



**TEDARİKÇİ SEÇİMİ İÇİN KRİTER
AĞIRLIKLARININ ENİYİLENMESİ TEMELLİ
YENİ BİR BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR
VERME YAKLAŞIMI**

Merve Ceren TAŞKENT

Danışman: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Ana bilim Dalı

2021

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TEDARİKÇİ SEÇİMİ İÇİN KRİTER AĞIRLIKLARININ ENİYİLENMESİ
TEMELLİ YENİ BİR BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI**

(A New Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach Based on Optimizing Criteria
Weights for Supplier Selection)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve Ceren TAŞKENT

Danışman: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE

Erzurum
Temmuz, 2021

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

**TEDARİKÇİ SEÇİMİ İÇİN KRİTER AĞIRLIKLARININ ENİYİLENMESİ
TEMELLİ YENİ BİR BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI**

Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE danışmanlığında, Merve Ceren TAŞKENT tarafından hazırlanan bu çalışma, 01/06/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE
Atatürk Üniversitesi

Danışman: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Burcu YILMAZ KAYA
Gazi Üniversitesi

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek lisans Tezi olarak Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE danışmanlığında sunulan “Tedarikçi Seçimi İçin Kriter Ağırlıklarının Eniyilenmesi Temelli Yeni Bir Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	1	30
Kuramsal Temeller	2	30
Materyal ve Yöntem	13	35
Bulgular	4	20
Tartışma	0	20
Tezin Geneli	20	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Merve Ceren TAŞKENT	Doç Dr. Elif KILIÇ DELİCE
28.6.2021	28.6.2021
İmza:	İmza:

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

- ☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.
- ☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yapılan bu çalışma için beni tezimin her aşamasında yönlendiren, kıymetli zamanını ayırarak büyük bir sabır ve ilgiyle bana yardımcı olan, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmama yardım eden kıymetli ve saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin uygulama aşamasında zaman ayırıp, bana verdikleri desteklerden dolayı uygulama yaptığım işletmeye teşekkür ederim.

Tezimin ve hayatımın her aşamasında beni yalnız bırakmayan, başarılarımla gurur duyan, bu çalışma süresince tüm maddi, manevi zorlukları benimle göğüsleyen ve destekleyen annem ve babam başta olmak üzere sevgili aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEDARİKÇİ SEÇİMİ İÇİN KRİTER AĞIRLIKLARININ ENİYİLENMESİ TEMELLİ YENİ BİR BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI

Merve Ceren TAŞKENT

Danışman: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE

Amaç: Bu çalışmada tedarikçi seçimi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden bulanık FUCOM (Full Consistency Method- Tam Tutarlılık Yöntemi) ve bulanık MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking According to the Compromise Solution-Uzlaşık Çözümüne göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama Yöntemi) yöntemleri kullanılarak karar vericilerin subjektif değerlendirmelerine dayanan optimizasyon temelli yeni bir ÇKKV modeli önerilmiştir. Önerilen bulanık FUCOM&MARCOS modeli dekoratif taş sağlayıcısı bir firma için en iyi tedarikçinin seçilmesinde kullanılmıştır.

Yöntem: Bulanık FUCOM&MARCOS modelinde, kriter ağırlıkları bulanık FUCOM metodu ile belirlenirken; tedarikçiler bulanık MARCOS yöntemiyle sıralanmıştır. Önerilen modelin tutarlılığının belirlenmesi için bulanık FUCOM&WASPAS, bulanık FUCOM&EDAS, bulanık FUCOM&ARAS, bulanık FUCOM&MABAC yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Bu yöntemler kullanılarak ortaya çıkan alternatif sıralamaları TPOP yöntemi kullanılarak birleştirilmiş ve tek bir sıralama sonucu elde edilmiştir.

Bulgular: Karar vericiler tarafından subjektif değerlendirmeler sonucunda firma açısından en önemli kriterin C₄, Kalite kriteri olduğu belirlenmiştir. A₂ alternatifinin bütün ÇKKV yöntemleri sonuçlarına göre en iyi alternatif olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Karşılaştırmalı analizde kullanılan yöntemler ile bulanık FUCOM&MARCOS yöntemi arasında Spearman Korelasyon Katsayısına bakıldığında korelasyon derecesi 1 veya 1'e yakın çıktığı görülmektedir.

