önüne aldığı düşünülürse, tüm karar vericilerin ortak paydada buluşması ve alınan kararın en optimal karar olması oldukça zordur [2].

Çalışmada ele alınan problem, bir üretim firmasının yapacağı makine yatırımında alternatif üç farklı özellikte ve markada makinenin firma açısından en optimal olanının seçilmesidir. Bu seçim sırasında, seçimi etkileyen on dört ana yirmi sekiz adet alt kriter dikkate alınmıştır. Makine ve makine ekipmanlarının seçimi üretici firmalar için çok kritik bir süreçtir, çünkü alınan karar ile yapılacak hatalı bir yatırım tüm üretim sisteminin başarısını negatif etkileyebilmektedir [3].

Üretici firmalar için rekabetin ilk adımı uygun makine yatırımının yapılmasıdır. Makine yatırımı yapılırken “Yatırımın Geri Dönüşü” metodu kullanılır, çünkü yapılan yatırım bir yenileme/değişim projesi olarak ele alınır ve firmanın rekabet gücündeki etkisinin fazla olduğu düşünülmez [4]. 1988 yılında Gerrard’ın yaptığı bir ankette yatırım kararlarında sonuç aşamasındaki kararda, mühendis pozisyonunda çalışanların etkisi %6 kalan %94’lük payın ise üst ve orta düzey yöneticilerin etkisi ile alındığını ortaya çıkarmıştır. Aynı çalışmada makine seçim problemleri için basit ve pratik bir metoda gerek duyulduğu belirtilmiştir [3].

Makine seçim problemlerindeki kriterler ele alındığında, bazı kriterler niceliksel (sayısal/nesnel) olarak bazıları ise niteliksel (öznel/sözel) yargılarla belirtilmektedir. Bu sebeple, makine seçim problemlerinde dikkate alınan kriterler, nesnel (sayısal) ve

öznel (sözel) kriterler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [5]. Bu çalışmada, iki kategorideki kriterler de bulunmakta, karşılaştırma yapılırken sözel değerler de dikkate alınmıştır.

Çalışmada kullanılan yöntemler, literatüre bakıldığında makine seçim problemlerinde az kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntemlerle firmaların yatırım maliyetleri arasında büyük yer tutan makinelerin seçilmesinde, karar vericiler için önemli bir araç olabilecek, yöntemlerle yapılacak seçimler daha kısa sürede, tutarlı ve hatasız yapılacaktır.

ÇKKV problemleri arasında yer alan makine seçim problemini ve çözümünü ele alan bu çalışmanın birinci bölümünde, makine seçim problemleri hakkında genel olarak bilgilendirme yapılmış ve son on yıl içerisinde literatürde yer alan bazı çalışmalar tablo halinde verilmiştir. Uygulama yapılan fabrika Türkiye’de bulunduğu için incelenen çalışmalar ağırlıklı olarak Türkiye’de olup, çalışmalarda makine seçimi için kullanılan kriterlerin içerisinde en çok kullanılanlar belirlenmiştir. Ayrıca istatistiksel olarak bu çalışmalar hangi sektörlerde yapılmış, hangi yöntemler kullanılmış vb. tespitler yapılmıştır.

İkinci bölümde, çalışma içerisinde problem çözümü için kullanılan yöntemler anlatılmış, yöntemlerin literatürleri ve hesaplama metotları adım adım açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, yöntemler kullanılarak işletmede makine seçimi için gerekli işlemler ve makine seçimi probleminin çözümü gerçekleştirilmiştir.

Son bölümde ise, çalışma genel olarak özetlenerek kullanılan yöntemler ve yapılan uygulama tartışılmış ve diğer çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1. MAKİNE SEÇİM PROBLEMLERİ

Ürün ve hizmet üreten firmalar için temelde iki kaynak mevcuttur. Bu kaynaklar makine ve insandır. Teknolojik olarak az gelişmiş firmalarda üretim daha çok insana dayalı olarak, nitelikli eleman ve az sayıda makine ile sürdürülmektedir. Fakat teknolojik olarak gelişmiş çok miktarda ürün ve hizmet üreten firmalar üretim daha çok makineye dayalı olarak insanı, makinenin kullanılması veya yönlendirilmesine yönelik kullanmaktadır. Makine sınıfına kullanılan yere göre birçok şey girebilir. Örnek olarak basit mekanik el presleri, tezgahlar, robotlar vb. ekipmanlar verilebilir.

Makine seçim problemi ele alınırken birden çok kritere bağlı olarak, birçok açıdan değerlendirilmesi gereken kompleks ve zor bir problemdir. Maliyet, kullanan kişinin güvenliği, verimlilik, güvenilirlik, parça temininin kolay olması, kullanım hacmi gibi birden fazla kriter seçim işlemini gerçekleştirirken rol oynamaktadır.

Makine seçim problemine yönelik olarak yapılan çalışma anlatılmadan önce, literatürde yer alan makine ve ekipman seçim problemlerinin ele alındığı diğer çalışmalara genel bir bakış faydalı olacaktır.

1.1. Literatür Araştırması

Literatür araştırmasında son yıllarda makine ve ekipman seçimi problemlerinin ele alındığı çalışmalar incelenmiştir. Türkiye’de yapılan çalışmalar ağırlıklı incelenmiştir. Çünkü uygulama Türkiye’de bulunan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların hangi sektör-alt sektörlerde yapıldığı, seçim işlemlerinde hangi kriterlerin kullanıldığı ve yine bu seçim işlemleri gerçekleştirilirken hangi yöntemlerin kullanıldığı incelenmiştir. Tablo 1.1’de 2007-2020 yılları arasında makine ve ekipman seçimi ile ilgili yapılan bazı çalışmalar gösterilmiştir.

Tablo 1.1. 2007-2020 yılları arasında makine ve ekipman seçimi üzerine yapılan bazı çalışmalar

No	Araştırmacı Yazar	Yıl	Sektör	Alt Sektör	Yöntem	Seçim Kriterleri																	
						Maliyet	Operasyonel Kolaylık	Esneklik	Güvenilirlik	Güvenlik	Satış Sonrası Servis	Teknik Özellikler	Kalite	Performans	Verimlilik	Kurulum Süresi	Fonksiyonel Tercih	Kullanım Alanı/Hacmi	Garanti Süresi	Arıza Sayısı/Süresi			
1	Gülçiçek Tolun ve Tümtürk [6]	2020	Tarım, Avcılık ve Balıkçılık	Tarım Mak. ve Ekip.	AHP- GRA	x	x					x	x				x						
2	Sitorus ve Brito-Parada [7]	2020	Maden	Madencilik (Kırıcı Mak.)	IC-FSAHP	x																	
3	Li, Wang, Fan, Li ve Chen [8]	2020	Otomotiv	İmalat (Uçak Yapısal Parçaları ve Otomotiv Kalıp İmalatı)	FDEMATEL , EW-LDVIKOR	x	x							x									
4	Özdağoğlu, Keleş ve Yörük Eren [9]	2020	Sağlık ve Sosyal Hizmetler	Biyokimya Hormon Cihazı	SWARA-WSM, CODAS	x	x																
5	Özdağoğlu, Yılmaz ve Keleş [10]	2020	Tekstil, Hazır Giyim, Deri	Çırçır Makinesi	MACBETH																		
6	Koca ve Eğilmez [11]	2020	Maden	Mermer İşleme Makinesi	EW-TOPSIS	x																	
7	Faydalı ve Erkan [12]	2020	Tekstil, Hazır Giyim, Deri	Tekstil (Dokuma Tezgahı)	FVIKOR	x	x																
8	Akın [13]	2019	Tekstil, Hazır Giyim, Deri	Yatak Kenarı Bordür Dikim Makinesi	EW-ROV, CRITIC-ROV																		

Tablo 1.1.(Devam) 2007-2020 yılları arasında makine ve ekipman seçimi üzerine yapılan bazı çalışmalar

9	Dur [14]	2019	İnşaat	Taahhüt İşleri (Mobil Vinç)	AHP-FUTASTAR	x							x	
10	Štirbanović, Stanujkić, Miljanović ve Milanović [15]	2019	Maden	Madencilik (Flotasyon Mak.)	TOPSIS-VIKOR	x							x	x
11	Fu, Li, Luo ve Huang [16]	2019	Otomotiv/ Bilişim Teknolojileri	Endüstriyel Robot	Shannon entropi-CRITIC-VIKOR, ELECTRE II, GDM	x	x						x	
12	Efe [17]	2019	Tüketici	Elektronik (Bulaşık Mak.)	QFD- BBH - IFVIKOR	x	x	x	x	x				
13	Demircioğlu ve Coşkun [18]	2018	Tüketici	Elektronik (UPS)	CRITIC-MOOSRA	x					x	x	x	x
14	Kayır, Güneş ve Demirer [19]	2018	Metal Sanayi	İmalat (Kesici uç)	ExpertTS								x	
15	Sarıçalı [20]	2018	Maden	Mermer ve Madencilik (Katrak Mak.)	KEMIRA-M, COPRAS	x					x	x	x	x
16	Karayel, Atmaca, Yalçın ve Erol [21]	2018	Metal Sanayi	Savunma San. Saç İmalat (Malzeme Taş. Sis.)	AHP-VIKOR-MOORA	x	x						x	x
17	Hafezalkotob, Hami-Dindara, Rabie ve Hafezalkotob [22]	2018	Tarım, Avcılık ve Balıkçılık	Tarım (Hasat Makinesi)	BWM MULTIMOORA-WASPAS	-	x	x			x	x		x
18	Mathew ve Sahu [23]	2018	Otomotiv	Konveyörler ve Otomatik Gülümlü Araçlar	CODAS-EDAS-WASPAS-MOORA-TOPSIS	x	x						x	
19	Ghorabae, Amiri, Zavadskas ve Antucheviciene [24]	2018	İnşaat	İnşaat (Ekskavatör Aracı)	FEDAS-FSWARA-FCRITIC	x	x	x	x	x	x		x	

Tablo 1.1.(Devam) 2007-2020 yılları arasında makine ve ekipman seçimi üzerine yapılan bazı çalışmalar

20	Gök Kısa ve Perçin [25]	2017	Maden	Mermer ve Madencilik (PLC Mermer Kesim)	FDEMATEL-FVIKOR	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21	Kabadayı ve Dağ [26]	2017	Kimya, Petrol, Lastik ve Plastik	İmalat (Kablo)	FDEMATEL-FPROMETHEE	x	x		x	x	x	x		x	x
22	Özdağoğlu, Yakut ve Bahar [27]	2017	Gıda	Sütçülük	Entropi-SAW	x				x	x		x	x	
23	Özdağoğlu, Bahar ve Yakut [28]	2017	Gıda	Sütçülük	FAHP	x					x				x
24	Anbarcı, Öz ve Giran [29]	2017	İnşaat	İnşaat (Nakliye Aracı)	MOORA	x					x		x		
25	Hafezalkotob ve Hafezalkotob [30]	2017	Elektrik ve Elektronik-Gıda	İmalat (Delme Mak./ Çay Kurutma Mak.)	IT-VIKOR, IT-MULTIMOORA	x	x	x	x					x	x
26	Uzun ve Kazan [31]	2016	Metal Sanayi	Gemi İnşaat (Ana Makine)	AHP-TOPSIS-PROMETHEE	x	x	x	x	x	x				
27	Uzun ve Yıldırım [32]	2016	Metal Sanayi	Gemi İnşaat (Ana Makine)	TOPSIS-VIKOR-MOORA	x					x	x		x	x
28	Topoyan ve Sarı [33]	2016	Otomotiv	Yan Sanayi	Değiştirilmiş Bir Pareto Yaklaşımı	x				x			x	x	
29	Hamurcu ve Eren [34]	2016	Ulaşım	Raylı Ulaşım	AHP-TOPSIS					x	x		x	x	
30	Gürbüz ve Uğurlular [35]	2016	Metal Sanayi	İmalat (CNC Tezgahı)	AHP	x	x		x	x	x				x
31	Temel [36]	2016	Enerji	Enerji (Isı Pompası)	**	x	x				x			x	

Tablo 1.1.(Devam) 2007-2020 yılları arasında makine ve ekipman seçimi üzerine yapılan bazı çalışmalar

32	Cihan, Eren,Topal ve Yıldırım [37]	Ayan, ve 2016	Sağlık Sosyal Hizmetler	ve Sağlık (EKG Cihazı)	AHP-TOPSIS	x	x		x	x	x		x	
33	Nguyen, Nukman, Rifai ve Aoyama [38]	Dawal, ve 2016	Eğitim	Araştırma Lab. (Konveyör)	FAHP- FARAS	x	x	x	x	x	x		x	
34	Ertuğrul ve Öztaş [39]	2015	Tekstil, Hazır Giyim, Deri	Konfeksiyon	MOORA-TOPSIS	x					x		x	x
35	Sarkar, Panja, Das ve Sarkar [40]	2015	Metal Sanayi	Geleneksel olmayan makine prosesi	MOORA-MOOSRA	x			x		x			
36	Parameshwaran, Praveen Kumar ve Saravanakumar [41]	2015	Eğitim	Ders için Robot	FDM -FAHP- FTOPSIS, VIKOR-Brown-Gibson model	x	x			x	x		x	x
37	Khandekar ve Chakraborty [42]	2015	Otomotiv - Metal Sanayi- Maden	Konveyörler ve Otomatik Güdümlü Araçlar/ Madencilik- Yükleme Taşıma Ekipmanı	Bulanık Aksiyometrik Tasarım	x	x	x		x			x	x
38	Koyuncu [43]	2014	Otomotiv- Bilişim Teknolojileri	İmalat (Tamir ve Test Makinesi)	Kısıt Programlama Temelli Optimizasyon	x					x		x	x
39	Rahimdel ve Ataei [44]	2014	Maden	Madencilik (Primer Kırıcı Mak.)	AHP						x			

Tablo 1.1.(Devam) 2007-2020 yılları arasında makine ve ekipman seçimi üzerine yapılan bazı çalışmalar

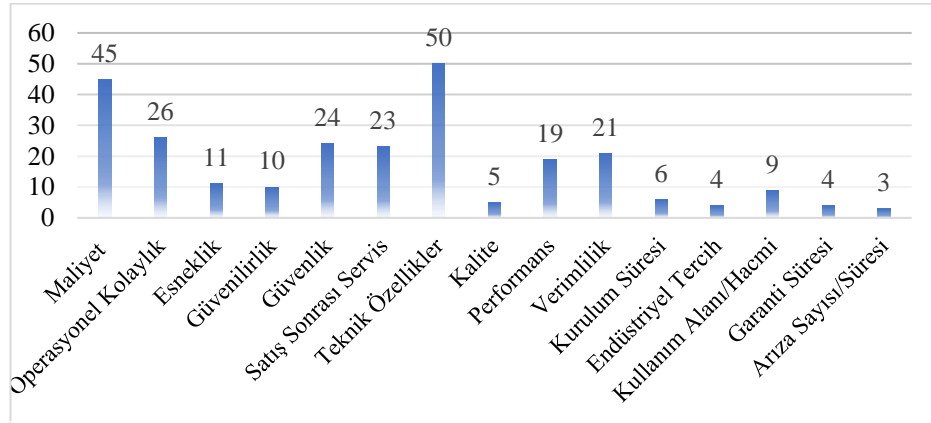
40	Organ [45]	2013	Tekstil, Hazır Giyim, Deri	Tekstil (Dokuma Tezgahı)	FAHP- FVIKOR	x	x		x	x		x	
41	Özbek [46]	2013	Kimya, Petrol, Lastik ve Plastik	İmalat (Plastik Enjeksiyon Makinesi)	Aksiyomatik Tasarım							x	
42	Acıpayamoğlu [47]	2013	Ağaç İşleri, Kağıt ve Kağıt Ürünleri	İmalat- Mobilya (CNC)	AHP	x	x	x	x	x	x		x
43	Özdağoğlu [48]	2013	Metal Sanayi	İmalat (Eksantrik Pres)	COPRAS							x	
44	Demircan [49]	2013	Sağlık ve Sosyal Hizmetler	Sağlık Ekipmanları	RTLS Destekli Algoritmalar		x			x		x	x
45	Safari, Faghih ve Fathi [50]	2013	Metal Sanayi- Otomotiv- Tarım, Avcılık ve Balıkçılık	İmalat (CNC Tezgahı)	GTMA-FAHP	x				x			
46	Perçin [51]	2012	Metal Sanayi	İmalat (CNC Tezgahı)	FAHP- FTOPSIS	x	x	x	x	x			x
47	Pesen [52]	2012	Otomotiv	İmalat (İş Mak.)	AHP	x			x	x		x	x
48	Özdağoğlu [53]	2012	Metal Sanayi- Otomotiv	İmalat (Hidrolik Giyotin)	TOPSIS-MOORA							x	
49	Yazdani-Chamzini ve Yakhchali [54]	2012	Ulaştırma, Lojistik ve Haberleşme	Ulaşım (Tünel Kazma Mak.)	FAHP- FTOPSIS	x		x	x	x			

Tablo 1.1.(Devam) 2007-2020 yılları arasında makine ve ekipman seçimi üzerine yapılan bazı çalışmalar

50	Ilangkumaran, Sasirekha, Anojkumar ve Raja [55]	2012	Metal Sanayi	İmalat (CNC Makinesi)	FAHP- FVIKOR	x	x	x	x	x		x
51	Samvedi, Jain ve Chan [56]	2012	Otomotiv	Otomotiv Yan Sanayi (CNC Mak.)	FAHP- GRA	x	x	x		x	x	x
52	Paramasivam, Senthil ve Rajam Ramasamy [57]	2011	Metal Sanayi- Otomotiv	Freze Mak.	Digraph ve matris yaklaşımı, AHP - ANP	x						x
53	Aghajani Bazzazi, Osanloo ve Karimi [58]	2011	Maden	Madencilik (Taşıma Ekp.)	Geliştirilmiş FAHP	x	x	x	x	x	x	x
54	Tsai, Wang, Cheng ve Kao [59]	2010	Metal Sanayi	4 Eksenli CNC mak.	AHP	x		x	x	x	x	x
55	Kaya, Kılınç ve Çevikcan [60]	2007	Metal Sanayi- Otomotiv	İmalat (CNC Makinesi)	FTOPSIS	x	x	x	x	x	x	x

Tablo 1.1 incelendiğinde makine ve ekipman seçiminde birden fazla ÇKKV yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntemlerin kullanımı daha çok bulanık ve sezgisel olarak entegre ya da tek başına tercih edilmiştir. 18 çalışmada tek bir yöntem ve bu yöntemlerin de 5 tanesi bulanık olarak kullanılmıştır. En çok AHP, TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemleri tercih edilmiştir. 21 çalışmada AHP yönteminin kullanıldığı yani en çok tercih edilen yöntem olduğu görülmüştür. Ama AHP yöntemi daha çok başka yöntemlerle entegre, bulanık ya da hem bulanık hem de entegre olarak kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlere genel olarak bakıldığında aslında her çalışmada kendine özel olarak yöntemler entegre edilip geliştirilerek eşsiz çalışmalar ortaya çıkarıldığı görülmüştür. Ama literatürde az örneğinin olduğu düşünülen yöntemlere örnek olarak COPRAS, FUTASTAR, MACBETH ve KEMIRA-M yöntemleri verilebilir. Çalışmalar daha çok metal Sanayi, maden ve tekstil, hazır giyim, deri sektörlerinde gerçekleştirilmiştir. BTODIM ve BBH yöntemlerinin makine ve ekipman seçimine yönelik yapılan çalışmalarda kullanılmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın esas amacı da literatüre bu yönde bir katkı sağlamaktır.

Tablo 1.1'e göre araştırmalarda makine ve ekipman seçim için üzerinde en çok kullanılan kriterler Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Makine ve ekipman seçiminde en çok kullanılan kriterler

Makine ve ekipman seçimine yönelik yapılan çalışmalarda sırasıyla teknik özellikler, maliyet ve operasyonel kolaylık kriterleri ele alınan problemin çözümünde dikkate alınan başlıca ve ortak kriterlerdir. Bu kriterleri güvenlik, satış sonrası servis ve verimlilik gibi kriterler izlemektedir.

2. KARAR TEORİSİ, ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ VE BULANIK MANTIK

2.1. Karar Teorisi

Karar verme ile alakalı birden fazla farklı tanım yapılmıştır. Bunlardan bazıları:

- Öztürk, karar vermenin; bir amaca varabilmek için o anki şartlara göre mümkün olabilecek farklı alternatiflerden en uygun olanın seçilmesi işlemi olduğunu belirtmiştir [61].
- Kuruüzüm ve Atsan, hedef ve amaçların uygulanabilmesi durumunda seçeneklerden birinin kabul edilmesi olarak belirtmişlerdir [62].
- Karar verme, belirlenen bir amaca ulaşmak için kişi veya bir kurumun karşı karşıya kaldığı alternatif olacak davranış şekillerinden bir veya birden fazlasını seçme prosesi olarak da tanımlanabilir.

İnsanlar hayatları süresince birçok konuda karar vermek durumdadır. Tartışarak ya da uzlaşma yoluyla varılan kararlar genellikle değişmeyen net yargı hükümleridir.

Karar teorisi, karar verme prosesini analitik ve sistematik olarak ele almaktadır. Teoride kullanılan matematiksel modeller kurum veya kuruluşlarda bulunan üst düzey yöneticilere karar vermede yardımcı olmaktadır. Karar teorisine göre; alınacak iyi bir karar, mantıklı bir temelde sayısal bir bakış açısıyla alternatiflerin içinden en iyi olanın seçilmesi; alınacak kötü bir kararsa; mantıksal bir temelde olmayan öznel olarak ele alarak tüm alternatiflerin değerlendirilmediği bir karardır [63]. Fakat hayat süresince karşı karşıya kalınan her problemin bir karar verme problemi olmadığı da unutulmamalıdır. Demir, Bircan ve Tütek, bir problemin karar verme problemi olarak ele alınabilmesi için aşağıda bulunan nitelikleri bulundurmasını belirtmişlerdir. Bunlar [64]:

- ✓ Birçok davranış durumunun bulunması,
- ✓ Her davranış durumunun neticesinin farklı olması,
- ✓ Uygulanması istenen hedeflerin olması.

Problemin en iyi şekilde sonuçlandırılması için verilecek olan karar, adımlardan oluşan bir prosestir. Bu proses verilecek kararın özelliğine göre değişen ve belli sürede gerçekleşebilecek bir durumdur [65]. Karar verme süreci ve temel adımları araştırmacılara göre değişiklik gösterebilmektedir. Karar verme süreci; karar probleminin tanımlanması, karar problemi için model kurulması, modelden çözüm elde edilmesi, model ve çözümün test edilmesi, karar verme ve kararın uygulamaya geçirilmesi adımlarından meydana gelir.

Belirlenen karar verme işlemi temel adımlarının tamamının ya da hangilerinin kullanılacağı problemin konusu ve karışıklığına göre farklılaşır. Çünkü karar verme işlemi doğa şartları, amaçlar, kriterler, alternatifler, karar verenlerin sosyo- demografik nitelikleri ve karar çevresi gibi birçok etkenden etkilenmektedir [66]. Birden fazla durum için karar verme modeli mevcuttur. Bunlar:

Belirlilik altında karar verme: Modelde bulunan karar verici karar sonuçlarını etkileyecek bütün bilgileri elinde bulundurursa meydana gelebilecek olayın olasılığı bir "1" olarak alınır. Bu sebeple karar verici olası sonuçları bildiği için en fazla yararı sağlayacak alternatifi seçer. Bugünkü koşullarda tüm bilgilerin elde edilmesi fazla beklenmediğinden bu karar modelleri az kullanılmaktadır.

Belirsizlik altında karar verme: Bu model günümüzde en fazla kullanılan ama aynı zamanda da en zor karar verme halidir. Modelde karşılaşılabilecek beklenen durumların, bu durumların gerçekleşebilme olasılıklarının tespit edilemediği durumlardır. Günümüzde karar verenler çoğunlukla belirsizlik durumlarında karar vermektedirler. Bu durumda olayın olası sonuçlarıyla alakalı olasılıkların net bir şekilde tahmin edilememesi durumu söz konusu olur. Bu ve benzeri durumlarda karar verenler ellerinde bulunan bilgiler doğrultusunda karar vermek zorunda kalırlar. Bu çalışmada da kullanılacak olan bulanık mantık, belirsizlik altında karar verme modelinin içerisinde bulunmaktadır. Bulanık mantık, ilgili başlık altında detaylı olarak açıklanmıştır.

Risk altında karar verme: Verilen bütün kararları etkileyen şartlar ve bu şartların oluşabilmesinin olasılıkları mevcuttur. Bu durumlar riskli ortam olarak isimlendirilmektedir. Risk altında verilen kararların sonuçları bilinemediği için karar verenin yapacağı çeşitli işlemler sonucunda en uygun karar verilmiş olacaktır.

Belirsizlik ve risk altında karar verme arasındaki temel farklılık, durumlara ilişkin olasılıkların bilinemediği veya bulunamadığı durumlar belirsizlik, belirtilen olasılıklara bağlı yerleştirmelerin yapılabildiği durumlarınsa riskli ortam varsayılmasıdır.

Kısmi bilgi altında karar verme: Karar verenin ilerde oluşabilecek durumlar ile ilgili eksiksiz bilgiye ulaşamaması ama farklı yöntemlerden yararlanarak (anketler, piyasa araştırmaları, bilirkişi görüşleri vb.), ek olarak kısmi bilgiler elde ederek karar vermesi durumudur.

Rekabet altında karar verme: Günümüz piyasa koşulları çeşitliliğin artması ve pazarın genişlemesi sektöre yeni işletmelerin dahil olmasına sebep olmuş böylece ekonomik olarak yeni bir şekillenme başlamıştır. Bu durum eski işletmelerin, sektöre sonradan dahil olan işletmelere pazar paylarını vermemelerini ve karlarını koruyabilmelerini zorlaştırmıştır. Bütün bu durumlar sebebiyle yeni oluşan ekonomik düzendeki işletmeler sürekli rekabet durumundadır. Burada birçok karar veren mevcuttur. Bu sebeple bu karar verme durumu “oyun” olarak bilinir ve “oyun kuramı” kapsamında değerlendirilmektedir. Bu durumdaki bir ortamda karar verenler rakiplerinin her hareketini takip etmek zorundadırlar. Daha önce anlatılan karar verme modellerinde hangi modelin seçileceği karar verene bağlıdır. Karar verme prosesinin güvenilir ve geçerli neticelere en kısa sürede varılabilecek analitik metotların kullanılması bütün paydaşlar için en mantıklı çözüm yoludur. Karar verme problemlerinin çözümünde en çok kullanılan bilimsel yaklaşım ÇKKV metotlarıdır.

2.2. Çok Kriterli Karar Verme

ÇKKV, karar verenlerin seçtiği en az iki kritere göre alternatiflerin avantaj ve dezavantajlarını beraber değerlendiren analitik metotlar bütünüdür. ÇKKV metotlarının esas amacı; birden fazla ve birbirleri ile uyuşmayan kriterlerden oluşan kompleks yapı içinde, bilgiyi düzenleyerek sistematik bir bütün oluşturmak, alternatifler içinden en iyiyi seçerek karar verenin, zamanı daha iyi kullanmasını ve daha güvende hissetmesini sağlamaktır.

Önceden karar verenlerin tecrübeleri referans alınırken günümüz koşullarında bilimsel metotlar kullanılarak kısa sürede yetkin kararlar alınabilmektedir. Karar verme problemlerinin temeli birden fazla kriterin bulunması sebebiyle ve bu kriterlerin amaç

çerçevesinde düzenlenmesi ve değerlendirilmesi kriterlerin içerdiği özellikler sebebiyle kolaylıkla yapılamamaktadır.

ÇKKV problemleri üç başlık altında toplanabilir. Bunlar:

Seçim Problemi: Birden fazla alternatifin yer aldığı veya alternatiflerin zor ve eş değerde bulunan ağırlıktaki bir kümeden seçilmesi durumudur.

Sınıflama Problemi: Karar verenin belirlediği amaç doğrultusunda seçtiği kriterler temel alınarak benzer özellikleri bulunduran alternatiflerin sınıflandırılması ve/veya gruplara ayrılmasıdır.

Sıralama Problemi: Karar verenin birçok kalitatif ve kantitatif ölçütleri kullanarak alternatifleri iyiden kötüye doğru sıralamasıdır.

Literatürde fabrika yeri seçimi, hastane seçimi, personel seçimi, makine seçimi vb. gibi problemlerin çözümünde kullanılan çeşitli ÇKKV metodu vardır. Karar problemlerinin amacına, karara etki eden kalitatif/kantitatif kriterler ve karar verenlerin tercihinine ilişkin değişik ÇKKV metotları kullanılabilir. ÇKKV metotları birbirlerine tam olarak üstünlük sağlayamamaktadırlar. Bu yöntemlerin hepsinin avantajı, karar veren kişinin nitel/nicel birden fazla kriteri birlikte analiz etmesini sağlayarak karar vermede yardımcı olmalarıdır [67].

2.3. Bulanık Mantık

Günümüz koşullarında oluşan ihtiyaçlara çözüm bulmak için çeşitli matematiksel modeller kurulmuştur. Kurulan bu modeller kesin sınırlı ve rahatça uygulanabilen birçok yöntemden oluşmaktadır. Ama reel yaşam içerisinde birçok belirsizlik bulunduğu ve karmaşık bir yapı mevcut olduğu için kesinlik barındıran matematiksel modeller ile çözümlenmesinin imkanı yoktur [68]. Araştırmacılar bu sorunu çözebilmek ve eksik/belirsiz veri bulunduran olayları birazda olsa anlamaya çalışmaktadır. Bütünsel bakıldığında karmaşık, eksik/belirsiz ve kesin bilgi bulundurmeyen kaynaklara bulanık (fuzzy) kaynaklar ismi verilmektedir. Bu tip bulanık kaynaklara bulunduran tutarlı ve doğru şekilde kararlar vermeye olanak sağlayan matematiksel modellere bulanık modeller denilmektedir [69].

Bulanık mantık, ilk kez Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında literatüre kazandırılmıştır [70]. Zadeh, dönemin problemleri ayrıntılı bir şekilde incelenirse çözümün daha da bulanık olacağını ifade etmiştir. Bulanık mantık kavramı ilk ortaya çıktığı dönemde bulunduğu çevrede mesafeli yaklaşmıştır. Ama 1970'li senelerde Japonya'daki araştırmacılar tarafından bulanık mantık kullanılarak geliştirilen teknolojik uygulamalar sayesinde bu mesafeli duruş olumlu yönde değişmeye başlamıştır [68].

Bulanık mantık, insanların belirsizlik barındıran anlatımlarla düşünme niteliğiyle örtüşen mantık dinamiği ile açıklanabilir. Başka deyişle bulanık mantık, kısa-uzun, küçük-büyük vb. gibi kesinlik barındıran parametrelerden, az kısa-az uzun, az küçük-az büyük gibi ifadeler ile esneklik sağlayarak insan düşünce yapısına yaklaştırılmasıdır.

Karar verme işlemleri gerçekleştirilirken karar veren kişiler genelde belirsiz durumlar ve problemler içerisinde kalırlar. Buna ek olarak günlük kullanılan dil ile hükümleri açıklamak, genelde belirsiz ve objektif ifadeler barındırırlar. Ortaya çıkan bu insana özgü hükümleri ve belirsizlik durumunu ortadan kaldırmak için dilsel terimleri açıklayan bulanık karar teorisi meydana getirilmiştir.

Bulanık mantığın bulundurduğu genel özellikler aşağıdaki gibi ifade edilebilir [71];

- Kesinlikleri belirten düşünme sisteminin yerine, yaklaşıklık bulunduran ifadeler kullanılır.
- Bütün değerler $[0,1]$ aralığında bulunan bir üyelik derecesi ile ifade edilir.
- Bulanık mantık içerisindeki bilgiler çok kısa, kısa, uzun, çok uzun şeklinde dilsel ifadeler gibi gösterilir.
- Bulanık olarak ifade edilip tanımlanan kurallar dilsel ifadelerle belirtilir.
- Bütün mantıksal çıkarımlar bulanık şekilde belirtilebilmektedir.
- Bulanık mantık, karmaşık ve zor modellenen matematiksel problem bulunduran sistemlere kolayca uygulanabilir.
- Bulanık mantık içerisinde belirsizlik ya da eksik bilgiye uygun işlem yapılabilir.

2.3.1. Bulanık kümeler

Karar verici kararını verirken belirsizlik durumu ortaya çıkarsa küme üyeliği esas ögedir. Zadeh'in 1965 yılında yaptığı çalışmada, "Bulanık küme" ile kümelerde sıklıkla kullanılan yapıya muadil olan bir yapı oluşturmak için doğru bir başlangıç noktası sağlamaktadır. Fakat spesifik olarak model sınıflandırma, bilgiyi ele alma noktasında daha genel ve kapsamlı uygulanabilir. Aslında bu yapı rastlantısal değişkenlerin olmasının dışında, üyelik kriterlerinde kesin ifadelerin olmayışı ya da eksik olması sebebiyle belirsizliği mevcut problemlerde çözümleme için tabii bir yöntem sağlamaktadır [70].

Klasik kümeler teorisini temel alarak bulanık küme teorisi oluşturulmuştur. Klasik küme teorisinin yetersiz kaldığı durumlarda bu durumu ortadan kaldırmak ve daha geniş ifade etmek için geliştirilmiş bir teoridir. Klasik teoride bir birey belirtilirken kümeye elemandır ya da değildir arası yoktur. Bu sebeple kümeye ait olup olmadığını bulmak net ve kolaydır.

Klasik kümelerde bir kümeye yaklaşık olarak ait olan elemanları kabul etmemesi nedeniyle mevcut problemleri çözümlerken yetersiz kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı klasik küme teorisinden bulanık küme teorisine geçilmiş ve yaklaşık olarak ait olan elemanlara olanak tanınmıştır [72].

2.3.2. Bulanık sayılar ve aritmetik işlemler

Bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile açıklanır. Bu sebeple birçok birbirinden farklı üyelik fonksiyonu (üçgen, yamuk, gaussian, çan vb.) kullanılabilir.

Bulanık sayılarla alakalı literatür araştırmasında daha çok üçgen ve yamuk fonksiyonların kullanıldığı tespit edilmiştir. Bulanık kümeler içerisindeki işlemleri daha kolay yapmak için bulanık sayılar kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki uygulamada bulunan kriter değerleri bulanık sayılar ile gösterilecektir. Çalışmada incelenen kriter değerlerinin aralıkları geniş olarak ele alınmamıştır. Bu yüzden yamuk sayıların tercih edilmesinin çok doğru olmayacağı görülmüştür. Bu sebeple ve üçgensel bulanık sayıların matematiksel işlemlerini gerçekleştirmenin kolay ve rahat olması sebebiyle tez çalışmasındaki uygulama üçgensel bulanık sayılar seçilerek kullanılmıştır [14].

X evrensel kümesindeki A bulanık kümesi aşağıdaki Eşitlik (2.1) gösterildiği gibi açıklanır [73].

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (2.1)$$

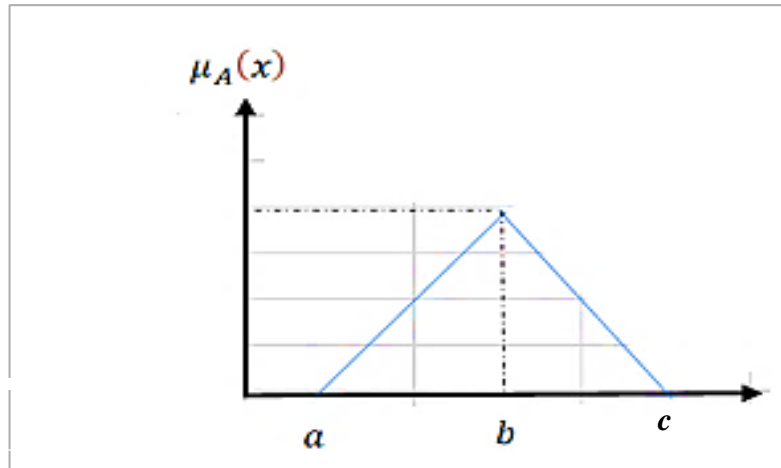
Yukarıdaki denklemde $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonunu gösterir.

Üçgensel bulanık sayıların gösterimi çoğunlukla (a, b, c) gibidir [74]. Burada $a < b < c$ koşulu yerine getirildiğinden üyelik fonksiyonu (a,b) aralığında 0'dan 1'e artarken, $[b,c)$ aralığında 1'den 0'a azalmaktadır [73].

Üyelik fonksiyonu b noktasında 1 değerini ($\mu_A(b) = 1$) alırken, a ve c noktalarında 0 değerini ($\mu_A(a) = \mu_A(c) = 0$) alır. Üçgensel bulanık sayıların üyelik fonksiyonu matematiksel olarak Eşitlik (2.2) 'deki gibi gösterilir [73].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & x \in (a, b] \\ \frac{c-x}{c-b}, & x \in [b, c) \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.2)$$

Üçgensel bulanık sayılarda üyelik fonksiyonu iki doğrusal parçadan oluşan üçgen şeklindedir ve aşağıdaki gibi grafiksel olarak Şekil (2.1)'deki gibi gösterilir [73].



Şekil 2.1. Üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonu [73]

Bulanık sayılarda aritmetik işlemler için literatür içerisinde birbirinden farklı yöntemler bulunmaktadır ve çarpma işlemi ile ilgili değişik metotlar bulunmaktadır

[73]. Bu konu ile alakalı Kaufman ve Gupta tarafından [75] geliştirilen yöntem daha çok tercih edilmektedir. Bu çalışmada da bu yöntem kullanılmıştır.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ şeklinde ifade edilen, $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ gerçekte sayılardır. \tilde{A} ve \tilde{B} iki üçgen bulanık sayı için aritmetik işlemleri Eşitlik (2.3), Eşitlik (2.4), Eşitlik (2.5), Eşitlik (2.6), Eşitlik (2.7) ve Eşitlik (2.8)'deki gibi olmaktadır [73].

Toplama

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2.3)$$

Çıkarma

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (2.4)$$

Skaler bir sayı ile çarpma

$$k \otimes \tilde{A} = k \otimes (a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} (k * a_1, k * a_2, k * a_3), & k > 0 \\ (k * a_3, k * a_2, k * a_1), & k < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Bulanık sayı ile çarpma (çapraz çarpma)

$$(a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3)$$

$$= \begin{cases} (a_1 * b_1, a_2 * b_2, a_3 * b_3), & a_1 > 0 \\ (a_1 * b_3, a_2 * b_2, a_3 * b_3), & a_1 < 0, a_3 \geq 0 \\ (a_1 * b_3, a_2 * b_2, a_3 * b_1), & a_3 < 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Bölme

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \div (b_1, b_2, b_3) = (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1) \quad (2.7)$$

Tersini alma

$$(a_1, a_2, a_3)^{-1} = \left(\min \left(\frac{1}{a_1}, \frac{1}{a_3} \right), \frac{1}{a_2}, \max \left(\frac{1}{a_1}, \frac{1}{a_3} \right) \right), a_1 \neq 0, a_2 \neq 0, a_3 \neq 0 \quad (2.8)$$

2.3.3. Bulanık mantık avantaj ve dezavantajları

Bulanık mantık yaklaşımının avantajları aşağıdaki gibidir [76];

- İnsan düşünce şekline çok yakındır.
- Uygularken karmaşık ve fazla sayıda matematiksel modele gerek yoktur.
- Üyelik fonksiyonu içerisindeki değerler nedeniyle farklı yöntemlere göre daha esnekler.
- Doğrusal olmayan fonksiyon modellenmesinde kullanıma imkan sağlar.
- Uzman görüş ve tecrübeleri ile kolaylıkla bulanık mantık içeren modelleme ve sistem tasarlanabilir.
- Bulanık mantık teknikleri uygulanırken geleneksel kontrollerle uyum sağlar.
- Değerlendirmeler sırasında kullanılan sözel ifadeler bulanık mantıkta modele yansıtılabilir bu sayede çözümlemede gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilir.

Bulanık mantığın dezavantajları;

- Metot içerisinde deneme yanılma uygulanabilir ayrıca üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kesinlik içeren bir sonuç veren belirli bir yaklaşım yoktur.
- Bulanık mantık sistemlerindeki esas problem, sistem içerisinde gözleme, kararlılık ve denetleme gibi işlemlerin yapılmasında ispat edilmiş kesin bir metot bulunmamasıdır.
- Bulanık mantık uygulamalarında kuralların uzman görüş ve tecrübelerine bağlı olmasının gerekli olmasıdır [77].

3. BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA YÖNTEMİ

3.1. Bulanık Bilişsel Haritalama Yöntemi ve Literatür Araştırması

Bulanık Bilişsel Haritalama (BBH) yönteminin çıkışı Euler'in 1976 yılında ortaya çıkardığı Grafik Teorisine dayanmaktadır [78]. Axelrod'un [79] geliştirdiği BBH yönteminde kişilerin ilgili konu ile alakalı görüşleri grafiklere dönüştürülmekte ve antropologların "digraph" dedikleri [80] ve ilk defa Tolman tarafından bahsedilen bilişsel haritalar elde edilmektedir. Kosko'nun [81-83] geliştirdiği sinir ağları simülasyonları doğrultusunda BBH yöntemi yardımıyla ileriye yönelik politika oluşturma olanağı sağlanmıştır. Bulanık mantık ile bilişsel haritalama yönteminin birlikte kullanılması bilişsel haritalama yönteminin farklı alanlara kolay entegre edilmesini sağlamıştır. Kavramlar arası ilişkilerin sayısal ifadelerle değil bulanık kümelerle belirterek kalitatif bir model oluşturulmasına olanak tanır. Uzmanların hassas sayısal ifadeler kullanmayarak deneyim ve bilgilerini basit dilsel ifadelerle aktarmasını sağlar. Yöntemin avantajlı yönleri; modelin sayısal denklemler yerine grafiksel olarak üyelik fonksiyonları yardımıyla gösterilmesi, model oluşturulurken günlük konuşma dilinin kullanılmasıdır. Bu özellikleri ile başka araştırmacıların yöntemi daha kısa sürede ve doğru anlamasını ve yöntemin değişik alanlara uygulanabilmesi gücü artmıştır [84]. BBH, bulanık mantık ve bilişsel haritalamanın birleşimidir. Karmaşık sistemler içerisindeki çoklu etken arasındaki nedensellik ilişkisini gösteren bir grafik yapısıdır [85]. BBH'ler, sistemi bütünsel olarak ifade edebilmektedirler. İlgili alandaki deneyimli uzman görüşleri alınarak sistem haritası meydana getirilir. Haritanın içeriği ilişkilerin gösterilmesidir. BBH'lerin sağladığı en önemli avantaj eksik bilgi olsada çalışabilmesidir. Ayrıca şartlarda bir değişme olduğunda bu değişim basitçe sisteme yansıtılabilmektedir [86].

Literatürde birçok alan ve sektörde BBH yöntemi kullanılarak yapılan çalışma bulunmaktadır. Malathion, mahsullerde ve konut uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir organofosforlu böcek ilacıdır. Malathion'un insan sağlığı ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri büyük endişe kaynağıdır. Poomagal ve diğ., Malathion'un

çevresel bileşenlere (hava, su ve toprak) olan nedenlerini ve zararlı etkilerini analiz etmek için BBH üzerinde matematiksel bir model pivotu kullanmıştır. Uzmanın görüşüne dayanarak, BBH'ye girdi görevi gören Malathion nedeniyle sağlığa ve ekosistemlere zarar veren olası faktörler belirlenerek BBH ile belirlenen faktörler arasındaki nedensel ilişkiyi matematiksel olarak kurulmuştur [87]. Höhl, mimari ve kentsel planlamada dijital dönüşümü işlevsel bir şekilde haritalamak ve simüle etmek için BBH kullanarak yeni bir yaklaşımını geliştirmiştir. Çalışmada BBH'leri kullanan üç farklı dijital dönüşüm senaryosu için sürdürülebilir ve yenilikçi ortamlar (ETSIE) için açık deneysel bir test ortamı geliştirmektedir. Ayrıca dijital dönüşüm bağlamında BBH'lerin ilk uygulamalarından birini sunmaktadır [88]. İçme suyu yönetimi, farklı ülkelerdeki paydaşlar arasında farklı algılar ve öncelikler nedeniyle, tarımsal alanlarda içme suyu koruması sağlamak için, yönetim sistemlerinin dar boğazların belirlenmesi ve çözümlerin vurgulanması için haritalanması gerekmektedir. Bunu ele almak için Shahvi ve diğ., paydaş temsilcisi gruplarla (bireyler, politika geliştiriciler, araştırmacılar ve düzenleyiciler) yüz yüze görüşmeler sırasında oluşturulan BBH'leri açıklayıcı bir ağ analizinde bir sistem düşünme yaklaşımı olarak kullanılmış ve bu yöntemin geniş çapta uygulanabilir ve içme suyu yönetimine daha entegre ve katılımcı yaklaşımlar için düşünülebileceği vurgulanmıştır [89]. Pedrycz, bulanık kümeler ve bilgi granüllerinin fikirlerine odaklanan birkaç anahtar model kategorisinin kavramlarını tanıtp ve algoritmik gelişmelerini anlatarak granüler bulanık modeller, granüler sınıflandırıcılar ve bulanık bilişsel haritaların parçalı sonuçların, sonuçların kalitesi hakkında daha fazla bilgi verdiğini göstermiştir [90]. Goswami ve diğ. çalışmada, pandemi ve "Amphan" siklonik fırtınanın küçük toprak sahibi tarım sistemleri üzerinde yarattığı mevcut ve gelecekteki etkinin çoklu yollarını keşfetmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, farklı gerçekçi müdahale senaryoları altında sistem öğelerinin davranışını tahmin edip, bu çıktılarından yola çıkarak, bölgenin küçük toprak sahibi tarım sistemleri için çok paydaşlı zihinsel modeller geliştirmek için bir Bulanık-Mantıksal Bilişsel Haritalama aracı olan Mental Modeler'ı kullanmışlardır [91]. Shen ve diğ., eş zamanlı olarak optimize edilmesi gereken benzer özelliklere sahip birden fazla BBH'nin öğrenme görevi olduğunu ancak mevcut tüm bu algoritmaların birbirleriyle etkileşim içinde olan modelleri dikkate almadan tek BBH'yi öğrenmek için tasarlandığını söyleyerek farklı görevler arasında benzer yapı modellerini kullanmak amacıyla, her bir BBH öğrenme problemini bir görev olarak alarak, bir

seferde farklı BBH'leri öğrenmek için evrimsel çoklu görev çerçevesi önermişlerdir. Önerilen evrim temelli algoritmaların çoğu, BBH'leri, ağırlık matrisinin esnekliğini dikkate almayan, üretilen tepki dizileri ve mevcut tepki dizileri arasındaki farkı değerlendiren veri hatasını en aza indirerek zaman serisinden öğrenir. Her görev için büyük ölçekli BBH'leri öğrenmek için, çalışmada BBH'lerin hem ölçüm hatasını hem de seyrekliğini göz önünde bulundurarak bir ayrıştırma stratejisi tabanlı çok amaçlı optimizasyon algoritması kullanılmıştır [92]. Nuzade ve Bektur, çalışmalarında 2015 yılında Azerbaycan'da yaşanan ekonomik krizin oluşma nedenleri ve kriz sonrası bu durumun aile bireyleri üzerindeki maddi ve manevi etkisi, kriz zamanlarında bu durumdan az hasar görek atlatılması konusunda ailelerin ürettikleri optimal fikir stratejileri oyun teorisi çerçevesinde incelemiş, oyun kuramında bulunan denge matrisi için BBH yöntemi ile merkeziet değeri hesaplanarak optimal fayda ve karar bulmuşlardır [93]. Asan ve Kadaifçi, orta ve uzun vadeli stratejilerin geliştirilmesinde kritik öneme sahip zamansal algı değışimi problemini dikkate alan dinamik yaklaşım ve hedeflenen bir konuma ulaşabilmenin gerekli koşullarını öngören normatif bir yaklaşım ile az sayıda kısıtlayıcı varsayıma dayanan ve tekrarlı ölçüm gerektirmeyen yeni bir dinamik konumlandırma yöntemi geliştirmişlerdir. BBH yönteminin geliştirilmesine dayanan bu yeni yöntem, müşteri algılarının zaman içindeki değışimini başlangıç koşullarına duyarlı bir şekilde modelleyebilmekte ve hedeflenen (ideal) konuma ulaşabilmenin gerekli koşullarını geriye dönük öngörü ile analiz edebilmektedir [94]. Morone ve diğ., gıda israfı miktarında önemli bir azalma sağlamak için, yüksek gelirli ülkeleri karakterize eden, mevcut sürdürülemez gıda tüketim modelini değıştirebilecek en etkili politika eylemlerini ve özel girişimleri belirlemek ve önermek için aşamalı bir yöntemle bulanık bir çıkarım simülasyonu gerçekleştirmişlerdir [95]. Sperry ve Jetter, proje paydaş yönetimi üzerine yapılan çalışmaların eksik yönü olan projenin kendileri üzerindeki etkilerini tahmin etmek ve paydaşların çıkarları ile proje hedefleri arasındaki çatışmaları şeffaflaştırmak için paydaşların kamuya açık yorumlarından yararlanan BBH modeline dayanan yeni bir karar destek metodolojisi geliştirmişlerdir. Yöntem Kuzeybatı Pasifik'e güç sağlayan bir federal kurumdaki bir vaka çalışmasında kullanılmıştır [96]. Alipour ve diğ., çalışmada belirsiz bir ortamda güneş fotovoltaiklerinin dinamiklerini şekillendiren etkili Politik, Ekonomik, Sosyal, Teknolojik, Çevresel ve Yasal (PESTEL) gibi bir dizi dışsal ve içsel faktörlerin oluşturduğu faktörlerini tanımlamayı, karakterize etmeyi ve

analiz etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, İran'da, söz konusu faktörlerin dinamik olarak etkileşime girdiklerini ve toplu olarak sistemde nasıl davrandıklarını araştırmak için BHH yöntemi kullanılmıştır. Çok aşamalı paydaşların katılımıyla bir anket ve iki çalıştay yapılarak üç adımdan oluşan katılımcı bir aşamalı çerçeve geliştirilmiştir. Sonucunda, iç içe geçmiş 31 kavramdan oluşan entegre bir BBH yarı niceliksel bir model oluşturulmuştur [97]. Kiraz ve diğ., firmaların Endüstri 4.0 seviyelerini belirlemeye yönelik ve gelecekte bu seviyenin nasıl bir seyir izleyeceği konusunda fikir veren yani firmaların Endüstri 4.0 seviyelerini öngörececek bir model oluşturulmuştur. Çalışmada IMPULS modeli kriterleri ve BBH yöntemi kullanılarak Endüstri 4.0 seviyesini öngören bir model geliştirilmiştir [98]. Efe, çalışmasında geleneksel kalite fonksiyon yayılımı (QFD) yönteminin dezavantajlarını iyileştirmek için bulanık sayılar kullanmaktadır, müşteri gereksinimleri (CR) arasındaki korelasyonu ve dizayn gereklilikleri (DR) arasındaki korelasyonları hesaplamak için BBH yöntemini önermektedir. Bu çalışma QFD yaklaşımı ile bulanık bilişsel harita yaklaşımını birleştirerek literatüre katkıda bulunmaktadır [17]. Zhang ve diğ., sezgisel bir bulanık bilişsel harita (IFCM), sezgisel bulanık kümeler (IFS) yoluyla hem kavram çiftleri hem de kavramların durumları arasındaki nedensel ilişkileri tanımlayan, grafiksel bulanık bir harita oluşturan bir BBH'nin uzantısıdır. Bir BHH'nin aksine, bir IFCM sistem modellemesinde çok daha fazla esneklik sağlar. Bununla birlikte, IFCM'ler geleneksel modellemelerin IFS'ler üzerindeki olumsuz etkilerini, kavramların aktivasyon sürecini ve farklı önem seviyelerine sahip bilgileri birleştirme problemini tam olarak dikkate almadığı için sistem modellemesinde kafa karıştırıcı veya mantıksız sonuçlara yol açabilir. IFCM'lerin zorluklarını çözmek için, bu çalışmada delil akıl yürütme (IFCMR) teorisine dayanan yüksek dereceli bir IFCM önermişlerdir [99]. Mazzuto ve diğ., Çok Amaçlı Karar Verme ve BBH ile melez bir modelleme yaparak, karar destek sistemi önermek amacıyla benzerlik ve farklılıklarını belirtmişlerdir. Alınan sonuçlar, düşünülen yaklaşımların, dinamik davranışı modelleme ve gelişmiş bir karar destek sistemi oluşturma becerisini göstererek birlikte kullanılabileceğini göstermiştir [100]. Türk ve Ertaş, çalışmalarında çağdaş maliyet yöntemlerinden olan zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme sistemi ile bulanık mantık yaklaşımı birleştirilerek bir ağız ve diş sağlığı hastanesinin diş protezi birim hizmet maliyetleri hesaplanarak, maliyet kontrolü, kapasite kullanımı gibi konularda alınacak kararlarda hastane yöneticilerine yardımcı olacak bilgilerin ortaya çıkarılması

amaçlamıştır [101]. Alipour ve diğ., araştırmalarında BBH yöntemi ile gelecekteki enerji senaryolarını geliştiren yeni bir çerçeve önermektedir. Senaryo planlamasında yeni bir yöntem olarak BBH, parametrelerin dinamik davranışlarını analiz etmekle birlikte bir dizi rasyonel, güvenilir senaryo sunmaktadır. Entegre yaklaşım parametreleri tanımlamak için PESTEL analizini, kilit faktörleri belirlemek için CIA, senaryo seçimi için morfolojik analizi ve yarı kantitatif senaryolar geliştirmek için BBH'yi içerir. Önerilen yeni senaryo geliştirme yaklaşımı, hem önceden tanımlanmış birkaç senaryo sürücüsünün araştırılmasıyla sınırlı olmayan hem nicel hem de nitel analizin faydalarını bir araya getirir. Bir araştırma örneği olarak, İnan'ın yaptırım sonrası dönemde petrol üretimi için makul eğilimleri saptamak üzere önerilen metodoloji incelenmiştir [102]. Papageorgiou ve diğ., literatüre iki yönlü katkı yapmışlardır. Bunlar; BBH için yeni bir konsept azaltma yaklaşımı önermek ve yönetim ve karar verme için daha az karmaşık BBH geliştirmektir. Yeni yaklaşım, politika yapıcılar için daha şeffaf ve kullanımı kolay bir model sağlayan modelleme sürecindeki karmaşıklığı azaltmaya odaklanmıştır. Önerilen yöntemin uygulanabilirliği, literatür örnekleri ve bu araştırmayı başlatan katı bir atık yönetimi vaka çalışması yoluyla gösterilmiştir. Sonuçlar BBH için önerilen konsept azaltma yönteminin avantajlı özelliklerini ve politika yapımına yardımını göstermektedir [103]. Rezaee ve diğ., çalışmada çok aşamalı BBH yöntemine ve Proses Hata Modu ve Etkileri Analizi (PFMEA) tekniğine dayalı bir yaklaşım kullanılarak üretim sürecinin potansiyel hatalarını tam olarak belirlemeye ve önceliklendirmeye çalışmıştır. Bu yaklaşımda, arızalar, her bir arızanın diğer arızalar üzerindeki etkisinin yanı sıra, ciddiyet, oluşum ve tespit (PFMEA çıktıları) gibi üç faktörün miktarına göre önceliklendirilir. Bu nedenle, risk öncelik numarası (RPN) belirleyici faktörleri ve başarısızlıklar arasındaki nedensel ilişkileri içeren puana göre potansiyel başarısızlıkların önceliklendirilmesi, çok aşamalı BBH ve genişletilmiş Delta kuralına dayalı öğrenme algoritması kullanılarak gerçekteştirilir. Önerilen yaklaşımın gıda endüstrisindeki aktif bir şirkette uygulanmasının sonuçları, arızaların önceliklendirilmesinin gerçeğe daha yakın olduğunu ve geleneksel RPN gibi yaklaşımlara kıyasla daha tam önceliklendirme sunduğunu göstermektedir [104]. Aguilar ve diğ., medyanın kamuoyu üzerindeki etkisine önem vererek fikir madenciliğine bir BBH önermişlerdir. Önerilen fikir madenciliği modeli, kavramları kamuoyuna uygun unsurlara göre tanımlayan çok düzeyli bir BBH'ye dayanmaktadır

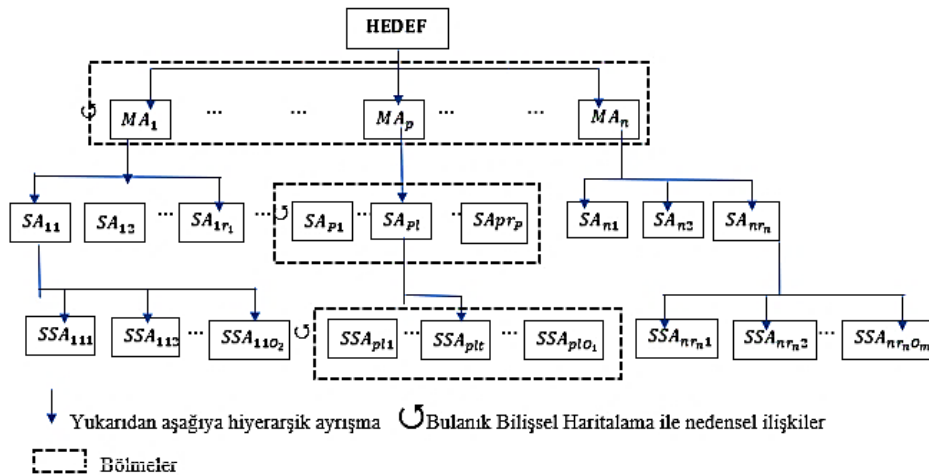
[105]. Homenda ve Jastrzebska, bu çalışmada BBH ile zaman serisi modellemesine bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen yaklaşımı doğrulamak için hem sentetik hem de gerçek dünyadaki çeşitli zaman serileri üzerinde deneyler yapılmıştır. Bunun sonucunda ilk olarak yaklaşımın yorumlanması kolaydır, çünkü harita düğümleri temeldeki veri noktaları ile ilişkilidir. İkincisi, bu tür haritaları eğittikten sonra, tahminlerinin sayısal kalitesinin diğer tasarımlarla eşleştirdiği ortaya çıkmıştır [106]. Bağdatlı ve diğ., tüm dünyada nakliye projesi değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılan Maliyet-fayda analizi (CBA) yönteminin sonuçları olumsuz etkileyen doğal belirsizliği (veri eksikliği, gelecekteki tahminler, ekonomik belirsizlik vb.) ele almaması sorunlarını çözmek için, karmaşık problemleri modellemedeki popülerliğinden dolayı BBH tekniği kullanılmıştır. Otoyol projelerindeki faydaları ve maliyetleri değerlendirmek için bu bilimsel alanda deneyimli kişiler / uzmanlar tarafından bir RISK parametresi içeren bir karar verici BBH modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen BBH modeli karayolları için CBA'deki belirsizliğin etkilerini en aza indirmeye odaklanarak bir vaka çalışması ile test edilmiştir [107]. Uygun ve diğ., işletmeleri yeşil tedarik zinciri yönetimi açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Değerlendirme için bulanık mantık ve bilişsel haritalar temelli BBH yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan üç senaryo için yeşil tedarik zinciri yönetimi açısından gelecekte öngörülen durumlar tespit edilerek çeşitli öngörüler yapılabilmiş ve yeşil tedarik zinciri yönetiminin başarısı için üzerinde durulması gereken faktörler de belirlenmiştir [108]. Singh ve diğ., yetişkin erkekler ve kadınlar arasında önde gelen ölüm nedeni olan kardiyovasküler hastalığı tahmin etmek için makine öğrenimi / veri madenciliği algoritmaları uygulamıştır, ancak bu yöntemler; öngörücü model yapısının şeffaflığının olmaması, insan bilgeliğini tanıma yeteneğinin olmaması ve yeterli veri eksikliğinden muzdariptir. Bu çalışmada bunların üstesinden gelerek sağlam bir model tasarlamak için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım Yapısal Eşitlik Modellemesi ve BBH'e dayanmaktadır [109]. Amer ve diğ., ulusal düzeyde bir rüzgar enerjisi yol haritası geliştirmişlerdir. BBH tabanlı senaryo analizi ile teknoloji yol haritasını (TRM) genişletmiştir. BBH ile gelişmekte olan bir ülkenin rüzgar enerjisi sektörü için BBH tabanlı senaryolar geliştirilmiştir. Bu çoklu senaryolara dayanarak, bir TRM geliştirilmiştir. Senaryo planlama ve TRM teknikleri bu çalışmada birleştirilmiştir. Yaklaşımı, bir araştırma örneği olarak Pakistan'ın rüzgar enerjisi sektörüne uygulanmaktadır [110]. Case ve Stylios, çalışmalarında inşaat proje

yönetimi ve risk yönetimini etkileyen en önemli kavramların entegre bir görünümünü sağlayan bir inşaat proje yönetimi BBH'nin temsil ve geliştirilmesini kapsamaktadır. BBH'nin proje yönetimi (PM) modellemesi ve analizine yumuşak bilgi işlem yaklaşımını sunmaktadır. Ortaya çıkan PM-FCM, iç ve dış faktörlerin etkileşimini modeller ve inşaat proje yönetimi uygulaması için etkileşen kavramların soyut bir kavramsal modelini sunar [111]. Lee ve diğ., çalışmada hastanın anatomik verilerini ve bir uzmanın bu hastalar için bilgi ve deneyimine dayanan tercihlerini dikkate alarak uygun bir abutment tipinin seçilmesini sağlayan Web tabanlı bir karar verme sistemi oluşturmak için bir yöntem önermişlerdir. İmplantasyonu etkileyen faktörler için uzmanın bilgisini dikkate alan BBH kullanılmıştır [112].

3.2. Bulanık Bilişsel Haritalama Yönteminin Uygulama Adımları

Bu çalışmanın uygulama kısmında kullanılacak olan BHH yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir [113]:

Adım 1. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi kriter hiyerarşisine sahip olduğunu varsayalım. n ana kriterlerimiz, m alt kriterlerimiz, o alt-alt kriterlerimiz, k alternatiflerimiz ve s karar vericilerimiz olsun. Her ana kriterine ait r_i alt kriterleri olduğu varsayılmaktadır. $\sum_{i=1}^n r_i$ ile ifade edilen m alt kriterleri vardır. Benzer şekilde, alt kriterlere ait alt-alt kriterlerin toplam sayısı $\sum_{i=1}^m o_i$ ile hesaplanır.



Şekil 3.1. Yukarıdan aşağıya hiyerarşik ayrışma yaklaşımı ve etkileşen özellikler ile eksiksiz değerlendirme şeması

Adım 2. Kriter ağırlıklarının elde edilmesi.

Adım 2.1. Ana kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesi. Ana kriter ağırlıklarını aşağıdaki gibi hesaplamak için, başlangıçtaki bağıl önem ağırlıklarının hazırlanması, BBH yapısının oluşturulması ve BHH'lerin simülasyonunun yapılması için üç genel adım gereklidir:

Adım 2.1.1. Başlangıçtaki bağıl önem ağırlıklarının hazırlanması.

Adım 2.1.1.1. Ana kriterlerin bulanık ağırlıklarının hesaplanması. Ana kriterlerin hedefe ilişkin ağırlıkları karar vericiler tarafından puanlanarak bulunur. p 'inci ana kriter için i 'inci karar vericinin bulanık ağırlık puanı, hedef \tilde{w}_{pi} ile gösterilir.

Adım 2.1.1.2. Ana kriterlerin bulanık ağırlıklarının toplanması. Bir gruptan ortaya çıkan bulanık ağırlıkların aritmetik ortalaması karar vericiler için şu şekilde hesaplanır:

$$\tilde{w}_p = \frac{\sum_i^s \tilde{w}_{pi}}{s}, \quad p = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

\tilde{w}_p değerleri kümelenmiş bulanık ağırlıkları temsil eder.

Adım 2.1.1.3. Birleştirilmiş bulanık ağırlıkların durulaştırılması. Centroid yöntemi, ana kriterlerin bulanık ağırlıklarını durulaştırmak için kullanılır. Centroid yöntemi, basit olduğu için yaygın kabul gören ve uygulanan durulaştırma yöntemlerinden biridir. Ağırlık merkezi (CoG) kavramını kullanır. Literatürde, $\tilde{N} = (l, m, r)$ üçgen bulanık bir sayının en iyi Bulanık Olmayan Performansı (BNP) adı verilen net eşdeğer, CoG yöntemi [65] ile verilmiştir.

$$BNP = l + [(m - l) + (r - l)] / 3 \quad (3.2)$$

Toplanan bulanık ağırlıklar, ağırlıkça Eşitlik (3.2) ile bulunur.

Adım 2.1.1.4. Net ağırlık vektörünün normalleştirilmesi. p . ana kriterin birleştirilmiş bulanık ağırlıkları bulanıklaştığında, nw_p ile gösterilen normalize edilmiş net ağırlık vektörü Eşitlik (3.3) kullanılarak hesaplanır :

$$nw_p = \frac{w_p}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (3.3)$$

Adım 2.1.2. BBH yapısının oluşturulması.

Adım 2.1.2.1. Başlangıç konsept değerlerini hesaplama. Normalize edilmiş ağırlık vektörü, denklemde olduğu gibi başlangıç konsept değerleri olarak kabul edilir. Aşağıdaki Eşitlik (3.4) gibi gösterilir.

$$\begin{bmatrix} C_{MA_1}^{t=0} \\ C_{MA_2}^{t=0} \\ \vdots \\ C_{MA_p}^{t=0} \\ \vdots \\ C_{MA_n}^{t=0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_p \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

burada $C_{MA_i}^{t=0}$, $t=0$ olduğunda i ana kriterin kavram değeridir.

Adım 2.1.2.2. Bulanık etki matrislerini hesaplama. Her özellik arasındaki nedensel bağımlılık derecesi, bulanık etki matrisleri doldurularak karar vericilerden elde edilir. Her etki matrisi, u 'ncü karar vericisinden çıkarılan ana kriterlerin etki matrisini temsil eden \tilde{e}_{ji}^{MA} ile gösterilir.

Adım 2.1.2.3. Bulanık etki matrislerini toplama. Bir grup karar merciinden çıkarılan bulanık etki matrisleri, Eşitlik (3.5) kullanılarak toplanır.

$$\tilde{e}_{ji}^{MA} = \frac{\sum_{u=1}^s \tilde{e}_{jiu}^{MA}}{s} \quad (3.5)$$

Burada \tilde{e}_{ji}^{MA} , ana kriterlerin birleştirilmiş bulanık etki matrisini belirtir.

Adım 2.1.2.4. Toplu bulanık ağırlıkların durulaştırılması. Burada Eşitlik (3.2) kümelenmiş bulanık etki matrisini durulaştırmak için kullanılır. Sonuç olarak, toplu net etki matrisi \tilde{e}_{ji}^{MA} elde edilir.

Adım 2.1.3. BBH'lerin simülasyonu ve son ağırlıkların elde edilmesi.

Adım 2.1.3.1. Aktivasyon fonksiyonunun parametrelerini belirleme. BBH'lerde farklı aktivasyon (eşik) fonksiyonları kullanılabilir. Üç Değerli ($f(x) = -1, 0, 1$), iki değerli ($f(x) = 1, 0$) hiperbolik tanjant fonksiyonu ($\tanh(x)$) veya tek kutuplu sigmoid fonksiyonlar $f(x) = 1/(1 + e^{-\lambda x})$, BBH'lerde yaygın olarak kullanılan aktivasyon

fonksiyonlarına örnektir. Bu adımda, uygun şekil elde etmek için fonksiyonun eğimini belirleyen λ gibi aktivasyon fonksiyonlarının parametreleri tanımlanır.

Adım 2.1.3.2. BBH'lerin çalıştırılması. Ana kriterler arasındaki uzun vadeli etkileri yakalamak için, uygun bir eşik fonksiyonu ile simüle edilir. BBH simülasyonu, denkleme dayalı dinamik davranışı gözlemlemek için Eşitlik (3.6) gibi gerçekleştirilir:

$$C_{MA_i}^{t+1} = f \left(C_{MA_i}^t + \sum_{j=1}^n e_{ji}^{MA} \times C_{MA_j}^t \right), j \neq i \quad (3.6)$$

burada $C_{MA_i}^t$, t zamanında i . ana kriterinin konsept değeridir.

Adım 2.1.3.3. Kararlı durum ağırlıklarının normalleştirilmesi. Kararlı durum kavramı değerleri normalleştirilir; böylece, ana kriterlerin son kararlı durum ağırlıkları elde edilir:

$$w_i = \frac{C_{MA_i}}{\sum_{i=1}^n C_{MA_i}} \quad (3.7)$$

Son net ağırlıklar şu şekilde gösterilir:

$$I_{MA} = \begin{matrix} MA_1 \\ MA_2 \\ \vdots \\ MA_p \\ \vdots \\ MA_n \end{matrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \text{Hedef} \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \begin{bmatrix} w_1 \\ w_p \\ w_n \end{bmatrix}, \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ \\ \\ \end{matrix} \quad (3.8)$$

Adım 2.2. Alt kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesi

Adım 2.1'deki ana kriter ağırlıklarını elde etmek için adımlar ayrıntılı anlatıldığı için tekrardan anlatmamak için alt kriter ağırlıklarının formülleri kısaca verilmektedir. Hiyerarşideki tüm bölümler için hesaplamalar yapılır ve hesaplama prosedürleri her bölüm için aynıdır. Bu adımda, ana kriterlere göre alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanır ve bir I_{SA} matrisi oluşturulur. Alt kriter ağırlıklarının aritmetik ortalaması \tilde{w}_{pl} ile temsil edilir ve Eşitlik (3.9)'daki gibi hesaplanır.

$$\tilde{W}_{pl} = \frac{\sum_i^s \tilde{W}_{pli}}{s} \quad (3.9)$$

\tilde{W}_{pli} , karar vericinin p ' inci ana kritere göre l inci alt kriter için bulanık ağırlık puanıdır. Benzer şekilde, alt kriterler için bulanık ağırlıklar Eşitlik (3.2) daha sonra Eşitlik (3.10) kullanılarak hesaplanır.

$$nw_{pl} = \frac{W_{pl}}{\sum_{i=1}^{r_p} W_{pi}} \quad (3.10)$$

Burada nw_{pl} , p ' inci ana kriterine göre l inci alt-kriterinin normalleştirilmiş ağırlığıdır. Daha sonra, normalize edilmiş net ağırlık vektörleri, Eşitlik (3.11)'deki gibi BBH'lerin başlangıç konsept değerleri olarak kabul edilir.

$$\begin{bmatrix} C_{SAp_1}^{t=0} \\ C_{SAp_2}^{t=0} \\ \vdots \\ C_{SAp_1}^{t=0} \\ \vdots \\ C_{SAp_{r_p}}^{t=0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_{p1} \\ nw_{p2} \\ \vdots \\ nw_{pl} \\ \vdots \\ nw_{pr_p} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

burada $C_{SAp_i}^t$, $t = 0$ olduğunda p 'inci ana kriterine göre l inci alt kriterinin konsept değeridir. p 'inci ana kriterinin altındaki alt kriterin sayısı, r_p ile gösterilir. p 'inci ana kriteri altındaki alt kriterler arasında net etki derecelerini gösteren etki matrisi e_{ji}^{SAp} oluşur. Etki matrisi, Eşitlik (3.12) verilen BBH hesaplamasında kullanılır.

$$C_{SAp_i}^{t+1} = f \left(C_{SAp_i}^t + \sum_{j=1}^{r_p} e_{ji}^{SAp} \times C_{SAp_j}^t \right), j \neq 1 \quad (3.12)$$

Buradaki $C_{SAp_i}^t$, t zamanında p 'inci ana kriterin altındaki i 'inci alt kriterin kavram değeridir. Kararlı durum kavramı değerleri, Eşitlik (3.7) kullanılarak normalleştirilir. Böylece, alt kriterin son kararlı durum ağırlıkları elde edilir. Son net alt kriter ağırlıkları Eşitlik (3.13)'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccc}
w_1 & w_2 & \cdots & w_p & \cdots & w_n \\
MA_1 & MA_2 & \cdots & MA_p & \cdots & MA_n
\end{array} \\
I_{SA} = \begin{array}{c}
SA_{11} \\
SA_{11} \\
\vdots \\
SA_{1r_i} \\
SA_{21} \\
SA_{22} \\
\vdots \\
SA_{2r_2} \\
\vdots \\
SA_{pl} \\
\vdots \\
SA_{n1} \\
SA_{n2} \\
\vdots \\
SA_{nr_n}
\end{array} \begin{array}{c}
\overline{w_{11}} \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \\
w_{12} \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \\
\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
w_{1r_1} \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \\
0 \quad w_{21} \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \\
0 \quad w_{22} \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \\
\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
0 \quad w_{2r_2} \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \\
\vdots \quad 0 \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad 0 \\
0 \quad 0 \quad \cdots \quad w_{pl} \quad \cdots \quad 0 \\
\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad 0 \\
0 \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad w_{n1} \\
0 \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad w_{n2} \\
\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
0 \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad \cdots \quad w_{nr_n}
\end{array}
\end{array} \quad (3.13)$$

Bu hesaplamalar sadece alt-alt özellikler için aynı hesaplamalardır.

Adım 2.3. Genel kriter ağırlıklarının elde edilmesi.

Son olarak, toplam kriter ağırlıklarının hesaplanması. w_{pl} alt kriteri için toplam ağırlık W_{pl} aşağıdaki Eşitlik (3.14)'deki gibi hesaplanır.

$$W_{pl} = \sum_{j=1}^n w_p w_{pj} \quad (3.14)$$

$j \neq l$ durumunda $w_{pj} = 0$ olduğu bilinmektedir; böylece toplam ağırlık W_{pl} aşağıdaki Eşitlik (3.15)'teki gibi hesaplanır.

$$W_{pl} = w_p w_{pl} \quad (3.15)$$

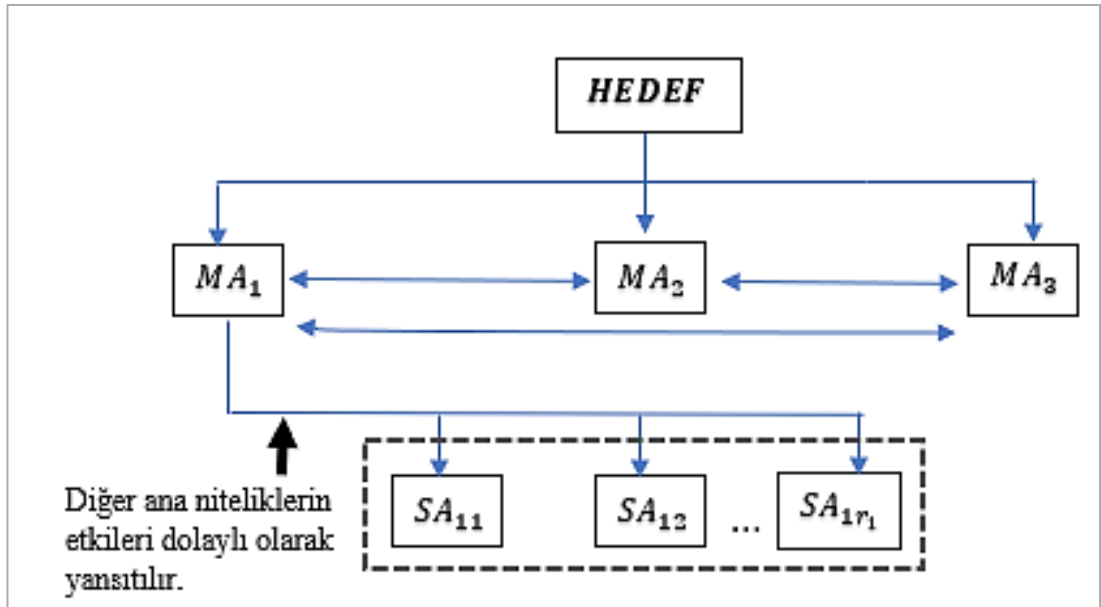
Benzer bir şekilde, toplam alt-alt kriter ağırlığı W_{plt} Eşitlik (3.16) ile hesaplanır.

$$W_{Plt} = \sum_{j=1}^m w_p w_{pl} w_{plj} \quad (3.16)$$

$j \neq t$ için $w_{plj} = 0$ olduğu için, son ağırlıklar aşağıdaki Eşitlik (3.17)'deki gibi elde edilir.

$$W_{plt} = w_p w_{pl} w_{plt} = W_{pl} w_{plt} \quad (3.17)$$

Eşitlik (3.14)-(3.17)'deki denklemler kullanılarak basitçe, son kriter ağırlıklarının geleneksel hiyerarşik bulanık TOPSIS veya AHP yöntemlerinde olduğu gibi hesaplandığını görülür. Birinci seviyenin özellikleri arasındaki etkileşimlerin, ana kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanıldığını belirtmek de önemlidir. İkinci düzeyde, her bir bölümün kriterleri arasındaki etkileşim, alt kriterlerin ağırlıklarını elde etmek için hesaplanmıştır. Bu süreç alt-alt kriter seviyeleri için devam eder. Aslında, hiyerarşinin daha düşük seviyelerinden geçerek, etkileşim fenomeni sadece aynı bölüme ait özellikler arasında kabul edilir. Başka bir deyişle, üst seviyedeki kriterler arasındaki etkileşimler, çarpma yoluyla alt seviyelerin kriterlerine örtülü olarak yansıtılır ve bu da gerekli verileri azaltır. Bu işlem Şekil 3.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Hiyerarşide örtülü etki akışı

4. BULANIK TODİM YÖNTEMİ

4.1. Bulanık TODİM Yöntemi ve Literatür Araştırması

TODİM yönteminin (Iterative multi-criteria decision making) temelleri 1991-1993 yılları arasında Salminen tarafından atılmış [114-115], Gomes ve Lima tarafından 1992 yılında yöntemin ilk başarılı uygulamaları yapılmıştır [116]. Yöntem, farklı kriterler altında alternatifler arasında ikili karşılaştırma yapmak suretiyle bir alternatifin diğer alternatife baskınlığının hesaplanmasına dayanmaktadır. Karar vericinin referans kriteri seçiminin ardından, her alternatifin diğer alternatiflere olan kısmi ve genel baskınlık skoru hesaplanır. Genel baskınlık skorlarının değerlerine göre alternatifler arasında bir sıralama elde edilmesi ile yöntem tamamlanır [117].

TODİM, riskli şartlar altında karar vermeye imkan tanıyan bilimsel bir yöntem olarak değer fonksiyonunun yapısı beklenti teorisinde bulunan kayıp ve kazanç fonksiyonuyla benzerdir. Bu fonksiyon referans kriterinin seçilmesi ya da riskten kaçınma gibi karar vericilerin davranışlarının özelliklerini gösterir ve alternatiflerin birbirlerine göre baskınlık skorlarını gösterir. Genel baskınlık değer fonksiyonu tüm karar kriterlerine göre kazanç ve kayıpları bir araya getirip ve alternatifleri sıralamayı sağlar [118].

TODİM yöntemi sayısal veriler ile birlikte, dilsel değişkenlerle de gösterilen sözel verilerin kullanımına da imkan tanıyan bir yöntemdir. Belirsiz ve sözel olarak ifade edilebilen durumların olması karar verme sürecinin etkinliğini ve doğruluğunu etkilediğinden bu gibi olumsuzlukları azaltmak için bulanık mantık uygulanmalıdır.

Literatürde birçok alan ve sektörde TODİM yöntemi bulanık teori ile birleştirilerek kullanılan çalışma bulunmaktadır. Gül ve diğ., TODİM'i sezgisel bulanık küme kavramı altında Fine-Kinney yöntemiyle birleştiren yeni bir mesleki risk değerlendirme yaklaşımı uygular. Fine-Kinney ve İSG uzmanlarının risk parametreleri, sezgisel bir bulanık ağırlıklı ortalama toplama operatörü tarafından ağırlıklandırılır. Yaklaşımın geçerliliğini test etmek için TODİM zayıflama

parametresini değiştirerek ek bir duyarlılık analizi yapılır [119]. Yeşil tedarikçi seçimi, klasik bir çok özellikli grup karar verme (MAGDM) sorunu olarak kabul edilebilir. Aralık değerli Pisagor bulanık kümesi (IVPFS), bilim ve teknoloji projelerinin risk değerlendirmesi için belirsiz bilgileri tam olarak tanımlayabilir. Zhao ve diğ., karar vericilerin psikolojik davranışlarını yansıtmada seğilebilir bir yöntem olan kümülatif beklenti teorisine (CPT-TODIM) dayalı klasik TODIM yöntemi oluşturmuştur. Bu nedenle, çalışmada MAGDM konusu için aralık değerli Pisagor bulanık CPT-TODIM (IVPF-CPT-TODIM) yöntemi önerilmiştir. Geliştirilen yöntemi yeşil tedarikçi seçimine uygulanmış ve IVPF-CPT-TODIM yöntemine dayalı bilim ve teknoloji projelerinin risk değerlendirme modelini gösterilmiştir [120]. Arya ve Kumar, Sezgisel Bulanık Kümeler (IFS'ler) için genişletilmiş VIKOR-TODIM ve entropi ölçümlerini kullanan yeni bir teknik sunmaktadır. İlk olarak, IFS'ler için yeni bir entropi bilgi ölçüsü geliştirilmiş, önerilen bilgi ölçümünün performansı, TODIM ve VIKOR (vlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerinin yardımıyla doğrulanmıştır. ÇKKV problemlerini çözmek için ağırlık kriterlerine dayalı VIKOR-TODIM yöntemini birleştirilmiştir [121]. Zhao ve diğ. Çalışmada, çok özellikli grup karar verme probleminin üstesinden gelmek için CPT-TODIM modeline dayalı iki kutuplu bulanık TODIM yöntemi önermiş, bu önerilen yöntem ağ güvenliği sağlayıcı seçimi alanına uygulanmış ve diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır [122]. Wang ve diğ. bu çalışmada, bulanık bilgileri daha uzun süre tutan ve karar sürecinde karar vericinin psikolojik davranışını göz önünde bulunduran alfa düzeyi setlerine dayalı yeni bir bulanık TODIM yöntemi önermektedir. Mevcut bulanık ÇKKV yöntemlerinde bulanık bilgilerle başa çıkma yolunu da zenginleştiren mevcut yaklaşımlara önemli bir üstünlük sağladığı ortaya çıkarılmıştır [123]. Başaran ve akır, tedarikçi seçim problemini bulanık ÇKKV yöntemlerinden biri olan bulanık TODIM yönteminden faydalanılarak çözümlenmiştir. Uygulama sonucunda bulanık TODIM yönteminin tedarikçi seçiminin yanı sıra diğer ÇKKV problemlerinin çözümü amacıyla da kullanılabilir pratik bir yöntem olduğu ortaya çıkmıştır [124]. Tolga ve diğ., Sonlu Aralıklı Tip-2 (FIT2) Gauss bulanık sayılarını, aralık değerli Tip-2 (IT2) Gauss bulanık kümelerinin sonlu aralık temelli olanını önermiştir. Daha sonra, FIT2 Gauss bulanık sayıları üzerindeki aritmetik işlemler ve bir sıralama prosedürü türetilerek ve stratejik seçim sürecine uyarlanmıştır. FIT2 Gauss bulanık sayılara sahip genişletilmiş TODIM yöntemi, bir tıbbi cihaz seçim probleminin gerçek ekonomik

değerlendirmesine entegre edilmiştir [125]. Otoyol servis alanı fotovoltaik (ESAPV) projeleri, artan yolcu hacmi ve elektrikli araç endüstrisinin mevcut gelişimi nedeniyle büyük ölçüde desteklenmiştir. Bu makale Wu ve diğ., ESAPV saha seçiminin geçerliliğini sağlamak için bir karar verme çerçevesi ortaya koymaktadır. İlk olarak, ESAPV projesinin özelliklerini karşılayan endeks sistemi kurulur. İkincisi, öznel tercih ve nesnel adaletin sonuçlar üzerindeki etkisini hesaba katmak için, objektif veri desteğinden yoksun olan ve kullanan birinci düzey göstergelerin ağırlıklarını belirlemek için Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL) yöntemi seçilir. Üçüncüsü, ikinci seviye göstergelerin ağırlıklarını belirlemek için entegre bir ağırlıklandırma yöntemi olan karar vericilerin riskten kaçınma psikolojisini dikkate alan TODIM yöntemi, grup karar verme teorisi ile birlikte üçgen sezgisel bulanık ortama genişletilmiştir. Son olarak, sistematik çerçevenin uygulanabilirliğini doğrulamak için Çin'in Hebei şehrinde bir vaka çalışması gerçekleştirilmiş [126]. YIN ve diğ., proje yöneticisinin yetkinlik değerlendirmesi konusunda; eksik kriterleri dikkate alarak karar vericilerin sınırlı rasyonel davranışlarını değerlendirmek için λ -bulanık ölçümü Choquet integrali ile birleştiren genişletilmiş bir TODIM metodu geliştirmişlerdir [127]. Ren ve diğ., yamuk sezgisel bulanık sayıların (TIFN) yeni bir uzaklık ölçüsü ve karar vericinin tutum davranışını göz önünde bulunduran yeni bir sıralama yöntemi önermekte ve daha sonra genişletilmiş bir TODIM karar verme yöntemi geliştirmişlerdir [128]. NIE ve diğ., klasik TODIM yöntemini, ayarlanan sürekli aralıklı dilsel terim ile birleştirerek yeşil tedarikçi seçimi yapmışlardır Önerilen yöntemin avantajlarını göstermek için diğer sıralama yöntemleri ile karşılaştırılmıştır [129]. Liu ve You, klasik TODİM yöntemini dilsel bir nütrosifik ortamda çok kriterli grup karar verme (MCGDM) sorunlarını çözmek için nütrofilik sayılar kullanarak genişletilmiş Bulanık TODIM yöntemi önermiştir Geliştirilen yöntem bazı mevcut yöntemlerle karşılaştırılarak önerilen yaklaşımın etkinliğini ve üstünlüğünü doğrulamak için birkaç örnek verilmiştir [130]. Wu ve Zhang, TODIM yönteminin uygulanabilirliğini kısıtlayan, nitelikler arasında pozitif, bağımsız ve negatif etkileşimlerle MADM sorunlarını ele almak için kullanılamaması nedeniyle bu durumun üstesinden gelmek için 2 katlı bulanık Choquet integral tabanlı tereddütlü bulanık TODIM yöntemini önermişlerdir [131]. Lin ve diğ., ise geleneksel TODIM yöntemini, yeni karşılaştırma fonksiyonuna ve uzaklık ölçüsüne dayanarak kararsız dilsel terim kümelerini (HFLTS) ele almak için genişleterek çeşitli uydu fırlatma

merkezlerinin değerlendirmesini yapmışlardır [132]. Wu ve diğ., TODIM yönteminin uygulanabilirliğini kısıtlayan, nitelikler arasında pozitif, bağımsız ve negatif etkileşimlerle MADM sorunlarını ele almak için kullanılamaması nedeniyle bu durumun üstesinden gelmek için üçgen sezgisel bulanık sayılarla (TIFN'ler) tesis alanı seçimi için PROMETHEE-II yöntemi ile genişletilmiş TODIM yöntemini kullanılmışlardır [133]. Junior, Brezilya bankalarının değerlendirilmesini, belirsizlikleri modellemek için bulanık sayıları kullanarak Bulanık TODIM yöntemini kullanarak yapmıştır. [134]. Liang ve diğ., altın madenleri için daha temiz üretimin değerlendirilmesini değerlendirme bilgilerinin çeşitliliği göz önüne alındığında sırasıyla nicel ve nitel bilgileri göstermek için net sayılar ve olasılıklı dilsel terim kümeleri ile genişletilmiş TODIM yöntemi kullanmışlardır [135]. Tolga ve Turgut, en iyi performansı gösteren sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynağını belirlemek için TODIM yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca çalışmada belirsiz durumlara karşı çözüm için bulanık kümeler sisteme entegre edilmiştir [136]. Wei, resim bulanık sayılarıyla (PFN'ler) TODIM modelini çok amaçlı karar vermeye (MADM) genişletmiştir. Genişletilmiş TODIM modeli, PFN'lerle MADM sorunlarını çözmek için geliştirilerek önerilen yaklaşımı doğrulamak için sayısal bir örnek kullanmıştır [137]. Yu ve diğ., ÇKKV problemlerini çözmek için TODIM yönteminin ve sezgisel olmayan dilsel sayılar ile doğrusal olmayan programlamanın kısaltmasına dayalı etkileşimli bir ÇKKV yaklaşımını önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın geçerliliğini ve uygulanabilirliğini doğrulamak için bir turizm web sitesinden otel seçimi yapılarak, mevcut yöntemlerle de karşılaştırma yapılmıştır [138]. Ji ve diğ., çalışmada, tedavi seçimi için bulanık bir karar alma çerçevesi oluşturmuşlardır. Çerçeve, değerlendirme bilgisini ifade etmek için tek değerli yamuk nütrofilik sayıları sunarak bilgi kaybını hafifletmiştir. Bir karar vericinin riskten kaçınma davranışını da, TODIM yöntemine dayanan bir uyumluluk endeksi kullanarak hesaplamışlardır. Çerçevenin sağlamlığını göstermek için bir duyarlılık analizi ve çerçeveyi çeşitli mevcut yöntemlerle karşılaştırmak için karşılaştırmalı bir analiz yapmışlardır [139]. Wang ve diğ., lojistik dış kaynak kullanımında müteahhitlerin seçimi ve değerlendirilmesi için çok kararsız dilbilimsel bilgilere dayanan olasılık temelli bir TODIM yaklaşımı geliştirmişlerdir [140]. Sen ve diğ., robot seçiminde Genelleştirilmiş Bulanık Sayılar (GFN'ler) küme teorisi ile birleştirilmiş TODIM kullanılmıştır. Çalışmada, robot seçim özellikleri / kriterleri ile ilgili hem öznel hem

de nesnel veriler araştırılmıştır ve bulanık tabanlı TODIM'in uygulama potansiyeli vurgulanmıştır [141]. Wei ve diğ., çalışmalarında HFLTS ile ilgilenen ve karar vericinin psikolojik davranışını dikkate alan ÇKKV sorunlarını çözmek için klasik TODIM yöntemini genişleterek HFLTS'yi daha etkili bir şekilde karşılaştırmak için yeni bir puanlama fonksiyonu tanımlamışlardır. Önerilen yöntemin geçerliliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için birkaç telekomünikasyon servis sağlayıcısının değerlendirmesi ve sıralamasını ilgilendiren bir karar verme sorunu kullanmışlardır [142]. Fan ve diğ., ise iki aşamalı genişletilmiş bir TODIM yöntemi önermişlerdir. İlk olarak, üç öz nitelik değeri biçimi (net sayılar, aralık sayıları ve bulanık sayılar), kümülatif dağılım işlevli rastgele değişkenler biçiminde ifade edilmiş daha sonra klasik TODIM metodu konseptine göre her bir niteliğe ilişkin kazanç ve kayıp matrisleri, diğerlerine göre her bir alternatifin kazanç ve kaybı hesaplanarak oluşturulmuştur [143].

4.2. Bulanık TODIM Yönteminin Uygulama Adımları

Bu çalışmanın uygulama kısmında kullanılacak olan BTODIM yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir [143-144]:

Adım 1. A_i i . alternatifi göstermek üzere $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) sonlu alternatif kümesi; C_j j . kriteri göstermek üzere $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) sonlu kriter kümesi olsun. $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ise $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ve $0 \leq w_j \leq 1$ aralığında bir ağırlık vektörü olsun. Burada w_j , C_j kriterinin önem ağırlığını göstermektedir.

İlk olarak yukarıda gösterildiği üzere karar vericiler, kriterler ve alternatifler belirlenir. Belirlenen bu kriterlerin değerlendirilmesini karar vericiler gerçekleştirir. Bu değerlendirme karar vericilerin deneyim ve diğer niteliklerini de göz önünde bulundurarak yapılır. Değerlendirme sürecinde dilsel ifadeler kullanılarak karar kriterlerinin önem seviyeleri dilsel olarak belirlenir. Gerekli işlemler sonucunda kriterlerin ağırlık vektörleri hesaplanır. Bu ağırlık vektörü değerleri alternatifler değerlendirilirken kullanılır. Belirlenen kriterlere göre alternatifler değerlendirilir. Değerlendirmeler dilsel olarak yapılır. Değerlendirmede kullanılan dilsel ifadeler ile bu ifadelerin ÜBS olarak BTODIM'deki karşılıkları Tablo 4.1'teki gibidir.

Tablo 4.1. Kriter ağırlıkları için kullanılan ifadeler

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0.00, 0.00, 0.10)
Düşük (D)	(0.00, 0.10, 0.30)
Orta Düşük (OD)	(0.10, 0.30, 0.50)
Orta (O)	(0.30, 0.50, 0.70)
Orta Yüksek (OY)	(0.50, 0.70, 0.90)
Yüksek (Y)	(0.70, 0.90, 1.00)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.90, 1.00, 1.00)

BTODIM yönteminde bulunan bulanık kriter ağırlıklarının bulanıklıktan kurtarılarak, başka ifade ile sadeleştirilerek BNP'ler hesaplanmaktadır. Bunun için kolay ve pratik bir metot olan literatürde de sıkça kullanılan CoG kullanılmıştır. (l, m, u) ile gösterilen bir ÜBS için BNP değeri aşağıdaki Eşitlik (4.1) ile hesaplanır [145];

$$BNP = d(\tilde{D}_i) = l_i + \frac{(m_i - l_i) + (u_i - l_i)}{3} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4.1)$$

Adım 2. Alternatiflerin diğer alternatiflere göre kayıp ve kazançlarının hesaplanması için ilk işlem olarak alternatiflerin kriter puanları ikili olarak karşılaştırılır. Bunun için Tablo 2' deki dilsel ifadeler kullanılabilir.

Tablo 4.2. Alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılan ifadeler

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0.00 , 1.00 , 2.00)
Kötü (K)	(1.00 , 2.00, 3.00)
Orta Kötü (OK)	(2.00, 3.50, 5.00)
Orta (O)	(4.00, 5.00, 6.00)
Orta İyi (OI)	(5.00, 6.50, 8.00)
İyi (İ)	(7.00 , 8.00, 9.00)
Çok İyi (Çİ)	(8.00 , 9.00 , 10.00)

s_f ve s_g ($f, g = 0, 1, \dots, T$) sırasıyla A_i ve A_k alternatiflerinin C_j kriterine göre

aldığı değerleri gösterebilir. \tilde{x}_{ij} ve \tilde{x}_{kj} ikilisini karşılaştırma kuralı aşağıdaki gibidir.

a. $s_f > s_g$ ise $\tilde{x}_{ij} > \tilde{x}_{kj}$ b. $s_f = s_g$ ise $\tilde{x}_{ij} = \tilde{x}_{kj}$ c. $s_f < s_g$ ise $\tilde{x}_{ij} < \tilde{x}_{kj}$

Bu durumda, \tilde{x}_{ij} ve \tilde{x}_{kj} Eşitlik (4.2) yardımıyla ÜBS' ler ile gösterilebilir.

$$\tilde{x}_{ij} = (\tilde{x}_{ij}^l, \tilde{x}_{ij}^m, \tilde{x}_{ij}^u) \text{ ve } \tilde{x}_{kj} = (\tilde{x}_{kj}^l, \tilde{x}_{kj}^m, \tilde{x}_{kj}^u) \quad (4.2)$$

\tilde{x}_{ij} ve \tilde{x}_{kj} arasındaki farkı hesaplamak için Eşitlik (4.3) ile belirtilen iki ÜBS arasındaki uzaklık formülünden yararlanılabilir.

$$d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{kj}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(x_{ij}^l - x_{kj}^l)^2 + (x_{ij}^m - x_{kj}^m)^2 + (x_{ij}^u - x_{kj}^u)^2]} \quad (4.3)$$

Fayda kriteri için C_j kriteri açısından A_i alternatifinin A_k alternatifine göre kazancını gösteren G_{ik}^j ve kaybını gösteren L_{ik}^j aşağıdaki Eşitlik (4.4) ve Eşitlik (4.5)' teki gibi gösterilir.

Fayda kriteri için:

$$G_{ik}^j = \begin{cases} d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{kj}) & \tilde{x}_{ij} \geq \tilde{x}_{kj} \\ 0, & \tilde{x}_{ij} < \tilde{x}_{kj} \end{cases} \quad i, k = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.4)$$

$$L_{ik}^j = \begin{cases} 0, & \tilde{x}_{ij} \geq \tilde{x}_{kj} \\ -d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{kj}) & \tilde{x}_{ij} < \tilde{x}_{kj} \end{cases} \quad i, k = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

Maliyet kriteri için C_j kriteri açısından A_i alternatifinin A_k alternatifine göre kazancını gösteren G_{ik}^j ve kaybını gösteren L_{ik}^j aşağıdaki Eşitlik (4.6) ve Eşitlik (4.7)' teki gibi gösterilir.

Maliyet kriteri için:

$$G_{ik}^j = \begin{cases} 0, & \tilde{x}_{ij} \geq \tilde{x}_{kj} \\ d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{kj}) & \tilde{x}_{ij} < \tilde{x}_{kj} \end{cases} \quad i, k = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.6)$$

$$L_{ik}^j = \begin{cases} -d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{kj}) & \tilde{x}_{ij} \geq \tilde{x}_{kj} \\ 0, & \tilde{x}_{ij} < \tilde{x}_{kj} \end{cases} \quad i, k = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.7)$$

Burada, $G_{ik}^j + L_{ik}^j = 0$ eşitliği vardır.

Bu sebeple, Eşitlik (4.3)-(4.7) yardımıyla C_j kriterine göre kazanç matrisi $G_j = [G_{ik}^j]_{m \times m}$ ve kayıp matrisi ise $L_j = [L_{ik}^j]_{m \times m}$ ile hesaplanır.

Adım 3. Farklı kriterlere ait kazanç ve kayıpları birbiri ile karşılaştırabilmek için Eşitlik (4.8) ve Eşitlik (4.9)'leri ile matris elemanlarına normalizasyon işlemi yapılır.

Bu sayede $Y_j = [Y_{ik}^j]_{m \times m}$ ve $Z_j = [Z_{ik}^j]_{m \times m}$ matrisleri oluşturulur.

$$Y_{ik}^j = \frac{G_{ik}^j - G_j^{\min}}{G_j^{\max} - G_j^{\min}} \quad i, k = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.8)$$

Eşitlik (4.8)'de bulunan $G_j^{\max} = \max\{G_{ik}^j | i, k = 1, \dots, m\}$ $G_j^{\min} = \min\{G_{ik}^j | i, k = 1, \dots, m\}$, $j = 1, 2, \dots, n$ ve $Y_{ik}^j \in [0, 1]$ 'dir.

$$Z_{ik}^j = \frac{L_{ik}^j - L_j^{\max}}{L_j^{\max} - L_j^{\min}} \quad i, k = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.9)$$

Eşitlik (4.9)'da bulunan $L_j^{\max} = \max\{L_{ik}^j | i, k = 1, \dots, m\}$ $L_j^{\min} = \min\{L_{ik}^j | i, k = 1, \dots, m\}$, $j = 1, 2, \dots, n$ ve $Z_{ik}^j \in [-1, 0]$ 'dir.

Adım 4. Baskınlık derecesi matrisi $\phi_j = [\phi_{ik}^j]_{m \times m}$ derlenir. BTODIM yönteminde alternatif ikilileri arasındaki performans farklarını aynı seviyeye dönüştürmek hedefiyle önem ağırlığı en yüksek olan kriter referans kriter olarak seçilir. C_r referans kriterini gösterir. Bu durumda C_j kriterinin C_r kriterine göre önem ağırlığı w_{jr} Eşitlik (4.10) ile bulunur.

$$w_{jr} = w_j / w_r, \quad w_r = \max\{w_j\}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.10)$$

Sonrasında, C_j kriteri için A_i alternatifinin A_k alternatifine göre kazanç baskınlık derecesini gösteren $\phi_{ik}^{j(+)}$ ve kayıp baskınlık derecesini gösteren $\phi_{ik}^{j(-)}$ sırasıyla Eşitlik (4.11) ve Eşitlik (4.12)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\phi_{ik}^{j(+)} = \sqrt{(G_{ik}^j w_{jr}) / \left(\sum_{j=1}^n w_{jr} \right)} \quad (4.11)$$

$$\phi_{ik}^{j(-)} = -\frac{1}{\theta} \sqrt{-L_{ik}^j \left(\sum_{j=1}^n w_{jr} \right) / w_{jr}} \quad (4.12)$$

Denklemdaki θ değeri, kayıpları azaltma faktörüdür. Dikkat edilirse, $0 \leq \phi_{ik}^{j(+)} < 1$ ve $\phi_{ik}^{j(-)} \leq 0$ olmaktadır.

Kazanç ve kayıp için baskınlık derecesi olan ϕ_{ik}^j değeri de Eşitlik (4.13) ile bulunur.

$$\phi_{ik}^j = \phi_{ik}^{j(+)} + \phi_{ik}^{j(-)} \quad i, k = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.13)$$

Bu sayede C_j kriteri için baskınlık derece matrisi $\phi_j = [\phi_{ik}^j]_{m \times m}$ olarak son haline getirilir.

Adım 5. ϕ_j matrisine bağlı olan toplam baskınlık derecesi matrisi $\Delta = [\delta_{ik}]_{m \times m}$ olarak revize edilir. Burada bulunan δ_{ik} Eşitlik (4.14)' teki gibi bulunmaktadır.

$$\delta_{ik} = \sum_{j=1}^n \phi_{ik}^j \quad i, k = 1, 2, \dots, m \quad (4.14)$$

Adım 6. Δ matrisine bağlı olarak alternatiflerin toplam performans değerleri bulunur. A_i alternatifinin toplam değeri $\zeta(A_i)$ Eşitlik (4.15) ile bulunur.

$$\zeta(A_i) = \frac{\sum_{k=1}^m \delta_{ik} - \min_{i=1, \dots, m} \left\{ \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \right\}}{\max_{i=1, \dots, m} \left\{ \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \right\} - \min_{i=1, \dots, m} \left\{ \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \right\}} \quad (4.15)$$

Bulunan değerler için, $0 \leq \zeta(A_i) \leq 1$ olmaktadır.

Adım 7. Alternatifler toplam performans değerlerine bakılarak sıralanırlar. Buna göre en yüksek $\zeta(A_i)$ değerine sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak değerlendirilir.

5. MAKİNE SEÇİMİNDE BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA VE BULANIK TODIM UYGULAMASI

5.1. Uygulamanın Gerçekleştirileceği İşletme Hakkında Genel Bilgi

Uygulama, 1979 yılında otomotiv sektöründe başka bir ilde piyasaya giriş yapan köklü bir markanın 2011 yılı itibariyle Kocaeli ilinde kurulan fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu işletme hava ve motorlu kara taşıtları için mono blok far üniteleri, kara, hava ve deniz taşıtları için elektrikli aydınlatma donanımları veya görsel sinyalizasyon ekipmanları imalatını gerçekleştirmektedir. Bu ürünlerin üretiminde ağırlıklı olarak plastik enjeksiyon makineleri kullanılmaktadır.

Plastik enjeksiyon makinesi ve kalıp kullanılıp granül hammaddeleri şekillendirerek son ürün montajında kullanılan tek renkli iç lens, ara çerçeve, gövde, reflektör ve çok renkli arka stop lambası, lensler gibi plastik parça üretimleri yapılmaktadır. Tek renk ve çok renkli olmak üzere tüm enjeksiyon makineleri robot ile çalışmaktadır. Üretimin en önemli prosesleri plastik enjeksiyon makineleri ile gerçekleştirilmektedir.

Bu sebep ile söz konusu işletmede kullanılan plastik enjeksiyon makinesinin, fabrikanın üretim proseslerine uygun ve yüksek verimle çalışan bir makine olması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla sektörde bilinen ve çok tercih edilen, daha önceki alımlarda da fabrika tarafından tercih edilmiş global firmalardan olan Haitian, Engel ve Krauss Maffei arasından en uygununu seçmek için matematiksel yöntemlerden faydalanmak istenmiştir. Bunun için BBH ve BTODIM yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Şekil 5.1'de bulunan diyagramda uygulamanın hangi adımlarla gerçekleştirildiği özetlenerek sıralanmıştır.

5.2. Bulanık Bilişsel Haritalama Yönteminin Uygulanması

Burada çalışmanın üçüncü bölümünde anlatılan BBH yönteminin adımları izlenerek makine seçimi için kullanılan kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır.

Adım 1. Makine seçim kriterlerinin ve karar vericilerin belirlenmesi ve tanımlanması: Yapılan uygulamada ilk olarak makine seçimini gerçekleştirecek olan karar verici (KV)'ler; karar verici 1 (KV₁), karar verici 2 (KV₂) ve karar verici 3 (KV₃) olarak belirlenmiştir. Bu amaçla satın alma kıdemli uzmanı, proses enjeksiyon uzmanı ve elektrik bakım uzmanından oluşan üç kişilik bir karar verici grubu oluşturulmuştur.

Grup, literatürde bulunan önceki çalışmaları ve işletmede son zamanlarda kullanılan kriterleri de göz önünde bulundurarak makine seçim sürecini etkileyen ana kriterleri ve alt kriterleri belirlemiştir. Ortak bir karar sonucunda belirlenen ana ve alt değerlendirme kriterleri ve tanımları Tablo 5.3'te gösterilmektedir.

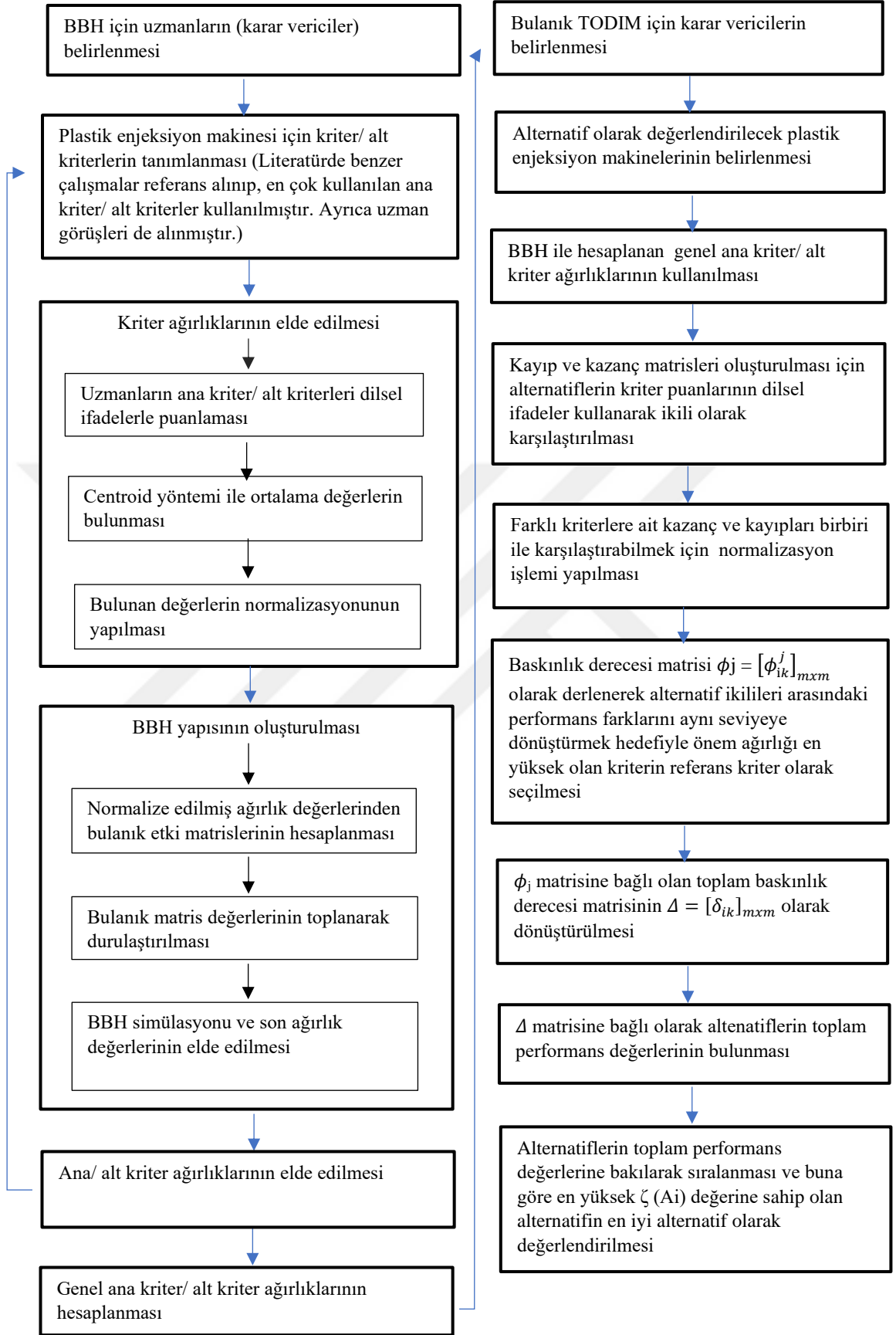
Adım 2. Makine seçim kriterlerinin puanlanması ve ağırlıklarının elde edilmesi: İlk olarak ana kriterler belirlenen üç KV tarafından ayrı ayrı dilsel olarak değerlendirilip puanlanmıştır. Kriterleri ağırlıklandırmak amacıyla Tablo 5.2'de gösterilen dilsel değişkenlerden yararlanılmıştır. Kriterler arasındaki ilişki derecelerini puanlamak için ise Tablo 5.3'teki değerler kullanılmıştır.

Tablo 5.1. Kriter ağırlıklarını değerlendirmek için kullanılan ifadeler

Dilsel İfade	Üçgensel Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0.00, 0.00, 0.10)
Düşük (D)	(0.00, 0.10, 0.30)
Orta Düşük (OD)	(0.10, 0.30, 0.50)
Orta (O)	(0.30, 0.50, 0.70)
Orta yüksek (OY)	(0.50, 0.70, 0.90)
Yüksek (Y)	(0.70, 0.90, 1.00)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.90, 1.00, 1.00)

Tablo 5.2. Kriter ağırlıkları arasındaki ilişki dereceleri için kullanılan ifadeler

Dilsel İfade	Üçgensel Bulanık Sayılar
Çok Çok Düşük (ÇÇD)	(0.00, 0.10, 0.20)
Çok Düşük (ÇD)	(0.10, 0.20, 0.35)
Düşük (D)	(0.20, 0.35, 0.50)
Orta (O)	(0.35, 0.50, 0.65)
Yüksek (Y)	(0.50, 0.65, 0.80)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.65, 0.80, 0.90)
Çok Çok Yüksek (ÇÇY)	(0.80, 0.90, 1.00)



Şekil 5.1. Modelin adımları

Tablo 5.3. Makine seçim kriterleri ve tanımları

Ana Kriter	Kod	Tanım	Alt Kriter	Kod	Tanım
Maliyet	K1	Bir makinenin alınabilmesi ve işletmede çalışır durumda olabilmesi için tüketilen bütün üretim etmenleridir.	Satın alma maliyeti	K1A	Makine temini sırasında, sadece makine ve makine ekipmanları için bir kere ödenen ücrettir.
			Yedek parça maliyeti	K1B	Makinenin mekanik ve elektronik yedek parça temini için harcanan maliyettir.
			Kurulum ve işletme maliyeti	K1C	Makinenin çalışır duruma geçebilmesi için gereken ve makine çalışır durumda iken meydana gelen ve gelebilecek bütün gider maliyetleridir (Enerji, su, yağ, işçilik vb.).
			Bakım maliyeti	K1D	Makinenin çalışır durumda tutulması ve çalışır duruma getirilmesi için ödenen ücretlerin tümüdür. Makinenin periyodik bakımı ve arıza durumunda yapılan tüm işlemlerin maliyetlerini içerir.
Operasyonel Kolaylık/Esneklik	K2	Makineye otomotiv sektörünün gerekliliği olan esnek üretim sistemlerinin adapte edilebilmesidir.	Hızlı kalıp değişimi	K2A	Üretim esnasında farklı boyuttaki, şekildeki parça vb. gibi ürünlerin üretimi için gerekli kalıp değişiminin kısa sürede yapılabilmesidir.
			Paralel hareket	K2B	Makinenin normalde sıra ile yaptığı proses adımlarını eş zamanlı yaparak zamandan tasarruf sağlanması. Örneğin: Kalıp açma esnasında mal alma.
			Akıllı proses yönetimi	K2C	Prosesin makinedeki yazılım üzerinden izlenmesi ve parametrelerin nominal dışına çıktığında ürünün otomatik olarak hurda edilmesi ve parametrenin tekrar uygun hale getirilmesi.
Güvenilirlik	K3	Makine tedarikçisinin, piyasadaki diğer firmalar tarafından da tercih edilmesi, dünyada meydana gelen teknolojik gelişmeleri dikkate alarak belli standartlara sahip ürünler üretebilmesi ve iyi hizmet sunabilmesidir.	CE belgesi olması	K3A	Makinenin Avrupa ürün mevzuatlarına uygunluğunu ve temel gerekliliklere uygun olduğunu gösteren CE belgesini bulunmasıdır.
			Tedarikçinin teknik destek ve servis uygulamaları	K3B	Makinenin tedarikçisinin teknik servisinin ve uygulamalarının kalitesi ve verimliliğidir. Problem çözme yaklaşımı ve bilgi paylaşımı açısından iyi olması, hızlı müdahale, doğru ve etkin çözümler vb.
			Tedarikçinin global ürünler üretebilmesi	K3C	Tedarikçi firmanın tüm dünyada geçerliliği olan, teknolojik gelişmelerin doğrultusunda ve yenilikçi ürünler üretebilmesidir.

Tablo 5.3.(Devam) Makine seçim kriterleri ve tanımları

Güvenlik	K4	Makinenin bulundurduğu özellikler kaynaklı üretim sırasında operatöre ve çevresine zarar verme riskinin az olması faktörüdür.	CE belgesi olması	K4A	Makinenin Avrupa ürün mevzuatlarına uygunluğunu ve temel gerekliliklere uygun olduğunu gösteren CE belgesini bulunmasıdır.
			İş güvenliği önlemlerinin makinede standart olarak bulunması	K4B	İş güvenliği önlemlerinin makinede bulunmasıdır. Sensör ve benzer algılayıcıların bulunması, operatöre zarar verebilecek ekipmanların açıkta bulunmaması kapakların olması vb. gibi.
Satış Sonrası Servis	K5	Makinenin satış sonrası çalışır durumda tutulması, düzgün çalışması ve uzun ömürlü olması için tedarikçinin sağladığı teknik servis, yedek parça temini vb. işlemlerinin tümüdür.	Teknik servis müdahale süresi ve kabiliyeti	K5A	Makinenin tedarikçisinin teknik servisinin ve uygulamalarının kalitesi, verimliliği ve müdahale süresidir. Problem çözme yaklaşımı ve bilgi paylaşımı açısından iyi olması, hızlı müdahale, doğru ve etkin çözümler vb.
			Yedek parça sağlayabilme ve tedarik süresi	K5B	Teknik servisin hızlıca bozulan veya değişmesi gereken parçanın teminini kısa sürede gerçekleştirmesidir.
Teknik Özellikler	K6	Makinenin teknik donanım ve özelliklerinin bütünüdür.	Vida Hacmi	K6A	Üretilecek ürüne uygun vida hacmi değeridir.
			Hammadde Çeşidi	K6B	Üretilecek ürün için kullanılan hammaddenin çeşididir.
			Hassasiyet	K6C	Makinenin doğru ürün üretebilme kabiliyetidir.
			Makine Boyutları	K6D	Makinenin toplam kaplayacağı alan. Kurulum alanı açısından kritiktir.
			Kilitleme kuvveti	K6E	Üretilecek ürünün kalıbı için gerekli olan kapama kuvvetidir.
			Hammadde sayısı (çok renkli/tek renkli)	K6F	Üretilecek ürünün içerdiği renk sayısıdır.
Kalite	K7	Makinenin gereksinim ve beklentileri gerçekleştirme derecesidir.	Kullanılan makine elemanlarının kalitesi	K7A	Makine elemanlarının, mevcut makinelerde kullanılan makine eleman kalitesine ve arıza kayıtlarına göre kıyaslanmasıdır.
			Makine arıza sayıları ve süreleri	K7B	Makine model ve markasına göre mevcut makinelerin arıza sayılarına ve sürelerine göre değerlendirilmesidir.

Tablo 5.3.(Devam) Makine seçim kriterleri ve tanımları

Performans	K8	Mevcut makinelerin performans değerlerine göre tedarikçi değerlendirilmesidir.			
Verimlilik	K9	Üretim prosesinde bulunan unsurların birbirleri ile karşılıklı etkileşimiyle ortaya çıkan ürün ile arasındaki ilişkiyi ve oranı ifade eder.	Makine kaynaklı fire oranlarının değerlendirilmesi	K9A	Makinede meydana gelebilecek fire oranlarının, mevcut makinelerde meydana gelen fire miktarlarına bakılarak değerlendirilmesidir.
			Plansız duruş süresi değerlendirme	K9B	Makinenin, mevcut makinelerdeki planlı duruşlar dışında meydana gelebilen montaj, arıza vb. durumlarda olan duruşların sürelerine göre değerlendirilmesidir.
Kurulum Süresi	K10	Makinenin kurulumun ve farklı nedenlerden meydana gelen planlı veya plansız duruşlardan sonra devreye alınımın kolay ve kısa sürede olması, teknik desteğin kısa sürede alınabilmesidir.	Mevcut planda kurulabilme	K10A	Makine kurulumunun kurulum öncesinde planlanan sürede ve işletmeye en uygun şekilde kurulabilmesi özelliğidir.
			Devreye alınabilme ve teknik destek	K10B	Makinenin kurulum, arıza ve montaj vb. planlı ve plansız duruşlardan sonra kolay ve kısa sürede devreye alınabilmesi ve herhangi bir problem oluşması durumunda teknik servis desteğinin kısa sürede alınabilmesidir.
Endüstriyel Tercih	K11	Makinenin tedarikçisinin marka imajının endüstride bulunan diğer kullanıcılar üzerindeki etkisidir.			
Kullanım Alanı/Hacmi	K12	Makinenin işletmede yerleşiminin yapılacağı lokasyondaki zemin alanı ve diğer ekipmanları ile kapladığı maksimum hacimdir.	Zemin alanı gerekliliği	K12A	Makinenin işletme içerisinde kapladığı zemin alanıdır.
			Max. Makine boyutu	K12B	Makinenin işletme içerisinde gerekli ekipmanlarla birlikte kaplayabileceği maksimum alandır.
Garanti Süresi	K13	Makine garanti kapsam ve süresidir (Tercihen 24 ay).			
Arıza Sayısı/Süresi	K14	Makinede meydana gelebilecek arıza sayısı ve arızanın süresidir. Makine kaynaklı hedef "0" dır.			

Ana kriterlerin KV'ler tarafından dilsel olarak değerlendirme puanları Tablo 5.4'te sunulmaktadır.

Tablo 5.4. Ana kriterlerin göreceli dilsel önem ağırlıkları

Ana kriter	KV ₁	KV ₂	KV ₃
K1	ÇY	Y	ÇY
K2	O	Y	Y
K3	Y	OY	Y
K4	Y	ÇY	ÇY
K5	Y	Y	Y
K6	ÇY	Y	ÇY
K7	Y	Y	ÇY
K8	Y	Y	Y
K9	Y	ÇY	ÇY
K10	O	O	O
K11	O	O	O
K12	O	OY	OY
K13	O	OY	OY
K14	Y	ÇY	ÇY

Ana kriterler için KV'ler tarafından dilsel olarak verilen değerlendirme puanlarının ÜBS karşılıkları, ÜBS değerlerinin aritmetik ortalamasının alınması sonucunda hesaplanan toplam ağırlıkları, Eşitlik (3.2) kullanılarak hesaplanan (BNP değerleri) durulaştırılmış ağırlıklar ve Eşitlik (3.3) kullanılarak hesaplanan normalize ağırlıklar Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Ana kriterlerin göreceli ÜBS önem ağırlıkları, ortalama ağırlıklar, durulaştırılmış ağırlıklar ve normalize ağırlıklar

Ana kriter	KV ₁	KV ₂	KV ₃	Toplam Ağırlıklar	Durulaştırılmış Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
K1	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,084
K2	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.56, 0.77, 0.90)	0,743	0,067
K3	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.63, 0.83, 0.97)	0,81	0,073
K4	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,084
K5	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	0,867	0,078
K6	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,084
K7	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.77, 0.93, 1.00)	0,9	0,081
K8	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	0,867	0,078
K9	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,084
K10	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	0,5	0,045
K11	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	0,5	0,045
K12	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.43, 0.63, 0.83)	0,63	0,057
K13	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.43, 0.63, 0.83)	0,63	0,057
K14	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,084

Örnek olarak K1 kodlu ana kriterin ortalama ağırlığı (0.83, 0.97, 1.00) değeri Eşitlik (5.1)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{[(0,90,1,00,1,00)+(0,70,0,90,1,00)+(0,90,1,00,1,00)]}{3} = (0,83, 0,97, 1,00) \quad (5.1)$$

Örnek olarak K1 kodlu ana kriterin durulaştırılmış toplam ağırlığı 0,993 değeri Eşitlik (5.2)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$0,83 + \frac{[(0,97-0,83)+(1,00-0,83)]}{3} = 0,933 \quad (5.2)$$

Örnek olarak K1 kodlu ana kriterin normalize ağırlığı 0,084 değeri ise Eşitlik (5.3)'teki gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{0,933}{0,933+0,743+0,81+0,933+0,867+0,933+0,9+0,867+0,933+0,5+0,5+0,63+0,63+0,933} = 0,084 \quad (5.3)$$

Daha sonra, ana kriterlerin her biri arasındaki dilsel bağımlılık derecelerinin KV'ler tarafından değerlendirme puanları Tablo 5.6 - 5.8'de sunulmaktadır.

Tablo 5.6. KV₁'den elde edilen ana kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV ₁ için	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	-	Y	Y	D	O	ÇY	Y	Y	Y	ÇD	O	Y	O	-
K2	Y	-	-	-	-	O	-	-	Y	-	O	O	-	-
K3	Y	-	-	-	Y	-	ÇY	Y	O	-	-	-	Y	Y
K4	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K5	O	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K6	ÇY	O	-	-	-	-	O	O	O	-	-	-	-	-
K7	Y	-	ÇY	-	-	O	-	-	O	-	O	-	Y	Y
K8	Y	-	Y	-	-	O	-	-	Y	-	-	-	-	Y
K9	Y	Y	O	-	-	O	O	Y	-	-	-	-	-	Y
K10	ÇD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K11	O	O	-	-	-	-	O	-	-	-	-	-	-	-
K12	Y	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K13	O	-	Y	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	Y
K14	-	-	Y	-	-	-	Y	Y	Y	-	-	-	Y	-

Tablo 5.7. KV₂'den elde edilen ana kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV ₂ için	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	-	ÇD	ÇY	Y	Y	ÇÇY	ÇÇY	ÇY	ÇY	D	ÇÇY	O	ÇD	ÇY
K2	-	-	-	O	ÇY	ÇY	-	O	Y	D	Y	ÇY	-	ÇY
K3	ÇY	-	-	Y	ÇY	ÇY	ÇY	Y	D	-	ÇY	-	-	ÇY
K4	Y	-	ÇÇY	-	O	Y	Y	ÇD	-	ÇÇD	Y	D	ÇÇY	D
K5	Y	Y	ÇÇY	O	-	-	Y	ÇD	Y	-	ÇY	-	Y	ÇY
K6	Y	ÇY	ÇY	O	-	-	ÇY	ÇÇY	ÇY	Y	ÇY	Y	O	ÇÇY
K7	ÇY	O	Y	Y	O	ÇY	-	ÇY	ÇY	D	ÇY	ÇÇD	Y	ÇÇY
K8	Y	Y	Y	O	-	ÇÇY	ÇY	-	ÇÇY	Y	ÇY	D	-	ÇY
K9	Y	ÇY	-	-	O	ÇY	Y	ÇY	-	Y	ÇY	Y	-	ÇÇY
K10	D	ÇY	-	-	Y	O	D	ÇD	O	-	Y	O	-	-
K11	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	-	Y	ÇY	ÇÇY
K12	ÇÇK	ÇY	-	O	-	ÇÇY	ÇD	ÇD	Y	Y	Y	-	-	-
K13	ÇD	Y	ÇY	-	ÇY	-	O	-	D	ÇÇD	Y	-	-	-
K14	Y	-	ÇY	O	Y	ÇÇY	ÇY	Y	ÇY	-	Y	-	-	-

Tablo 5.8. KV₃'ten elde edilen ana kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV ₃ için	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	-	ÇD	ÇY	Y	Y	ÇÇY	ÇÇY	ÇY	ÇY	D	ÇÇY	O	ÇD	-
K2	-	-	-	O	ÇY	ÇY	-	O	Y	D	Y	ÇY	-	-
K3	ÇY	-	-	Y	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	D	-	ÇY	-	-	Y
K4	Y	-	-	-	O	Y	Y	ÇD	-	ÇÇD	Y	D	ÇÇY	-
K5	Y	Y	Y	O	-	-	Y	D	Y	-	ÇY	-	Y	ÇY
K6	Y	ÇY	-	O	-	-	ÇY	ÇÇY	ÇY	Y	O	Y	O	O
K7	ÇY	O	ÇY	Y	O	ÇY	-	ÇY	Y	D	ÇY	ÇÇD	Y	ÇÇY
K8	Y	Y	Y	O	-	ÇY	ÇY	-	ÇY	Y	O	D	-	ÇY
K9	Y	ÇY	O	-	O	ÇY	O	ÇY	-	Y	-	Y	-	ÇÇY
K10	D	ÇY	-	-	Y	O	D	ÇD	O	-	O	O	-	-
K11	Y	Y	-	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	-	Y	ÇY	ÇÇY
K12	ÇÇK	ÇY	-	O	-	ÇÇY	ÇÇD	ÇD	Y	Y	Y	-	-	-
K13	ÇD	Y	Y	-	ÇY	-	O	-	D	ÇÇD	Y	-	-	-
K14	Y	-	Y	O	Y	ÇÇY	ÇY	ÇY	ÇY	-	Y	-	-	-

Tablo 5.9. Ana kriterler arasındaki bulanık toplam bağımlılık dereceleri

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.23, 0.35, 0.50)	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.40, 0.55, 0.70)	(0.45, 0.60, 0.75)
K2	(0.17, 0.22, 0.27)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.43, 0.53, 0.60)
K3	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.60, 0.75, 0.87)
K4	(0.40, 0.55, 0.70)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.27, 0.30, 0.33)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.23, 0.33, 0.43)
K5	(0.45, 0.60, 0.75)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.60, 0.73, 0.87)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.00, 0.00, 0.00)
K6	(0.55, 0.70, 0.83)	(0.55, 0.70, 0.83)	(0.22, 0.27, 0.30)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.00, 0.00, 0.00)
K7	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.23, 0.33, 0.43)
K8	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.00, 0.00, 0.00)
K9	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.23, 0.33, 0.43)
K10	(0.17, 0.30, 0.45)	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.33, 0.43, 0.53)
K11	(0.45, 0.60, 0.75)	(0.45, 0.60, 0.75)	(0.22, 0.27, 0.30)	(0.38, 0.48, 0.57)	(0.43, 0.53, 0.60)
K12	(0.17, 0.28, 0.40)	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.00, 0.00, 0.00)
K13	(0.18, 0.30, 0.45)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.55, 0.70, 0.83)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.43, 0.53, 0.60)
K14	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.55, 0.70, 0.83)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.33, 0.43, 0.53)

Tablo 5.9’da, Tablo 5.6-5.8’de bulunan KV’lerin ana kriterler arasındaki bağımlılık derecelerinin ÜBS karşılık değerlerinin Eşitlik (3.1) kullanılarak aritmetik ortalamasının alınması sonucunda hesaplanan bulanık kriter ağırlıkları gösterilmiştir.

Tablo 5.9.(Devam) Ana kriterler arasındaki bulanık toplam bağımlılık dereceleri

	K6	K7	K8	K9	K10
K1	(0.75, 0.87, 0.97)	(0.70, 0.82, 0.93)	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.17, 0.3, 0.45)
K2	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.13, 0.23, 0.33)
K3	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.55, 0.70, 0.83)	(0.25, 0.40, 0.55)	(0.00, 0.00, 0.00)
K4	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.07, 0.13, 0.23)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.07, 0.13, 0.23)
K5	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.10, 0.18, 0.28)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.00, 0.00, 0.00)
K6	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.65, 0.77, 0.88)	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.33, 0.43, 0.53)
K7	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.50, 0.65, 0.78)	(0.13, 0.23, 0.33)
K8	(0.60, 0.73, 0.85)	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.65, 0.78, 0.9)	(0.33, 0.43, 0.53)
K9	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.40, 0.55, 0.70)	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.33, 0.43, 0.53)
K10	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.13, 0.23, 0.33)	(0.07, 0.13, 0.23)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.00, 0.00, 0.00)
K11	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.33, 0.43, 0.53)
K12	(0.53, 0.60, 0.67)	(0.07, 0.10, 0.18)	(0.07, 0.13, 0.23)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.33, 0.43, 0.53)
K13	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.40, 0.55, 0.70)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.13, 0.23, 0.33)	(0.00, 0.07, 0.13)
K14	(0.53, 0.60, 0.67)	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.55, 0.70, 0.83)	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.00, 0.00, 0.00)

Tablo 5.9.(Devam) Ana kriterler arasındaki bulanık toplam bağımlılık dereceleri

	K11	K12	K13	K14
K1	(0.65, 0.77, 0.88)	(0.40, 0.55, 0.70)	(0.18, 0.30, 0.45)	(0.22, 0.27, 0.30)
K2	(0.45, 0.60, 0.75)	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.22, 0.27, 0.30)
K3	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.17, 0.22, 0.27)	(0.55, 0.70, 0.83)
K4	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.13, 0.23, 0.33)	(0.53, 0.60, 0.67)	(0.07, 0.12, 0.17)
K5	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.43, 0.53, 0.60)
K6	(0.33, 0.43, 0.52)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.38, 0.47, 0.55)
K7	(0.55, 0.70, 0.82)	(0.00, 0.07, 0.13)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.70, 0.82, 0.93)
K8	(0.33, 0.43, 0.52)	(0.13, 0.23, 0.33)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.60, 0.75, 0.87)
K9	(0.22, 0.27, 0.30)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.70, 0.82, 0.93)
K10	(0.28, 0.38, 0.48)	(0.23, 0.33, 0.43)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K11	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.43, 0.53, 0.60)	(0.53, 0.60, 0.67)
K12	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K13	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.17, 0.22, 0.27)
K14	(0.33, 0.43, 0.53)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.17, 0.22, 0.27)	(0.00, 0.00, 0.00)

Tablo 5.5'te verilen normalize ağırlıkların altında yatan varsayım, ana kriterlerin birbirinden bağımsız olmasıdır. Ancak, kriterlerin uzun vadede birbirini etkilediği durumda bu varsayım geçerli değildir. Uzun vadeli etkileri yakalayabilmek için normalize ağırlıklar, Eşitlik (3.4)'de ifade edildiği gibi BBH'lerdeki kavramların başlangıç değerleri olarak kabul edilmektedir [113].

$$\begin{bmatrix} C_{MAK1}^{t=0} \\ C_{MAK2}^{t=0} \\ \vdots \\ C_{MAK8}^{t=0} \\ \vdots \\ C_{MAK14}^{t=0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,084 \\ 0,067 \\ \vdots \\ 0,078 \\ \vdots \\ 0,084 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

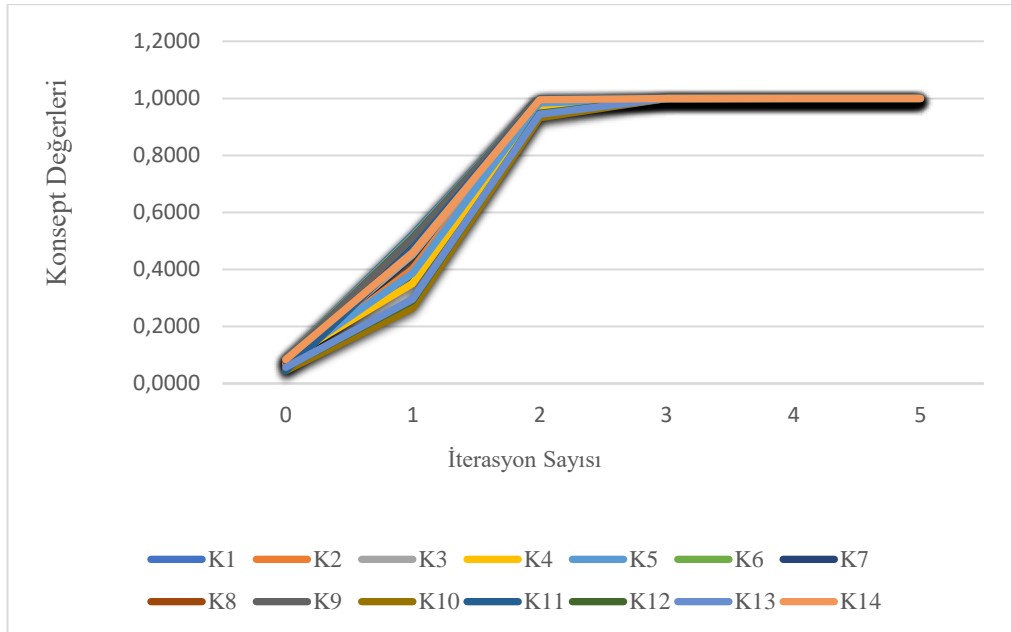
Tablo 5.10. Ana kriterler arasındaki bulanık olmayan toplam bağımlılık dereceleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	0,000	0,360	0,740	0,550	0,600	0,863	0,817	0,740	0,740	0,307	0,767	0,550	0,310	0,263
K2	0,220	0,000	0,000	0,330	0,520	0,690	0,000	0,330	0,650	0,230	0,600	0,690	0,000	0,263
K3	0,740	0,000	0,000	0,430	0,740	0,520	0,783	0,693	0,400	0,000	0,520	0,000	0,220	0,693
K4	0,550	0,000	0,300	0,000	0,330	0,430	0,430	0,143	0,000	0,143	0,430	0,230	0,600	0,120
K5	0,600	0,430	0,733	0,330	0,000	0,000	0,430	0,187	0,430	0,000	0,520	0,000	0,430	0,520
K6	0,693	0,693	0,263	0,330	0,000	0,000	0,690	0,767	0,690	0,430	0,427	0,430	0,330	0,467
K7	0,740	0,330	0,740	0,430	0,330	0,690	0,000	0,520	0,643	0,230	0,690	0,070	0,650	0,817
K8	0,650	0,430	0,650	0,330	0,000	0,727	0,520	0,000	0,776	0,430	0,427	0,230	0,000	0,740
K9	0,650	0,740	0,330	0,000	0,330	0,690	0,550	0,740	0,000	0,430	0,263	0,430	0,000	0,817
K10	0,307	0,520	0,000	0,000	0,430	0,330	0,230	0,143	0,330	0,000	0,380	0,330	0,000	0,000
K11	0,600	0,600	0,263	0,477	0,520	0,520	0,690	0,520	0,520	0,430	0,000	0,430	0,520	0,600
K12	0,283	0,690	0,000	0,330	0,000	0,600	0,117	0,143	0,430	0,430	0,430	0,000	0,000	0,000
K13	0,310	0,430	0,693	0,000	0,520	0,000	0,550	0,000	0,230	0,070	0,430	0,000	0,000	0,220
K14	0,430	0,000	0,693	0,330	0,430	0,600	0,740	0,693	0,740	0,000	0,430	0,000	0,220	0,000

Tablo 5.10'daki değerler, Tablo 5.9'da bulunan değerler Eşitlik (3.2) kullanılarak durulaştırılarak 14x14'lük bir toplu net etki matrisi \tilde{e}_{ji}^{MA} elde edilir.

Aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu seçilmiştir. Ana kriterlerin dinamik davranışını BBH simülasyonu ile yakalamak için Eşitlik (3.6) kullanılmıştır. Tablo 4.11 ana kriterlerin simülasyon sırasındaki konsept değerlerini göstermektedir. Ana kriterlerin dinamik davranışı Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Beş iterasyondan sonra kararlı durum konsept değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Kararlı durum konsept değerleri, ana kriterlerin son ağırlıklarına ulaşmak için Eşitlik (3.7) kullanılarak normalize edilmiştir. Ana kriterlerin son ağırlıkları Tablo 5.11'in son satırında verilmiştir. Normalize ağırlıklar, karşılıklı ilişkiler dikkate alınarak son ana kriter ağırlıkları olarak kabul edilir. Son ana kriter ağırlıkları Eşitlik (5.5)'teki gibidir:

$$I_{MA} = \begin{matrix} \text{Hedef} \\ \begin{bmatrix} 0,0714 \\ 0,0714 \\ \vdots \\ 0,0714 \\ \vdots \\ 0,0714 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.5)$$



Şekil 5.2. Ana kriterlerin dinamik davranışı

Tablo 5.11. Her iterasyon için ana kriterlerin konsept değerleri ve son ana kriter ağırlıklar

İte. No.	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
0	0,084	0,067	0,073	0,084	0,078	0,084	0,081	0,078	0,084	0,045	0,045	0,057	0,057	0,084
1	0,522	0,401	0,452	0,350	0,386	0,515	0,510	0,465	0,508	0,264	0,472	0,290	0,296	0,459
2	0,998	0,989	0,993	0,971	0,984	0,998	0,998	0,996	0,998	0,932	0,996	0,948	0,945	0,995
3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
4	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Son Ağır.	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071

Ana kriterler için yapılan tüm puanlama ve hesaplamalar ana kriterlerin içerisinde yer alan tüm alt kriterler için gerçekleştirilmiştir (Alt kriterlerin görel dilsel önem ağırlıkları ve görel ÜBS önem ağırlıkları, aritmetik ortalamasının alınması sonucunda hesaplanan bulanık toplam ağırlıklar, durulaştırılmış ağırlıklar, normalize ağırlıklar, KV'lerden elde edilen alt kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri, alt kriterler arasındaki bulanık toplam bağımlılık dereceleri ve son olarak alt kriterler arasındaki bulanık olmayan toplam bağımlılık dereceleri Ek-A kısmında verilmiştir). Sonrasında elde edilen alt kriter ağırlıkları BBH simülasyonu yapılarak güncellenmiştir (Her iterasyon için alt kriterlerin konsept değerleri ve son alt kriter ağırlıkları Ek-B kısmında verilmiştir). Böylece, alt kriterlerin son kararlı durum ağırlıkları elde edilmiştir. Son kararlı alt kriter ağırlıkları Eşitlik (3.13)'teki gibi hesaplanır.

Adım 3. Genel kriter ağırlıklarının elde edilmesi: Son olarak, tüm ana kriter ve alt kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonraki adım olan toplam kriter ağırlıklarının hesaplanması Eşitlik (3.14)-(3.17)'deki işlemler gerçekleştirilerek yapıp sonucunda Tablo 5.12'deki genel öncelik değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5.12. Makine seçimi için belirlenen ana kriter ve alt kriterlerin genel öncelikleri

Ana Kriter	Kod	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriter	Kod	Alt Kriter Ağırlıkları	Genel Ağırlıklar
Maliyet	K1	0,071	Satın alma maliyeti	K1A	0,248	0,018
			Yedek parça maliyeti	K1B	0,252	0,018
			Kurulum ve işletme maliyeti	K1C	0,252	0,018
			Bakım maliyeti	K1D	0,249	0,018
Operasyonel Kolaylık/Esneklik	K2	0,071	Hızlı kalıp değişimi	K2A	0,293	0,021
			Paralel hareket	K2B	0,353	0,025
			Akıllı proses yönetimi	K2C	0,353	0,025
Güvenilirlik	K3	0,071	CE belgesi olması	K3A	0,334	0,024
			Tedarikçinin teknik destek ve servis uygulamaları	K3B	0,330	0,024
			Tedarikçinin global ürünler üretebilmesi	K3C	0,335	0,024
			CE belgesi olması	K4A	0,500	0,036
Güvenlik	K4	0,071	İş güvenliği önlemlerinin makinede standart olarak bulunması	K4B	0,500	0,036
Satış Sonrası Servis	K5	0,071	Teknik servis müdahale süresi ve kabiliyeti	K5A	0,496	0,035
			Yedek parça sağlayabilme ve tedarik süresi	K5B	0,504	0,036
Teknik Özellikler	K6	0,071	Vida Hacmi	K6A	0,175	0,012
			Hammadde Çeşidi	K6B	0,158	0,011
			Hassasiyet	K6C	0,158	0,011
			Makine Boyutları	K6D	0,172	0,012
			Kilitleme kuvveti	K6E	0,167	0,012
			Hammadde sayısı (çok renkli/tek renkli)	K6F	0,170	0,012
Kalite	K7	0,071	Kullanılan makine elemanlarının kalitesi	K7A	0,500	0,036
			Makine arıza sayıları ve süreleri	K7B	0,500	0,036
Performans Verimlilik	K8	0,071		K8		
	K9	0,071	Makine kaynaklı fire oranlarının değerlendirilmesi	K9A	0,500	0,036
Kurulum Süresi	K10	0,071	Plansız duruş süresi değerlendirme	K9B	0,500	0,036
			Mevcut planda kurulabilme	K10A	0,500	0,036
			Devreye alınabilme ve teknik destek	K10B	0,500	0,036
Endüstriyel Tercih	K11	0,071		K11		
Kullanım Alanı/Hacmi	K12	0,071	Zemin alanı gerekliliği	K12A	0,500	0,036
			Max. Makine boyutu	K12B	0,500	0,036
Garanti Süresi	K13	0,071				
Arıza Sayısı/Süresi	K14	0,071				

5.3. Bulanık TODIM Yönteminin Uygulanması

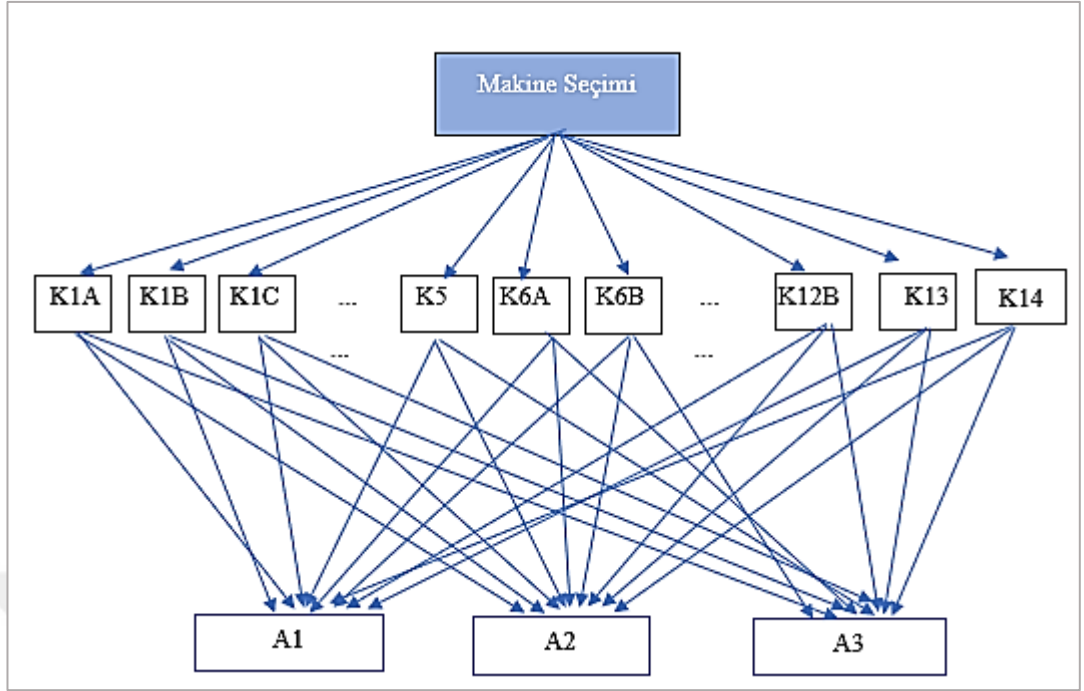
Burada çalışmanın üçüncü bölümünde anlatılan BTODIM yönteminin çözüm adımları izlenerek en uygun makinenin seçimi yapılmıştır.

Adım 1. Makine seçim kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması: 4.1 bölümünde, BTODIM uygulaması ile makine seçimini de gerçekleştirecek olan KV'ler ve yine makine seçiminde kullanılacak olan kriterler belirlenmiş ve

ağırlıklandırılması yapılmıştır. Uygulamada ana kriter ve alt kriterler tek seviyede alınıp, otuz iki tane kriter için değerlendirme yapılmıştır. Kriterler Tablo 5.13'te sunulmaktadır. Belirlenen üç kişilik grup daha önceden de makine alımı için tercih edilen üç firmayı karar alternatifleri olarak değerlendirmeye karar vermiştir. Bu alternatif firmalar Haitian, Engel ve Krauss Maffei'dir. Buna göre ele alınan makine seçim probleminin hiyerarşik yapısı Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Şekil 5.3'teki A1 Haitian, A2 Engel, A3 Krauss Maffei firmalarının plastik enjeksiyon makinelerini göstermektedir.

Tablo 5.13. Kriterler ve kriter kodları

Kriterler	Kod
Satın alma maliyeti	K1A
Yedek parça maliyeti	K1B
Kurulum ve işletme maliyeti	K1C
Bakım maliyeti	K1D
Hızlı kalıp değişimi	K2A
Paralel hareket	K2B
Akıllı proses yönetimi	K2C
CE belgesi olması	K3A
Tedarikçinin teknik destek ve servis uygulamaları	K3B
Tedarikçinin global ürünler üretebilmesi	K3C
CE belgesi olması	K4A
İş güvenliği önlemlerinin makinede standart olarak bulunması	K4B
Teknik servis müdahale süresi ve kabiliyeti	K5A
Yedek parça sağlayabilme ve tedarik süresi	K5B
Vida Hacmi	K6A
Hammadde Çeşidi	K6B
Hassasiyet	K6C
Makine Boyutları	K6D
Kilitleme kuvveti	K6E
Hammadde sayısı (çok renkli/tek renkli)	K6F
Kullanılan makine elemanlarının kalitesi	K7A
Makine arıza sayıları ve süreleri	K7B
Performans	K8
Makine kaynaklı fire oranlarının değerlendirilmesi	K9A
Plansız duruş süresi değerlendirme	K9B
Mevcut planda kurulabilme	K10A
Devreye alınabilme ve teknik destek	K10B
Endüstriyel Tercih	K11
Zemin alanı gerekliliği	K12A
Max. Makine boyutu	K12B
Garanti Süresi	K13
Arıza Sayısı/Süresi	K14



Şekil 5.3. Karar probleminin hiyerarşik yapısı

Adım 2. Alternatifler için kayıp ve kazanç matrislerinin oluşturulması: Kriterlere ait ağırlıkların belirlenmesinin ardından makine alternatiflerine ait bulanık karar matrisi oluşturulmaktadır. Alternatiflerin değerlendirilmesi için Tablo 5.14'deki dilsel ifadeler kullanılmıştır. Üç KV'nin söz konusu otuz iki kritere göre yaptığı dilsel performans değerlendirmeleri Tablo 5.15'de gösterilmiştir. Bulanık karar matrisi, makine alternatiflerinin KV'ler tarafından değerlendirilmesi sonucunda ortalama alınarak elde edilen matristir. Tablo 5.16'da bulanık karar matrisi gösterilmiştir.

Tablo 5.14. Alternatifleri değerlendirmek için kullanılan ifadeler

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0.00, 1.00, 2.00)
Kötü (K)	(1.00, 2.00, 3.00)
Orta Kötü (OK)	(2.00, 3.50, 5.00)
Orta (O)	(4.00, 5.00, 6.00)
Orta İyi (Oİ)	(5.00, 6.50, 8.00)
İyi (İ)	(7.00, 8.00, 9.00)
Çok İyi (Çİ)	(8.00, 9.00, 10.00)

Tablo 5.15. KV'lerin kriterlere göre alternatifler için yaptığı dilsel değerlendirmeler

KV ₁ için	K1A	K1B	K1C	K1D	K2A	K2B	K2C	K3A	K3B	K3C	K4A	K4B	K5A	K5B	K6A	K6B	K6C	K6D	K6E	K6F	K7A	K7B	K8	K9A	K9B	K10A	K10B	K11	K12A	K12B	K13	K14
A1	K	K	K	O	O	O	K	Çi	O	O	O	O	O	O	i	i	K	i	i	i	K	i	O	O	O	i	O	O	i	i	i	i
A2	Oİ	Oİ	i	O	O	O	O	Çi	Çi	i	Çi	i	Çi	Çi	i	i	i	i	i	i	i	O	i	i	i	i	Çi	Çi	i	i	i	O
A3	i	i	Çi	i	O	O	O	Çi	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	Çi	O	i	i	i	i	i	Çi	i	i	i	O
KV ₂ için	K1A	K1B	K1C	K1D	K2A	K2B	K2C	K3A	K3B	K3C	K4A	K4B	K5A	K5B	K6A	K6B	K6C	K6D	K6E	K6F	K7A	K7B	K8	K9A	K9B	K10A	K10B	K11	K12A	K12B	K13	K14
A1	K	K	K	O	O	O	K	Çi	K	O	O	O	O	O	i	i	O	i	i	i	K	i	i	O	O	i	O	i	i	i	i	i
A2	Oİ	Oİ	i	O	O	O	O	Çi	Çi	Çi	Çi	i	Çi	Çi	i	i	i	i	i	i	i	O	Çi	i	i	i	Çi	Çi	i	i	i	O
A3	i	i	Çi	i	O	O	O	Çi	O	i	i	Çi	Çi	Çi	i	i	i	i	i	i	Çi	O	Çi	i	i	i	i	Çi	i	i	i	O
KV ₃ için	K1A	K1B	K1C	K1D	K2A	K2B	K2C	K3A	K3B	K3C	K4A	K4B	K5A	K5B	K6A	K6B	K6C	K6D	K6E	K6F	K7A	K7B	K8	K9A	K9B	K10A	K10B	K11	K12A	K12B	K13	K14
A1	K	K	K	O	O	O	O	Çi	Oİ	O	Çi	Oİ	O	Oİ	i	i	K	i	i	i	K	i	O	O	Oİ	i	Oİ	O	i	i	i	i
A2	Oİ	Oİ	i	i	O	O	O	Çi	Çi	i	Çi	i	Çi	Çi	i	i	i	i	i	i	i	Oİ	i	i	i	i	Çi	Çi	i	i	i	O
A3	i	i	Çi	i	O	O	O	Çi	i	i	Çi	i	i	i	i	i	i	i	i	i	Çi	O	i	i	i	i	i	Çi	i	i	i	O

Tablo 5.16. Bulanık karar matrisi

A3	A2	A1	
(7.00, 8.00, 9.00)	(5.00, 6.50, 8.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	K1A
(7.00, 8.00, 9.00)	(5.00, 6.50, 8.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	K1B
(8.00, 9.00, 10.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	K1C
(7.00, 8.00, 9.00)	(5.00, 6.00, 7.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	K1D
(4.00, 5.00, 6.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	K2A
(4.00, 5.00, 6.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	K2B
(4.00, 5.00, 6.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	K2C
(8.00, 9.00, 10.00)	(8.00, 9.00, 10.00)	(8.00, 9.00, 10.00)	K3A
(6.00, 7.00, 8.00)	(8.00, 9.00, 10.00)	(3.33, 4.50, 5.67)	K3B
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.33, 8.33, 9.33)	(4.00, 5.00, 6.00)	K3C
(7.33, 8.33, 9.33)	(8.00, 9.00, 10.00)	(5.33, 6.33, 7.33)	K4A
(7.33, 8.33, 9.33)	(7.00, 8.00, 9.00)	(4.33, 5.5, 6.67)	K4B
(7.33, 8.33, 9.33)	(8.00, 9.00, 10.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	K5A
(7.33, 8.33, 9.33)	(8.00, 9.00, 10.00)	(4.33, 5.5, 6.67)	K5B
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K6A
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K6B
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	K6C
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K6D
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K6E
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K6F
(8.00, 9.00, 10.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	K7A
(4.00, 5.00, 6.00)	(4.33, 5.5, 6.67)	(7.00, 8.00, 9.00)	K7B
(7.33, 8.33, 9.33)	(7.33, 8.33, 9.33)	(5.00, 6.00, 7.00)	K8
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	K9A
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(4.33, 5.5, 6.67)	K9B
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K10A
(7.00, 8.00, 9.00)	(8.00, 9.00, 10.00)	(4.33, 5.5, 6.67)	K10B
(8.00, 9.00, 10.00)	(8.00, 9.00, 10.00)	(5.00, 6.00, 7.00)	K11
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K12A
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K12B
(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K13
(4.00, 5.00, 6.00)	(4.00, 5.00, 6.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	K14

Örnek olarak, A1-K32 hücresindeki (3.33, 4.50, 5.67) değeri Eşitlik (5.6)'daki gibi şekilde hesaplanmıştır.

$$\frac{[(4.00, 5.00, 6.00) + (1.00, 2.00, 3.00) + (5.00, 6.50, 8.00)]}{3} = (3.33, 4.50, 5.67)$$

(5.6)

Alternatifler için kazanç ve kayıp matrisleri ($G_{1A}, G_{1B}, \dots, G_{13}, G_{14}, L_{1A}, L_{1B}, \dots, L_{13}, L_{14}$) (4.3)-(4.7) numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmış, bu matrislerin ilk on tanesi aşağıda gösterildiği gibidir. Kayıp ve kazanç matrisi sayısı ayrı ayrı kriter sayısı kadardır. Yani burada otuz iki kazanç otuz iki kayıp matrisi olmak üzere altmış dört tane matris hesaplanmıştır.

$$\begin{array}{l}
 G_{1A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 4,518 & 6,000 \\ 0,000 & 0,000 & 1,555 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 G_{1B} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 4,518 & 6,000 \\ 0,000 & 0,000 & 1,555 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 G_{1C} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 6,000 & 7,000 \\ 0,000 & 0,000 & 1,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 G_{1D} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 1,000 & 3,000 \\ 0,000 & 0,000 & 2,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 G_{2A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 L_{1A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -4,518 & 0,000 & 0,000 \\ -6,000 & -1,555 & 0,000 \end{array} \\
 L_{1B} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -4,518 & 0,000 & 0,000 \\ -6,000 & -1,555 & 0,000 \end{array} \\
 L_{1C} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -6,000 & 0,000 & 0,000 \\ -7,000 & -1,000 & 0,000 \end{array} \\
 L_{1D} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -1,000 & 0,000 & 0,000 \\ -3,000 & -2,000 & 0,000 \end{array} \\
 L_{2A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array}
 \end{array}$$

Örnek olarak G_{1A} matrisinin birinci satırı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. K1A kriteri maliyet kriteri olduğu için Eşitlik (4.6) kullanılmıştır. Tablo 5.16 'daki bulanık karar matrisine göre;

$$\tilde{x}_{11} = \tilde{x}_{11} \text{ olduğu için } 0,$$

$$\tilde{x}_{11} < \tilde{x}_{21} \text{ olduğu için};$$

$$d(\tilde{x}_{11}, \tilde{x}_{21}) = \sqrt{\frac{1}{3 \times [(1,00 - 5,00)^2 + (2,00 - 6,50)^2 + (3,00 - 8,00)^2]}} = 4,518$$

$$\tilde{x}_{11} < \tilde{x}_{31} \text{ olduğu için};$$

$$d(\tilde{x}_{11}, \tilde{x}_{31}) = \sqrt{\frac{1}{3 \times [(1,00 - 7,00)^2 + (2,00 - 8,00)^2 + (3,00 - 9,00)^2]}} = 6,000$$

Adım 3. Kazanç ve kayıp matrislerinin normalize edilmesi: Kazanç ve kayıp matrisleri Eşitlik (4.8) ve (4.9) yardımıyla normalize edilmiştir. Örnek olarak bu matrislerin ilk on tanesi aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{array}{ccc}
 Y_{1A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,753 & 1,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,344 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} & & Z_{1A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -0,753 & 0,000 & 0,000 \\ -1,000 & -0,259 & 0,000 \end{array} \\
 \\
 Y_{1B} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,753 & 1,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,259 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} & & Z_{1B} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -0,753 & 0,000 & 0,000 \\ -1,000 & -0,259 & 0,000 \end{array} \\
 \\
 Y_{1C} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,857 & 1,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,143 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} & & Z_{1C} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -0,857 & 0,000 & 0,000 \\ -1,000 & -0,143 & 0,000 \end{array} \\
 \\
 Y_{1D} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,333 & 1,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,667 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} & & Z_{1D} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -0,333 & 0,000 & 0,000 \\ -1,000 & -0,667 & 0,000 \end{array} \\
 \\
 Y_{2A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} & & Z_{2A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array}
 \end{array}$$

Örnek olarak Y_{1A} matrisinin birinci satırının ikinci girdisi olan Y_{12}^{1A} Eşitlik (4.8) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$G_{1A}^{min} = 0 ; G_{1A}^{max} = 6,000 \quad Y_{12}^{1A} = \frac{4,518-0}{6,000-0} = 0,753$$

Z_{1A} matrisinin üçüncü satırının ikinci girdisi olan Z_{32}^{1A} Eşitlik (4.9) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$L_{1A}^{max} = 0 ; L_{1A}^{min} = -6,000 \quad Z_{32}^{1A} = \frac{-1,555-0}{0-(-6,000)} = -0,259$$

Adım 4. Kriterlere göre baskınlık derecesi matrislerinin hesaplanması : Kriterlere göre baskınlık derecesi matrisleri $\phi_j = [\phi_{ik}^j]_{m \times m}$ Eşitlik (4.10)-(4.13) numaralı denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Otuz iki kriterden en yüksek önem ağırlığına sahip olan

K8 (Performans), K11 (Endüstriyel Tercih), K13 (Garanti Süresi) ve K14 (Arıza Sayısı/Süresi) kriterleri ($w=0,071$) referans kriteri olarak alınmıştır. Buna göre Eşitlik (4.11) ile hesaplanan kazanç $\phi_{ik}^{j(+)}$ baskınlık dereceleri ve Eşitlik (4.12) yardımıyla hesaplanan kayıp baskınlık dereceleri $\phi_{ik}^{j(-)}$ aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{array}{l} \phi^{1A(+)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,115 & 0,133 \\ 0,000 & 0,000 & 0,078 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \quad \phi^{1A(-)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -6,520 & 0,000 & 0,000 \\ -7,520 & -3,830 & 0,000 \end{array} \\ \\ \phi^{1B(+)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,116 & 0,134 \\ 0,000 & 0,000 & 0,068 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \quad \phi^{1B(-)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -6,470 & 0,000 & 0,000 \\ -7,460 & -3,800 & 0,000 \end{array} \\ \\ \phi^{1C(+)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,124 & 0,134 \\ 0,000 & 0,000 & 0,051 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \quad \phi^{1C(-)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -6,910 & 0,000 & 0,000 \\ -7,460 & -2,820 & 0,000 \end{array} \\ \\ \phi^{1D(+)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,077 & 0,133 \\ 0,000 & 0,000 & 0,667 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \quad \phi^{1D(-)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -4,330 & 0,000 & 0,000 \\ -7,500 & -6,120 & 0,000 \end{array} \\ \\ \phi^{2A(+)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \quad \phi^{2A(-)} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \end{array}$$

Örneğin, $\phi^{1B(+)}$ kazanç matrisinin birinci satırının ikinci girdisi olan $\phi_{12}^{1B(+)}$ aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. İlk önce Eşitlik (4.10) kullanılarak;

$$w_{1Br} = w_{1B}/w_r = \frac{0,018}{0,071} = 0,252$$

Sonraki aşamada Eşitlik (4.11) kullanılarak;

$$\phi_{12}^{1B(+)} = \sqrt{0,753 \times 0,252 / (13,999)} = 0,116$$

Örneğin, $\phi^{1B(-)}$ kazanç matrisinin ikinci satırının birinci girdisi olan $\phi_{21}^{1B(-)}$ aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. İlk önce Eşitlik (4.12) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\phi_{21}^{1B(-)} = \frac{1}{1} \sqrt{-0,753 \times (13,999) / 0,252} = -6,470$$

Eşitlik (4.11)'deki θ değeri 1 alınmıştır. Böylece toplam değer üzerinde kayıpların gerçek değerleriyle etki yapması sağlanmıştır [67].

Sonra, (K1A, K1B,...,K13, K14) kriterleri için baskınlık derecesi matrisleri Eşitlik (4.13) yardımı ile hesaplanmıştır. Örnek olarak ilk on matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{array}{l}
 \phi^{1A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,115 & 0,133 \\ -6,520 & 0,000 & 0,078 \\ -7,520 & -3,830 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{1B} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,116 & 0,000 \\ -6,470 & 0,000 & 0,068 \\ -7,460 & -3,800 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{1C} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,124 & 0,134 \\ -6,910 & 0,000 & 0,051 \\ -7,460 & -2,820 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{1D} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,077 & 0,133 \\ -4,330 & 0,000 & 0,109 \\ -7,500 & -6,120 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{2A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{2B} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{2C} = \begin{array}{ccc} 0,000 & -6,290 & -6,290 \\ 0,159 & 0,000 & 0,000 \\ 0,159 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{3A} = \begin{array}{ccc} 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{3B} = \begin{array}{ccc} 0,000 & -6,510 & -5,180 \\ 0,154 & 0,000 & 0,102 \\ 0,115 & 0,000 & 0,000 \end{array} \\
 \phi^{3C} = \begin{array}{ccc} 0,000 & -6,460 & -6,140 \\ 0,155 & 0,000 & 0,049 \\ 0,147 & -2,030 & 0,000 \end{array}
 \end{array}$$

Örnek olarak ϕ^{1C} matrisinin ilk satırının ikinci girdisi ϕ_{12}^{1C} aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\phi_{12}^{1C} = \phi_{12}^{1C(+)} + \phi_{12}^{1C(-)} = 0,124 + 0 = 0,124$$

Adım 5. Toplam baskınlık derecesi matrisinin hesaplanması ϕ_j matrisine bağlı olan toplam baskınlık derecesi matrisleri Eşitlik (4.14) kullanılarak burada $\Delta = [\delta_{ik}]_{m \times m}$ olarak revize edilir. Hesaplanan matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\Delta = \begin{array}{ccc} 0,000 & -85,923 & -79,069 \\ -21,385 & 0,000 & -5,175 \\ -26,965 & -25,341 & 0,000 \end{array}$$

Örnek olarak, matrisin ikinci satırının ilk girdisi olan δ_{21} aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\delta_{21} = \phi_{21}^{1A} + \phi_{21}^{1B} + \dots + \phi_{21}^{13} + \phi_{21}^{14} = -6,523 + (-6,472) + \dots + 0 + 0,673 = (-21,385)$$

Adım 6. Alternatiflerin toplam performans değerlerinin hesaplanması: Δ matrisine bağlı olarak alternatiflerin toplam performans değerleri $\zeta(A_i)$ Eşitlik (4.15) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler aşağıda gösterilmiştir.

$$\zeta(A_1) = 0, \quad \zeta(A_2) = 1,000, \quad \zeta(A_3) = 0,814$$

Örnek olarak A2 alternatifinin toplam performans değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\zeta(A_2) = \frac{(-21,3849 + 0 -5,1754) - \min(-164.992, -26.5603, -52.306)}{\max(-164.992, -26.5603, -52.306) - \min(-164.992, -26.5603, -52.306)} = 1,000$$

Adım 7. Toplam skora göre alternatiflerin önem sıralaması: Elde edilen toplam performans değerlerine göre alternatiflerin performans sıralamaları $\zeta(A_2) > \zeta(A_3) > \zeta(A_1)$ şeklindedir. Buna göre işletme için en uygun alternatif A2 (Engel) alternatifidir.

Bulanık karar matrisi Tablo 5.16'da, KV'lerin kriter bazlı puanlamalarına göre genel olarak yüksek puanların A2 ve A3 alternatifine verildiği görülmüştür. Örneğin K6C kriterinin fayda kriteri olduğu biliniyor ve yapılan puanlama sonucunda A1 alternatifinin diğer iki alternatife göre düşük puanlandığı görülüyor. Yani A1 alternatifinin diğer iki alternatiften daha kötü olduğu görülmüştür. Fakat bazı kriter bazlı yapılan puanlamalarda A1 alternatifinin diğer iki alternatiften daha iyi olduğu da görülmüştür. Örnek olarak K1A kriterinin maliyet kriteri olduğu bilindiğinde A1 alternatifinin en düşük maliyete sahip olduğu ve sadece K1A kriterine göre yapılan değerlendirme için en iyi alternatif olduğu da görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; işletmelerin piyasadaki rekabet güçlerini, pazardaki yerlerini ve performanslarını etkileyen, işletmelerin verimlilikteki payı çok büyük olan bir karar problemi olan makine seçim problemi bulanık ÇKKV yöntemlerinden olan BBH ve BTODIM yöntemlerinden yararlanılarak çözülmüştür. En uygun makine seçimi, Kocaeli ilinde otomotiv sektöründe yer alan far üretimi yapan bir fabrikada uygulanmıştır. Literatürdeki son on yıl içinde makine seçimi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde BBH ve BTODIM yönetiminin entegre kullanıldığı çalışma sayısının az olması sebebiyle bu çalışmanın literatüre önemli bir katkısı olacağı düşünülmektedir.

Grafik teorisine dayalı olan BBH yöntemi kullanılarak kişilerin ilgili konu ile alakalı görüşlerini grafiklere dönüştürerek bilişsel haritalar elde edilmektedir. Bulanık mantık ile bilişsel haritalama yönteminin birlikte kullanılması bilişsel haritalama yönteminin farklı alanlara kolay entegre edilmesini sağlamıştır. Uzmanların hassas sayısal ifadeler kullanmayarak deneyim ve bilgilerini basit dilsel ifadelerle aktarması sağlanmıştır. Yöntem; modelin sayısal denklemler yerine grafiksel olarak üyelik fonksiyonları yardımıyla gösterilmesine ve model oluşturulurken günlük konuşma dilinin kullanılmasına olanak sağlar. Bu da başka araştırmacıların yöntemi daha kısa sürede ve doğru anlamasını ve yöntemin değişik alanlara uygulanabilmesini sağlamaktadır. Çalışmada BBH yöntemi kullanılarak belirlenen kriterlerin makine seçimini gerçekleştirirken hangi kriterin makine seçimine ne kadar etki sağladığının görülmesini sağlayan kriter ağırlıklarının hesaplanması için kullanılmıştır.

Riskli şartlar altında karar vermeye imkan tanıyan bilimsel bir yöntem olan TODIM yönteminin değer fonksiyonunun yapısı ise beklenti teorisinde bulunan kayıp ve kazanç fonksiyonuyla benzerdir. Bu özelliği sayesinde KV'lerin kayıplara daha duyarlı olmasına imkan tanır. Ayrıca KV'lerin düşüncelerini dikkate alan ve grup çalışmasına izin veren bir yöntemdir. TODIM yönteminde AHP veya başka ÇKKV yöntemlerindeki kısıtlı kriter ve alternatif sayısı olma özelliği bulunmamaktadır. Bu sayede KV'ler ilgili problemde bulunan kriter veya alternatiflere ekleme yaparak aynı

problemi tekrar çözebilir ve kolay bir şekilde sonuçları revize edebilirler. Çalışmada, günlük yaşamdaki belirsizlik içeren ve sözel olarak ifade edilebilen durumların olmasının karar verme sürecinin etkinliği ve doğruluğu üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak için TODIM yöntemi bulanık sayılarla genişletilerek uygulanmıştır. BTODIM yöntemi kullanılarak makine alternatifleri arasından en uygun olanının seçimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca BTODIM yöntemi yaklaşımı değerlendirme kriterleri arasındaki karşılıklı etkileşimleri hesaba katmamaktadır.

Gelecek çalışmalar için, kriter ağırlıkları hesaplanırken Bulanık DEMATEL, Bulanık EDAS, Bulanık SWARA, Choquet integral gibi farklı ÇKKV yöntemleri uygulanabilir. Ayrıca BBH'nin imkan verdiği farklı piyasa koşullarını içeren senaryolardaki kriter ağırlıklarının nasıl etkilendiği görülebilir. Bunun yanında, BTODIM yöntemi farklı ÇKKV yöntemleriyle entegre kullanılıp sonuçlar birbiri ile karşılaştırılabilir. Ya da yöntemler yamuk bulanık sayılar kullanılarak daha hassas bir ölçüm gerçekleştirilebilir. Ek olarak bu çalışmada kullanılan BTODIM ve BBH yöntemlerinin entegre kullanımı farklı karar problemlerinin çözümü için de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Luong L. H., A Decision Support System for The Selection of Computer-Integrated Manufacturing Technologies, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 1998, **14**(1), 45-53.
- [2] Kulak O., A Decision Support System for Fuzzy Multi-Attribute Selection of Material Handling Equipments, *Expert Systems with Applications*, 2005, **29**(2), 310-319.
- [3] Ayağ Z., Özdemir R. G., A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2006, **17**(2), 179-190.
- [4] Yurdakul M., Selection of Computer-Integrated Manufacturing Technologies Using a Combined Analytic Hierarchy Process and Goal Programming Model, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2004, **20**(4), 329-340.
- [5] Chu T. C., Lin Y. C., A fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, **21**(4), 284-290.
- [6] Tolun B. G., Tümtürk A., AHP ile Bütünleşik Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Makine Seçimi: Tarım Makinaları Üretim İşletmesinde Bir Uygulama, *Yönetim ve Ekonomi*, 2020, **27**(1), 21-34.
- [7] Sitorus F., Brito-Parada P. R., Equipment Selection in Mineral Processing - A Sensitivity Analysis Approach for a Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Model, *Minerals Engineering*, DOI: 10.1016/j.mineng.2020.106261.
- [8] Li H., Wang W., Fan L., Li Q., Chen X., A Novel Hybrid MCDM Model for Machine Tool Selection Using Fuzzy DEMATEL, Entropy Weighting and Later Defuzzification VIKOR, *Applied Soft Computing*, DOI:10.1016/j.asoc.2020.106207.
- [9] Özdağoğlu A., Keleş M. K., Eren F. Y., SWARA Tabanlı WSM ve CODAS Yöntemleri ile Biyokimya Hormon Cihazı Seçimi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2020, **10**(1), 371-396.
- [10] Özdağoğlu A., Yılmaz K., Keleş, M. K., Evaluation of Machine Selection Criteria with MACBETH Method in a Ginnery Factory, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2020, (37), 26-37.
- [11] Koca G., Eğilmez Ö., Makine Seçimi Probleminin Entropi Ağırlıklı TOPSIS Yöntemi İle Değerlendirilmesi: Bir Doğal Taş İşletmesi Örneği, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2020, **7**(2), 714 - 729.

- [12] Faydalı R., Erkan E. F., Makine Seçim Probleminin Bulanık VIKOR Yöntemiyle İncelenmesi, *Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi*, 2020, 3(1), 7-12.
- [13] Akın N. G., Makine Seçimi Probleminde Entropi-ROV ve CRITIC-ROV Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2019, (62), 20-39.
- [14] Dur Z., Ahp'ye Dayalı Bulanık Utastar Yaklaşımı: Malzeme Taşıma Ekipmanı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019, 10258408.
- [15] Štirbanović Z., Stanujkić D., Miljanović I., Milanović D., Application of MCDM Methods for Flotation Machine Selection, *Minerals Engineering*, DOI: 10.1016/j.mineng.2019.04.014.
- [16] Fu Y., Li M., Luo H., Huang G. Q., Industrial Robot Selection Using Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis For Group Decision Making, *Robotics and Autonomous Systems*, DOI: 10.1016/j.robot.2019.103304.
- [17] Efe B., Fuzzy Cognitive Map Based Quality Function Deployment Approach for Dishwasher Machine Selection, *Applied Soft Computing*, DOI: 10.1016/j.asoc.2019.105660.
- [18] Demircioğlu M., Coşkun İ. T., CRITIC-MOOSRA Yöntemi ve Ups Seçimi Üzerine Bir Uygulama, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2018, 27(1), 183-195.
- [19] Kayir Y., Güneş S., Demirer E., Vidaların Açılmasında Kesici Uç Seçimi İçin Bir Uzman Sistem, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 2018, 4(3), 176-182.
- [20] Sarıçalı G., Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS Yöntemlerinin Mermer İşletmesinde Makine Seçim Sürecine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2018.
- [21] Karayel S. D., Atmaca E., Yalçın C., Erol B., VIKOR ve MOORA Yöntemleri İle Malzeme Taşıma Sistemi Seçimi, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 2018, (18), 695-708.
- [22] Hafezalkotob A., Hami-Dindar A., Rabie N., Hafezalkotob A., A Decision Support System for Agricultural Machines and Equipment Selection: A Case Study on Olive Harvester Machines, *Computers and Electronics in Agriculture*, DOI: 10.1016/j.compag.2018.03.012.
- [23] Mathew M., Sahu S., Comparison of New Multi-Criteria Decision Making Methods for Material Handling Equipment Selection, *Management Science Letters*, 2018, 8(3), 139-150.

- [24] Keshavarz Ghorabae M., Amiri M., Zavadskas E. K., Antucheviciene J., A New Hybrid Fuzzy MCDM Approach for Evaluation of Construction Equipment with Sustainability Considerations, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2018, **18**(1), 32–49.
- [25] Gök C., Perçin S., Bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR Yaklaşımının Makine Seçimi Problemine Uygulanması, *Journal of Yaşar University*, 2017, **12**(48), 249-256.
- [26] 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, **7**(14), 239-260.
- [27] Özdağoğlu A., Yakut E., Bahar S., Machine Selection in a Dairy Product Company with Entropy and SAW Methods Integration, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2017, **32**(1), 341-359.
- [28] Özdağoğlu A., Bahar S., Yakut E., Machine Selection with Fuzzy AHP in a Dairy Factory, *Yönetim ve Ekonomi*, 2017, **24**(2), 295-308.
- [29] Anbarcı M., Öz B., Giran Ö., İnşaat Yönetiminde Nakliye Aracı Seçiminde MOORA Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi İle Bir Uygulama, *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*, Samsun, Türkiye, 06 - 07 Ekim 2017.
- [30] Hafezalkotob A., Hafezalkotob A., Interval Target-based VIKOR Method Supported on Interval Distance and Preference Degree for Machine Selection, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, DOI:10.1016/j.engappai.2016.10.018.
- [31] Uzun S., Kazan H., Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE Karşılaştırılması: Gemi İnşada Ana Makine Seçimi Uygulaması, *Journal of Transportation and Logistics*, 2016, **1**(1), 99-113.
- [32] Uzun S., Yıldırım B. F., Equipment Selection in Ship Building Process: TOPSIS, MOORA, VIKOR Application, *Eurasian Academy of Sciences Eurasian Business & Economics Journal*, 2016, **2**, 113-124.
- [33] Topoyan M., Sarı E. B., İyileştirme Faaliyetlerinin Yapılacağı Öncelikli Makinelerin Seçimi İçin Değiştirilmiş Bir Pareto Yaklaşımı, *Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 12-14 Ekim 2016.
- [34] Hamurcu M., Eren T., Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Monoray Teknolojisi Seçimi, *Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, İstanbul, Türkiye, 1-3 Aralık 2016.
- [35] Gürbüz H., Uğurlular A., En Uygun Cnc Tezgahı Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi Yaklaşımı Ve Uygulaması, *7. Uluslararası Girişimcilik Konresi*, Bishkek, Kırgızistan, 12-14 Mayıs 2016.

- [36] Temel Ö., Türkiye’de Bölgelere Göre Isı Pompası Seçim Kriterleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2016, 431059.
- [37] Eren T., Cihan Ş., Ayan E., Topal T., Yıldırım, E., Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Ekokardiyografi Cihazı Seçiminin Yapılması, *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 2017, **4**(1), 41-49.
- [38] Nguyen H-T., Md Dawal S. Z., Nukman Y., P. Rifai A., Aoyama H., An Integrated MCDM Model for Conveyor Equipment Evaluation and Selection in an FMC Based on a Fuzzy AHP and Fuzzy ARAS in the Presence of Vagueness, *PloS ONE*, DOI:10.1371/journal.pone.0153222.
- [39] Ertuğrul İ., Öztaş T., The Application of Sewing Machine Selection with the Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis Method (MOORA) in Apparel Sector, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2015, **25**(1), 80-85.
- [40] Sarkar A., S.C. Panja Das, D., Sarkar B., Developing an Efficient Decision Support System For Non-Traditional Machine Selection: An Application of MOORA and MOOSRA, *Production & Manufacturing Research*, DOI: 10.1080/21693277.2014.895688.
- [41] Parameshwaran R., Praveen Kumar S., Saravanakumar K., An Integrated Fuzzy MCDM Based Approach for Robot Selection Considering Objective and Subjective Criteria, *Applied Soft Computing*, DOI:10.1016/j.asoc.2014.09.025.
- [42] Khandekar A. V., Chakraborty S., Selection of Material Handling Equipment Using Fuzzy Axiomatic Design Principles, *Informatica (Netherlands)*, DOI: 10.15388/Informatica.2015.48.
- [43] Koyuncu O., Tek Özelliği Test Edilen Ürünlerin Test Sürecinde Ekipman Seçimi İçin Kısıt Programlama Temelli Optimizasyon. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 2014, **69**(3), 545-567.
- [44] Rahimdel M. J., Ataei M., Application of Analytical Hierarchy Process to Selection of Primary Crusher, *International Journal of Mining Science and Technology*, DOI: 10.1016/j.ijmst.2014.05.016
- [45] Organ A., Bulanık DEMATEL Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2013, **22**(1), 157-172.
- [46] Özbek İ., Plastik Enjeksiyon Makinesi Seçiminde Aksiyomatik Tasarım Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 338986.
- [47] Acıpayamoğlu M. M., Cnc Ağaç İşleme Makinalarında Çok Ölçütlü Sistem, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 332890.

- [48] Özdağoğlu A., İmalat İşletmeleri için Eksantrik Pres Alternatiflerinin COPRAS Yöntemi ile Karşılaştırılması, *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 2013, **4**(8), 1-22.
- [49] Demircan E. A., Sağlık Sistemlerinde Gerçek Zamanlı Ekipman Takibinin Katkı Analizi ve Ekipman Seçim Algoritması, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013, 333188.
- [50] Safari H., Faghih A., Fathi M. R., Integration of Graph Theory and Matrix Approach with Fuzzy AHP for Equipment Selection, *Journal of Industrial Engineering and Management*, DOI: 10.3926/jiem.403.
- [51] Perçin S., Bulanık AHS ve TOPSIS Yaklaşımının Makine Teçhizat Seçimine Uygulanması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2012, **21**(1), 169-184.
- [52] Pesen E., Analitik Hiyerarşi Prosesi ile AR-GE Projesi Seçimi: İş Makinaları Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Çağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana, 2012, 319965.
- [53] Özdağoğlu A., Üretim Yapan İşletmeler için Hidrolik Giyotin Alternatiflerinin TOPSIS Yöntemi ile İncelenmesi, *Ege Akademik Bakış*, 2012, **12**(4), 549-562.
- [54] Yazdani-Chamzini A., Yakhchali S. H., Tunnel Boring Machine (TBM) Selection Using Fuzzy Multicriteria Decision Making Methods, *Tunnelling and Underground Space Technology*, DOI: 10.1016/j.tust.2012.02.021.
- [55] Ilangkumaran M., Sasirekha V., Anojkumar L., Raja M. B., Machine Tool Selection Using AHP and VIKOR Methodologies Under Fuzzy Environment, *International Journal of Modelling in Operations Management*, DOI: 10.1504/ijmom.2012.049133.
- [56] Samvedi A., Jain V., Chan F. T. S., An Integrated Approach for Machine Tool Selection Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Grey Relational Analysis, *International Journal of Production Research*, DOI: 10.1080/00207543.2011.560906.
- [57] Paramasivam V., Senthil V., Rajam Ramasamy N., Decision Making in Equipment Selection: An Integrated Approach with Digraph and Matrix Approach, AHP and ANP, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI: 10.1007/s00170-010-2997-4.
- [58] Aghajani Bazzazi A., Osanloo M., Karimi B., A New Fuzzy Multi Criteria Decision Making Model for Open Pit Mines Equipment Selection, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, DOI: 10.1142/S0217595911003247.
- [59] Tsai J. P., Cheng H. Y., Wang S. Y., Kao Y. C., Multi-Criteria Decision Making Method for Selection of Machine Tool, *Proceedings of International Symposium on Computer Communication Control and Automation*, Tainan, China, 5-7 May 2010.

- [60] Kaya İ., Kılınç M. S., Çevikcan E., Makine-teçhizat Seçim Probleminde Bulanık Karar Verme Süreci, *Mühendis ve Makina*, 2007, **49**(576), 8-14.
- [61] Öztürk A., *Yöneylem Araştırması*, Genişletilmiş 11. Baskı, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, 2004.
- [62] Kuruüzüm A., Atsan N., Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, *Akdeniz University Faculty of Economics & Administrative Sciences Faculty Journal*, 2001, **1**(1), 83-105.
- [63] Tekin M., *Sayısal Yöntemler*, 5. Baskı, Tıp Kitabevi, Konya, 2004.
- [64] Demir M. H., Bircan B., Tütek H., *Yönetmel Karar Verme*, Bilgehan Basımevi, İzmir, 1985.
- [65] Yaralıoğlu K., *Karar verme yöntemleri*, 1. Baskı, Detay Yayıncılık, Ankara, 2010.
- [66] Sezen H. K., *Yöneylem Araştırması Sayımlama Yöntemleri*, 1.Baskı, Ekin Kitabevi, Bursa, 2004.
- [67] Başaran S., Bulanık TODIM Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Rize, 2019, 558172.
- [68] Keskenler M. F., Keskenler E. F., Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi, *Takvim-i Vekayi*, 2017, **5**(1), 1-10.
- [69] Aslan E., Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi Yardımıyla Tedarikçi Seçimi ve Üretim Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2009, 236089.
- [70] Zadeh L. A., Fuzzy Sets, *Information and control*, 1965, **8**(3), 338-353.
- [71] Şen Z., *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*, 1. Baskı, Bilge Kültür Sanat, İstanbul, 2001.
- [72] Chen L-H., Tsai F. C., Fuzzy Goal Programming with Different Importance and Priorities, *European Journal of Operational Research*, DOI: 10.1016/S0377-2217(00)00201-0.
- [73] Patiniotakis I., Apostolou D., Mentzas G., Fuzzy UTASTAR: A method for Discovering Utility Functions from Fuzzy Data, *Expert Systems with Applications*, 2011, **38**(12), 15463-15474.
- [74] Kaptanoğlu D., Özok A. F., Akademik Performans Değerlendirmesi için Bir Bulanık Model, *İTÜDERGİSİ/d*, 2006, **5**(1), 193-204.
- [75] Kauffman A., Gupta, M. M., *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Application*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1991.

- [76] Kıyak E., Kahvecioğlu A., Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 2003, **1**(2), 63-72.
- [77] Karakaşoğlu N., Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2008, 226810.
- [78] Biggs N., Lloyd E. K., Wilson R. J., *Graph Theory 1736-1936*, 3rd Edition, Oxford University Press, New York, 1986.
- [79] Axelrod R., *Structure of Decision, The Cognitive Maps of Political Elites*, Princeton University Press, Princeton New Jersey, 1976.
- [80] Hage P., Harary F., *Structural Models in Anthropology*, Oxford University Press, New York, 1983.
- [81] Kosko B., Adaptive Inference in Fuzzy Knowledge Networks, *Proceedings of the First IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN-86)*, San Diego, California, 21-24 June, 1987.
- [82] Kosko B., *Fuzzy Associative Memory Systems, in Fuzzy Expert Systems*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1992.
- [83] Kosko B., *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992.
- [84] Uygun Ö., Erkan E. F., Topçuoğlu B., Bulanık Bilişsel Haritalar Temelli Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi Değerlendirme Modeli, *In 3rd International Symposium on Environment and Morality (ISEM2016)*, Alanya/Antalya, Turkey, 4-6 November 2016.
- [85] Kosko B., Fuzzy Cognitive Maps, *Int. J. Man-Mach. Stud.*, 1986, **24**(1), 65–75.
- [86] Papageorgiou E. I., Markinos A. T., Gemtos T. A., Fuzzy Cognitive Map Based Approach for Predicting Yield in Cotton Crop Production as a Basis for Decision Support System In Precision Agriculture Application, *Applied Soft Computing*, 2011, **11**(4), 3643–3657.
- [87] Poomagal S., Sujatha R., Kumar P. S., Vo D. V. N., A fuzzy Cognitive Map Approach to Predict the Hazardous Effects of Malathion To Environment (Air, Water and Soil), *Chemosphere*, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127926.
- [88] Höhl W., COVID-19 and Digital Transformation-Developing an Open Experimental Testbed for Sustainable and Innovative Environments (ETSIE) Using Fuzzy Cognitive Maps, *ArXiv Computer Science*, DOI: arXiv preprint arXiv:2101.07509.

- [89] Shahvi S., Mellander P. E., Jordan P., Fenton O., A Fuzzy Cognitive Map Method for Integrated and participatory water governance and Indicators Affecting Drinking Water Supplies, *Science of the Total Environment*, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142193.
- [90] Pedrycz W., *Applications: Granular Models, Granular Classifiers and Fuzzy Cognitive Maps, In An Introduction to Computing with Fuzzy Sets*, 1st Edition, Springer International Publishing, 2021.
- [91] Goswami R., Roy K., Dutta S., Ray K., Sarkar S., Brahmachari K., Majumdar K., Multi-faceted Impact and Outcome of COVID-19 on Smallholder Agricultural Systems: Integrating Qualitative Research and Fuzzy Cognitive Mapping to Explore Resilient Strategies, *Agricultural Systems*, DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103051.
- [92] Shen F., Liu J., Wu K., Evolutionary Multitasking Fuzzy Cognitive Map Learning, *Knowledge-Based Systems*, DOI: 10.1016/j.knosys.2019.105294.
- [93] Nuruzade J., Bektur Ç., Ekonomik Kriz Dönemlerinde Aile Bireylerinde Kararların Optimizasyonu: Azerbaycan Örneği, *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2019, **5**(3), 49-57.
- [94] Asan U., Kadaifci C., A New Product Positioning Approach Based on Fuzzy Cognitive Mapping, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2020, **35**(2), 1047-1061.
- [95] Morone P., Falcone P. M., Lopolito A., How to Promote a New and Sustainable Food Consumption Model: A Fuzzy Cognitive Map Study, *Journal of Cleaner Production*, DOI:10.1016/j.jclepro.2018.10.075.
- [96] Sperry R. C., Jetter A. J., A Systems Approach to Project Stakeholder Management: Fuzzy Cognitive Map Modeling, *Project Management Journal*, DOI: 10.1177/8756972819847870.
- [97] Alipour M., Hafezi R., Papageorgiou E., Hafezi M., Alipour M., Characteristics and Scenarios of Solar Energy Development in Iran: Fuzzy Cognitive Map-Based Approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, DOI: 10.1016/j.rser.2019.109410.
- [98] Kiraz A., Canpolat O., Erkan E. F., Uygun Ö., IMPULS Kriterleri ile Endüstri 4.0 Eğiliminin Değerlendirilmesi: Bir Bulanık Bilişsel Harita Uygulaması, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2019, **7**(1), 14-23.
- [99] Zhang Y., Qin J., Shi P., Kang Y., High-order intuitionistic Fuzzy Cognitive Map Based on Evidential Reasoning Theory, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, DOI: 10.1109/TFUZZ.2018.2853727.
- [100] Mazzuto G., Stylios C., Bevilacqua M., Hybrid Decision Support System Based on DEMATEL and Fuzzy Cognitive Maps, *IFAC-PapersOnLine*, DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.222.

- [101] Türk M., Ertuş F. C., Bulanık Zamana Dayalı Faaliyet Tabanlı Maliyet Sistemi: Bir Hastane Uygulaması, *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 10. Yıl Özel Sayısı, 2018.
- [102] Alipour M., Hafezi R., Amer M., Akhavan A. N., A New Hybrid Fuzzy Cognitive Map-based Scenario Planning Approach for Iran's Oil Production Pathways in the Post-Sanction Period. *Energy*, DOI: 10.1016/j.energy.2017.06.069.
- [103] Papageorgiou E. I., Hatwagner M. F., Buruzs A., Koczy L. T., A Concept Reduction Approach for Fuzzy Cognitive Map Models in Decision Making and Management, *Neurocomputing*, 2017, DOI: 10.1016/j.neucom.2016.11.060.
- [104] Rezaee M. J., Yousefi S., Valipour M., Dehdar M. M., Risk Analysis of Sequential Processes in Food Industry Integrating Multi-stage Fuzzy Cognitive Map and Process Failure Mode and Effects Analysis, *Computers & Industrial Engineering*, DOI: 10.1016/j.cie.2018.07.012.
- [105] Aguilar J., Téran O., Sánchez H., de Mesa J. G., Cordero J., Chávez D., Towards a Fuzzy Cognitive Map for Opinion Mining, *Procedia Computer Science*, DOI: 10.1016/j.procs.2017.05.287.
- [106] Homenda W., Jastrzebska A., Clustering Techniques for Fuzzy Cognitive Map Design for Time Series Modeling, *Neurocomputing*, DOI: 10.1016/j.neucom.2016.08.119.
- [107] Bağdatlı M. E. C., Akbıyıklı R., Papageorgiou E. I., A Fuzzy Cognitive Map Approach Applied in Cost-benefit Analysis for Highway Projects, *International Journal of Fuzzy Systems*, DOI: 10.1007/s40815-016-0252-3.
- [108] Uygun Ö., Erkan E. F., Demir H. İ., Bulanık Bilişsel Haritalar Kullanılarak Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi İçin Bir Değerlendirme Modeli, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2017, 5(3), 26-34.
- [109] Singh M., Martins L. M., Joanis P., Mago V. K., Building a Cardiovascular Disease Predictive Model Using Structural Equation Model & Fuzzy Cognitive Map, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, Vancouver, Canada, July 24-29, 2016.
- [110] Amer M., Daim T. U., Jetter A., Technology Roadmap Through Fuzzy Cognitive Map-based Scenarios: The Case of Wind Energy Sector of a Developing Country, *Technology Analysis & Strategic Management*, DOI: 10.1080/09537325.2015.1073250.
- [111] Case D. M., Stylios C. D., Fuzzy Cognitive Map to Model Project Management Problems, *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS)*, El Paso, Texas, USA, 31 October- 4 November 2016.

- [112] Lee S., Yang J., Han J., Development of a Decision Making System for Selection of Dental Implant Abutments Based on the Fuzzy Cognitive Map, *Expert Systems with Applications*, DOI: 10.1016/j.eswa.2012.04.032.
- [113] Baykasoğlu A., Gölcük İ., Development of a Novel Multiple-attribute Decision Making Model via Fuzzy Cognitive Maps and Hierarchical Fuzzy TOPSIS, *Information Sciences*, 2015, 301, 75-98.
- [114] Salminen P., Generalizing Prospect Theory to the Multiple Criteria Decision-Making Context, Unpublished paper, University of Jyväskylä, 1991.
- [115] Salminen P., *Descriptive and prescriptive modelling of preferences within a discrete alternative multiple criteria decision framework*, University of Jyväskylä, Jyväskylä, 1992.
- [116] Gomes L. F. A. M., Lima M. M. P. P., TODIM: Basics and Application to Multicriteria Ranking of Projects with Environmental Impacts, *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 1992, **16**(3-4), 113-127.
- [117] Gomes L. F. A. M., Range L. A. D., An Application of the TODIM Method to the Multicriteria Rental Evaluation of Residential Properties, *European Journal of Operational Research*, 2009, **193**(1), 204-211.
- [118] Arshadi Khamseh A., Mahmoodi M., A New Fuzzy TOPSIS-TODIM Hybrid Method for Green Supplier Selection Using Fuzzy Time Function, *Advances in Fuzzy Systems*, DOI: 10.1155/2014/841405.
- [119] Gül M., Mete S., Serin F., Çelik E., Fine–Kinney-Based Occupational Risk Assessment Using Intuitionistic Fuzzy TODIM. In Fine–Kinney-Based Fuzzy Multi-criteria Occupational Risk Assessment, *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, DOI: 10.1007/978-3-030-52148-6_5.
- [120] Zhao M., Wei G., Wei C., Wu J., TODIM Method for Interval-Valued Pythagorean Fuzzy MAGDM Based on Cumulative Prospect Theory and Its Application to Green Supplier Selection, *Arabian Journal for Science and Engineering*, DOI: 10.1007/s13369-020-05063-8.
- [121] Arya V., Kumar S., Extended VIKOR–TODIM Approach Based on Entropy Weight for Intuitionistic Fuzzy Sets, *In Proceedings of International Conference on Trends in Computational and Cognitive Engineering*, Dhaka, Bangladesh, 7-18 December 2020.
- [122] Zhao M., Wei G., Wei C., Guo Y., CPT-TODIM Method for Bipolar Fuzzy Multi-attribute Group Decision Making and Its Application to Network Security Service Provider Selection, *International Journal of Intelligent Systems*, DOI: 10.1002/int.22367.
- [123] Wang L., Wang Y. M., Martínez L., Fuzzy TODIM Method Based on Alpha-level Sets, *Expert Systems with Applications*, DOI:10.1016/j.eswa.2019.112899.

- [124] Başaran S., Çakır S., Bulanık Todım Yöntemiyle Gıda Sektöründe Tedarikçi Seçimi, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 2020, (28), 65-78.
- [125] Tolga A. C., Parlak I. B., Castillo O., Finite-interval-valued Type-2 Gaussian Fuzzy Numbers Applied to Fuzzy TODIM in a Healthcare Problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, DOI: 10.1016/j.engappai.2019.103352.
- [126] Wu Y., Wu C., Zhou J., Zhang B., Xu C., Yan Y., Liu F., A DEMATEL-TODIM Based Decision Framework for PV Power Generation Project in Expressway Service Area under an Intuitionistic Fuzzy Environment, *Journal of Cleaner Production*, DOI: doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119099.
- [127] Yin J., Guo J., Ji T., Cai J., Xiao L., Dong Z., An Extended TODIM Method for Project Manager's Competency Evaluation, *Journal of Civil Engineering and Management*, DOI: 10.3846/jcem.2019.10521.
- [128] Ren H. P., Liu M. F., Zhou H., Extended TODIM Method for MADM Problem under Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Environment, *International Journal of Computers, Communications & Control*, DOI: 10.15837/ijccc.2019.2.3428.
- [129] Nie S., Liao H., Wu X., Xu Z., Green Supplier Selection With a Continuous Interval-Valued Linguistic TODIM Method, *IEEE Access*, DOI: 10.1109/access.2019.2937994.
- [130] Liu P., You X., Improved TODIM Method Based on Linguistic Neutrosophic Numbers for Multicriteria Group Decision-Making, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, DOI: 10.2991/ijcis.d.190412.001.
- [131] Wu C., Zhang D., The 2-additive Fuzzy Choquet Integral-based TODIM Method with Improved Score Function under Hesitant Fuzzy Environment, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, DOI: 10.22111/IJFS.2019.4787.
- [132] Lin M., Wang H., Xu Z., TODIM-based Multi-criteria Decision-making Method with Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets, *Artificial Intelligence Review*, DOI: 10.1007/s10462-019-09774-9.
- [133] Wu Y., Wang J., Hu Y., Ke Y., Li L., An Extended TODIM-PROMETHEE Method for Waste-to-energy Plant Site Selection Based on Sustainability Perspective, *Energy*, DOI: 10.1016/j.energy.2018.05.087.
- [134] Júnior D., Marcos A., Applying the TODIM Fuzzy Method to the Valuation of Brazilian Banks, *Pesquisa Operacional*, DOI: 10.1590/0101-7438.2018.038.01.0153.
- [135] Liang W., Luo S., Zhao G., Evaluation of Cleaner Production for Gold Mines Employing a Hybrid Multi-Criteria Decision Making Approach, *Sustainability*, DOI: 10.3390/su11010146.

- [136] Tolga A. Ç., Turgut Z. K., Sustainable and Renewable Energy Power Plants Evaluation by Fuzzy TODIM Technique, *Alphanumeric Journal*, 2018, **6**(1), 49-68.
- [137] Wei G., TODIM Method For Picture Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, *Informatica*, DOI: 10.15388/Informatica.2018.181.
- [138] Yu S. M., Wang J., Wang J. Q., An Extended TODIM Approach with Intuitionistic Linguistic Numbers, *International Transactions in Operational Research*, DOI: 10.1111/itor.12363.
- [139] Ji P., Zhang H. Y., Wang J. Q., Fuzzy Decision-making Framework for Treatment Selection Based on the Combined QUALIFLEX–TODIM Method, *International Journal of Systems Science*, DOI: 10.1080/00207721.2017.1365968.
- [140] Wang J., Wang J. Q., Zhang H. Y., A likelihood-based TODIM Approach Based on Multi-hesitant Fuzzy Linguistic Information for Evaluation in Logistics Outsourcing, *Computers & Industrial Engineering*, DOI: 10.1016/j.cie.2016.07.023.
- [141] Sen D. K., Datta S., Patel S. K., Mahapatra S. S., Fuzzy-TODIM for Industrial Robot Selection, *International Conference on Emerging Trends in Mechanical Engineering*, Telangana, India, 23-24 September 2016.
- [142] Wei C., Ren Z., Rodríguez R. M., A Hesitant Fuzzy Linguistic TODIM Method Based on a Score Function, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, DOI: 10.1080/18756891.2015.1046329.
- [143] Fan Z. P., Zhang X., Chen F. D., Liu Y., Extended TODIM Method for Hybrid Multiple Attribute Decision Making Problems, *Knowledge-Based Systems*, DOI: 10.1016/j.knosys.2012.12.014.
- [144] Zhang X., Fan Z. P., A Method for Linguistic Multiple Attribute Decision Making Based on TODIM, *International Conference on Management and Service Science*, Bangkok, Thailand, 7-9 May 2011.
- [145] 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**(1), 233-242.



EKLER

Ek-A

Bölüm 4.2’de kullanılan alt kriter ağırlıklarının KV’ler tarafından dilsel olarak değerlendirilmesi ve ÜBS karşılık değerleri aşağıdaki tablolarda bulunmaktadır.

Tablo A.1. Alt kriterlerin görel dilsel önem ağırlıkları

Alt Kriter	KV ₁	KV ₂	KV ₃
K11	ÇY	ÇY	ÇY
K12	ÇY	ÇY	ÇY
K13	Y	Y	ÇY
K14	OY	Y	Y
K21	O	Y	O
K22	Y	O	Y
K23	O	Y	OY
K31	ÇY	ÇY	ÇY
K32	Y	ÇY	ÇY
K33	Y	Y	ÇY
K41	ÇY	ÇY	ÇY
K42	ÇY	Y	Y
K51	Y	Y	Y
K52	Y	Y	ÇY
K61	Y	ÇY	ÇY
K62	Y	ÇY	ÇY
K63	Y	Y	Y
K64	Y	O	Y
K65	Y	ÇY	ÇY
K66	Y	ÇY	ÇY
K71	Y	Y	Y
K72	Y	Y	Y
K91	OY	Y	Y
K92	Y	O	O
K101	Y	ÇY	ÇY
K102	Y	Y	OY
K121	OY	Y	Y
K122	Y	Y	Y

Tablo A.2. Alt kriterlerin görelİ ÜBS önem ağırlıkları, ortalama ağırlıklar, durulaştırılmış ağırlıklar ve normalize ağırlıklar

Alt Kriter	KV ₁	KV ₂	KV ₃	Toplam Ağırlıklar	Durulaştırılmış Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
K11	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	0,967	0,265
K12	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	0,967	0,265
K13	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.77, 0.93, 1.00)	0,9	0,247
K14	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.63, 0.83, 0.97)	0,81	0,222
K21	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.43, 0.63, 0.80)	0,62	0,293
K22	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.57, 0.77, 0.90)	0,747	0,353
K23	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.57, 0.77, 0.93)	0,747	0,353
K31	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	0,967	0,345
K32	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,333
K33	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.77, 0.93, 1.00)	0,9	0,321
K41	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	0,967	0,518
K42	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.77, 0.93, 1.00)	0,9	0,482
K51	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	0,867	0,491
K52	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.77, 0.93, 1.00)	0,9	0,509
K61	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,175
K62	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,175
K63	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	0,867	0,162
K64	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.57, 0.77, 0.90)	0,747	0,140
K65	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,175
K66	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,175
K71	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	0,867	0,500
K72	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	0,867	0,500
K91	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.63, 0.83, 0.97)	0,81	0,566
K92	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.43, 0.63, 0.80)	0,62	0,434
K101	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.83, 0.97, 1.00)	0,933	0,535
K102	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.63, 0.83, 0.97)	0,81	0,465
K121	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.63, 0.83, 0.97)	0,81	0,483
K122	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	0,867	0,517

Tablo A.3. KV₁'den elde edilen alt kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV ₁ için	K11	K12	K13	K14
K11	-	D	O	D
K12	D	-	D	Y
K13	O	D	-	D
K14	D	Y	D	-
KV ₁ için	K21	K22	K23	
K21	-	-	-	
K22	-	-	-	
K23	-	-	-	

Tablo A.3.(Devam) KV₁'den elde edilen alt kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV ₁ için	K31	K32	K33				
K31	-	O	Y				
K32	O	-	O				
K33	Y	O	-				
KV ₁ için	K41	K42					
K41	-	ÇY					
K42	ÇY	-					
KV ₁ için	K51	K52					
K51	-	O					
K52	O	-					
KV ₁ için	K61	K62	K63	K64	K64	K65	K66
K61	-	O	D	-	-	-	D
K62	O	-	-	-	-	-	-
K63	D	-	-	-	-	-	-
K64	-	-	-	-	-	O	O
K65	-	-	-	O	O	-	ÇD
K66	D	-	-	O	O	ÇD	-
KV ₁ için	K71	K72					
K71	-	ÇÇY					
K72	ÇÇY	-					
KV ₁ için	K91	K92					
K91	-	O					
K92	O	-					
KV ₁ için	K101	K102					
K101	-	Y					
K102	Y	-					
KV ₁ için	K121	K122					
K121	-	Y					
K122	Y	-					

Tablo A.4. KV₂'den elde edilen alt kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV ₂ için	K11	K12	K13	K14
K11	-	Y	Y	O
K12	Y	-	ÇÇY	ÇÇY
K13	Y	ÇY	-	-
K14	-	Y	ÇY	-
KV ₂ için	K21	K22	K23	
K21	-	-	-	
K22	-	-	-	
K23	-	-	-	
KV ₂ için	K31	K32	K33	
K31	-	O	ÇY	
K32	O	-	O	

Tablo A.4.(Devam) KV₂'den elde edilen alt kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV₂ için	K41	K42				
K41	-	ÇÇY				
K42	ÇÇY	-				
KV₂ için	K51	K52				
K51	-	O				
K52	O	-				
KV₂ için	K61	K62	K63	K64	K65	K66
K61	-	O	O	-	-	D
K62	O	-	-	-	-	-
K63	D	-	-	-	-	-
K64	-	-	-	-	O	O
K65	-	-	-	O	-	ÇD
K66	D	-	-	O	ÇD	-
KV₂ için	K71	K72				
K71	-	ÇÇY				
K72	ÇÇY	-				
KV₂ için	K91	K92				
K91		ÇY				
K92	ÇY	-				
KV₂ için	K101	K102				
K101	-	O				
K102	O	-				
KV₂ için	K121	K122				
K121	-	ÇY				
K122	ÇY	-				

Tablo A.5. KV₃'ten elde edilen alt kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV₃ için	K11	K12	K13	K14
K11	-	Y	Y	O
K12	Y	-	ÇY	ÇÇY
K13	Y	ÇY	-	-
K14	-	Y	O	-
KV₃ için	K21	K22	K23	
K21	-	-	-	
K22	-	-	-	
K23	-	-	-	
KV₃ için	K31	K32	K33	
K31	-	O	ÇÇY	
K32	O	-	O	
K33	ÇY	Y	-	

Tablo A.5.(Devam) KV₃'ten elde edilen alt kriterler arasındaki bağımlılık dereceleri

KV₃ için	K41	K42				
K41	-	Y				
K42	Y	-				
KV₃ için	K51	K52				
K51	-	Y				
K52	O	-				
KV₃ için	K61	K62	K63	K64	K65	K66
K61	-	O	O	-	-	D
K62	O	-	-	-	-	-
K63	D	-	-	-	-	-
K64	-	-	-	-	O	O
K65	-	-	-	O	-	ÇD
K66	D	-	-	O	ÇD	-
KV₃ için	K71	K72				
K71	-	ÇÇY				
K72	ÇÇY	-				
KV₃ için	K91	K92				
K91	-	Y				
K92	Y	-				
KV₃ için	K101	K102				
K101	-	Y				
K102	Y	-				
KV₃ için	K121	K122				
K121	K121	Y				
K122	K122	-				

Tablo A.6. KV₁'den elde edilen alt kriterler arasındaki bulanık bağımlılık dereceleri

KV₁ için	K11	K12	K13	K14
K11	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.20, 0.35, 0.50)
K12	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.50, 0.65, 0.80)
K13	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.20, 0.35, 0.50)
K14	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)
KV₁ için	K21	K22	K23	
K21	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	
K22	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	
K23	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	
KV₁ için	K31	K32	K33	
K31	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.50, 0.65, 0.80)	
K32	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	
K33	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	

Tablo A.6.(Devam) KV₁' den elde edilen alt kriterler arasındaki bulanık bağımlılık dereceleri

KV ₁ için	K41	K42				
K41	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.65, 0.80, 0.90)				
K42	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV ₁ için	K51	K52				
K51	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)				
K52	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV ₁ için	K61	K62	K63	K64	K65	K66
K61	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.20, 0.35, 0.50)
K62	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K63	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K64	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.35, 0.50, 0.65)
K65	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.10, 0.20, 0.35)
K66	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.10, 0.20, 0.35)	(0.00, 0.00, 0.00)
KV ₁ için	K71	K72				
K71	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.80, 0.90, 1.00)				
K72	(0.80, 0.90, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV ₁ için	K91	K92				
K91	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)				
K92	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV ₁ için	K101	K102				
K101	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)				
K102	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV ₁ için	K121	K122				
K121	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)				
K122	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)				

Tablo A.7. KV₂'den elde edilen alt kriterler arasındaki bulanık bağımlılık dereceleri

KV ₂ için	K11	K12	K13	K14
K11	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.35, 0.50, 0.65)
K12	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.80, 0.90, 1.00)	(0.80, 0.90, 1.00)
K13	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K14	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.00, 0.00, 0.00)
KV ₂ için	K21	K22	K23	
K21	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	
K22	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	
K23	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	
KV ₂ için	K31	K32	K33	
K31	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.65, 0.80, 0.90)	
K32	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	
K33	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	

Tablo A.7.(Devam) KV₂'den elde edilen alt kriterler arasındaki bulanık bağımlılık dereceleri

KV₂ için	K41	K42				
K41	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.80, 0.90, 1.00)				
K42	(0.80, 0.90, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₂ için	K51	K52				
K51	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)				
K52	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₂ için	K61	K62	K63	K64	K65	K66
K61	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.20, 0.35, 0.50)
K62	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K63	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K64	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.35, 0.50, 0.65)
K65	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.10, 0.20, 0.35)
K66	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.10, 0.20, 0.35)	(0.00, 0.00, 0.00)
KV₂ için	K71	K72				
K71	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.80, 0.90, 1.00)				
K72	(0.80, 0.90, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₂ için	K91	K92				
K91	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.65, 0.80, 0.90)				
K92	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₂ için	K101	K102				
K101	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)				
K102	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₂ için	K121	K122				
K121	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.65, 0.80, 0.90)				
K122	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.00, 0.00, 0.00)				

Tablo A.8. KV₃'ten elde edilen alt kriterler arasındaki bulanık bağımlılık dereceleri

KV₃ için	K11	K12	K13	K14
K11	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.35, 0.50, 0.65)
K12	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.80, 0.90, 1.00)
K13	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K14	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)

Tablo A.8.(Devam) KV₃'ten elde edilen alt kriterler arasındaki bulanık bağımlılık dereceleri

KV₃ için	K21	K22	K23			
K21	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)			
K22	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)			
K23	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)			
KV₃ için	K31	K32	K33			
K31	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.80, 0.90, 1.00)			
K32	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)			
K33	(0.65, 0.80, 0.90)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)			
KV₃ için	K41	K42				
K41	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)				
K42	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₃ için	K51	K52				
K51	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)				
K52	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₃ için	K61	K62	K63	K64	K65	K66
K61	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.20, 0.35, 0.50)
K62	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K63	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K64	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.35, 0.50, 0.65)
K65	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.10, 0.20, 0.35)
K66	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.10, 0.20, 0.35)	(0.00, 0.00, 0.00)
KV₃ için	K71	K72				
K71	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.80, 0.90, 1.00)				
K72	(0.80, 0.90, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₃ için	K91	K92				
K91	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)				
K92	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₃ için	K101	K102				
K101	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)				
K102	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)				
KV₃ için	K121	K122				
K121	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.80)				
K122	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.00, 0.00, 0.00)				

Tablo A.9. Alt kriterler arasındaki toplam bulanık bağımlılık dereceleri

Toplam ort.	K11	K12	K13	K14
K11	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.40, 0.55, 0.70)	(0.45, 0.60, 0.75)	(0.30, 0.45, 0.60)
K12	(0.40, 0.55, 0.70)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.55, 0.68, 0.80)	(0.70, 0.82, 0.93)
K13	(0.45, 0.60, 0.75)	(0.50, 0.65, 0.77)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.07, 0.12, 0.17)
K14	(0.07, 0.12, 0.17)	(0.50, 0.65, 0.80)	(0.40, 0.55, 0.68)	(0.00, 0.00, 0.00)

Tablo A.9.(Devam) Alt kriterler arasındaki toplam bulanık bağımlılık dereceleri

Toplam ort.	K21	K22	K23			
K21	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)			
K22	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)			
K23	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)			
Toplam ort.	K31	K32	K33			
K31	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.65, 0.78, 0.90)			
K32	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)			
K33	(0.60, 0.75, 0.87)	(0.40, 0.55, 0.70)	(0.00, 0.00, 0.00)			
Toplam ort.	K41	K42				
K41	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.65, 0.78, 0.90)				
K42	(0.65, 0.78, 0.90)	(0.00, 0.00, 0.00)				
Toplam ort.	K51	K52				
K51	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.40, 0.55, 0.70)				
K52	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)				
Toplam ort.	K61	K62	K63	K64	K65	K66
K61	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.20, 0.35, 0.50)
K62	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K63	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)
K64	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.35, 0.50, 0.65)
K65	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.10, 0.20, 0.35)
K66	(0.20, 0.35, 0.50)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.35, 0.50, 0.65)	(0.10, 0.20, 0.35)	(0.00, 0.00, 0.00)
Toplam ort.	K71	K72				
K71	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.80, 0.90, 1.00)				
K72	(0.80, 0.90, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00)				
Toplam ort.	K91	K92				
K91	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.50, 0.65, 0.78)				
K92	(0.50, 0.65, 0.78)	(0.00, 0.00, 0.00)				
Toplam ort.	K101	K102				
K101	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.45, 0.60, 0.75)				
K102	(0.45, 0.60, 0.75)	(0.00, 0.00, 0.00)				
Toplam ort.	K121	K122				
K121	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.55, 0.70, 0.83)				
K122	(0.55, 0.70, 0.83)	(0.00, 0.00, 0.00)				

Tablo A.10. Alt kriterler arasındaki toplam bulanık bağımlılık dereceleri

	K11	K12	K13	K14		
K11	0	0,55	0,6	0,45		
K12	0,55	0	0,677	0,817		
K13	0,6	0,64	0	0,12		
K14	0,12	0,65	0,55	0		
	K21		K22	K23		
K21	0		0	0		
K22	0		0	0		
K23	0		0	0		
	K31		K32	K33		
K31	0		0,5	0,777		
K32	0,5		0	0,5		
K33	0,74		0,55	0		
	K41		K42			
K41	0		0,777			
K42	0,777		0			
	K51		K52			
K51	0		0,55			
K52	0,5		0			
	K61	K62	K63	K64	K65	K66
K61	0	0,5	0,5	0	0	0,35
K62	0,5	0	0	0	0	0
K63	0,35	0	0	0	0	0
K64	0	0	0	0	0,5	0,5
K65	0	0	0	0,5	0	0
K66	0,35	0	0	0,5	0,217	0
	K71			K72		
K71	0			0,9		
K72	0,9			0		
	K91			K92		
K91	0			0,593		
K92	0,593			0		
	K101			K102		
K101	0			0,6		
K102	0,6			0		
	K121			K122		
K121	0			0,693		
K122	0,693			0		

Ek-B

Her iterasyon için alt kriterlerin konsept değerleri ve son alt kriter ağırlıkları verilmiştir.

Tablo B.1. Alt kriterlerin konsept ve son alt kriter ağırlık değerleri

İterasyon	K11	K12	K13	K14
0	0,265	0,265	0,247	0,222
1	0,527	0,613	0,609	0,529
2	0,860	0,927	0,926	0,872
3	0,966	0,988	0,988	0,972
4	0,977	0,992	0,992	0,981
5	0,977	0,993	0,992	0,982
6	0,977	0,993	0,992	0,982
Son Ağırlıklar	0,248	0,252	0,252	0,249

İterasyon	K21	K22	K23
Son Ağırlıklar	0,293	0,353	0,353

İterasyon	K31	K32	K33
0	0,345	0,333	0,321
1	0,635	0,593	0,639
2	0,886	0,852	0,891
3	0,962	0,945	0,964
4	0,973	0,961	0,975
5	0,975	0,963	0,976
6	0,975	0,963	0,976
Son Ağırlıklar	0,334	0,330	0,335

İterasyon	K41	K42
1	0,518	0,482
1	0,713	0,709
2	0,852	0,852
3	0,908	0,908
4	0,924	0,924
5	0,928	0,928
6	0,929	0,929
7	0,929	0,929
Son Ağırlıklar	0,500	0,500

Tablo B.1.(Devam) Alt kriterlerin konsept ve son alt kriter ağırlık değerleri

İterasyon	K51	K52
0	0,491	0,509
1	0,632	0,652
2	0,744	0,762
3	0,809	0,824
4	0,840	0,854
5	0,853	0,866
6	0,858	0,870
7	0,860	0,872
8	0,861	0,873
9	0,861	0,873
Son Ağırlıklar	0,496	0,504

İterasyon	K61	K62	K63	K64	K65	K66
0	0,175	0,175	0,162	0,140	0,175	0,175
1	0,362	0,256	0,244	0,304	0,275	0,296
2	0,591	0,411	0,402	0,530	0,455	0,519
3	0,807	0,609	0,603	0,769	0,682	0,758
4	0,920	0,767	0,764	0,903	0,843	0,891
5	0,955	0,842	0,841	0,944	0,903	0,931
6	0,964	0,867	0,866	0,953	0,918	0,940
7	0,966	0,874	0,874	0,955	0,921	0,942
8	0,967	0,876	0,876	0,955	0,922	0,942
9	0,967	0,876	0,876	0,955	0,922	0,942
Son Ağırlıklar	0,175	0,158	0,158	0,172	0,167	0,170

İterasyon	K71	K72
0	0,500	0,500
1	0,740	0,740
2	0,887	0,887
3	0,933	0,933
4	0,944	0,944
5	0,946	0,946
6	0,947	0,947
7	0,947	0,947
Son Ağırlıklar	0,500	0,500

Tablo B.1.(Devam) Alt kriterlerin konsept ve son alt kriter ağırlık değerleri

İterasyon	K91	K92
0	0,566	0,434
1	0,677	0,647
2	0,786	0,781
3	0,848	0,847
4	0,874	0,874
5	0,884	0,884
6	0,887	0,887
7	0,888	0,888
8	0,889	0,889
9	0,889	0,889
Son Ağırlıklar	0,500	0,500
İterasyon	K101	K102
0	0,535	0,465
1	0,672	0,656
2	0,788	0,785
3	0,851	0,851
4	0,877	0,877
5	0,886	0,886
6	0,889	0,889
7	0,890	0,890
8	0,890	0,890
Son Ağırlıklar	0,500	0,500
İterasyon	K121	K122
0	0,483	0,517
1	0,686	0,692
2	0,823	0,824
3	0,884	0,884
4	0,905	0,905
5	0,911	0,911
6	0,912	0,912
7	0,913	0,913
8	0,913	0,913
Son Ağırlıklar	0,500	0,500

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akbulut, İ., Özcan, B., Treyler Sektöründe Bir Kalite Fonksiyon Yayılımı Uygulaması, *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 26-28 Nisan 2019.

Akbulut, İ., Özcan, B., Hava Kirliliği Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleriyle Bir Karşılaştırma, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2020, **3(1)**, 12-22.



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 2013 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. Daha sonra 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde hava kirliliği tahmini üzerine yapay sinir ağları ve regresyon yöntemlerinin karşılaştırması ve treyler sektöründe bir kalite fonksiyon yayılımı konusunda çalışmaları bulunmaktadır.