Sonuç: Bulanık FUCOM ve bulanık MARCOS yöntemleri ilk defa bu çalışmada birlikte kullanılmış ve tedarikçi seçimine uygulanmıştır. Ayrıca TPOP yöntemi ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın belirtilen özellikleri nedeniyle literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: FUCOM, MARCOS, TPOP, Bulanık Mantık, Tedarikçi Seçimi

Haziran 2021, 84 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

A NEW FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING APPROACH BASED ON OPTIMIZING CRITERIA WEIGHTS FOR SUPPLIER SELECTION

Merve Ceren TAŞKENT

Supervisor: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE

Purpose: A new MCDM model based on optimisation according to decision makers' subjective assessments was proposed in this study, employing fuzzy FUCOM and fuzzy MARCOS methods for supplier selection. The proposed fuzzy FUCOM&MARCOS model was used to select the best supplier for a decorative stone provider company.

Method: In the fuzzy FUCOM&MARCOS model, while the criteria weights were determined by the fuzzy FUCOM method; suppliers were ranked using the fuzzy MARCOS method. Comparative analysis was performed to determine the consistency of the proposed model by employing WAPSAS, EDAS, ARAS, MABAC methods. Alternative sequences were achieved by these methods then combined using the TPOP method and a single ranking result was obtained.

Findings: As a result of subjective evaluations by decision makers, the most important criterion for the firm was determined to be the C_4 , Quality. It is seen that the A_2 alternative was happened to be as the best alternative according to the results of all MCDM methods. When the Spearman Correlation Coefficient is analysed between the results coming from methods used in the comparative analysis and the fuzzy FUCOM&MARCOS method, it is seen that the degree of correlation was calculated as close to 1 or 1.

Results: In this study, fuzzy FUCOM and fuzzy MARCOS methods were used together for the first time and these methods were applied supplier selection problem with this study. In addition, there are very few studies on the TPOP method, and it is thought that this study would also contribute to the researches related to this field.

Keywords: FUCOM, MARCOS, TPOP, Fuzzy Logic, Supplier Selection

June 2021, 84 pages

İÇİNDEKİLER

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
GİRİŞ	1
KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Tedarikçi Seçiminde Yapılan ÇKKV Çalışmaları	3
2.2. FUCOM ve Bulanık FUCOM Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar	8
2.3. MARCOS ve Bulanık MARCOS Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar	16
MATERYAL VE METOT	19
3.1. Tedarikçi Seçimi	19
3.2. Çok Kriterli Karar Verme	21
3.3. Bulanık Küme Kuramı	22
3.4. Bulanık FUCOM Yöntemi	24
Adım 1: Karar kriterlerinin belirlenmesi	25
Adım 2: Kriterlerin sıralanması	25
Adım 3: Üçgensel bulanık sayılar kullanılarak kriterlerin karşılaştırılması	25
Adım 4: Optimum bulanık ağırlıkların hesaplanması	26
Adım 5: Çoklu karar vericinin bulunduğu durumda nihai ağırlıkların hesaplanması	27
3.5. Bulanık MARCOS Yöntemi	28
Adım 1: İlk karar verme matrisinin oluşturulması	28
Adım 2: Genişletilmiş başlangıç matrisinin oluşturulması	28
Adım 3: Bulanık başlangıç matrisinin (X) normalleştirilmesi	29
Adım 4: Ağırlıklandırılmış genişletilmiş matrisin hesaplanması	29
Adım 5: Anti-ideal ve ideal çözüm satırları için alternatiflerin kriter değerlerinin toplanması	29
Adım 6: Her alternatifin anti-ideal ve ideal çözüme göre fayda derecelerinin hesaplanması	30
Adım 7: Bulanık $\tilde{T}_i$ matrisinin hesaplanması	30
Adım 8: İdeal $f(\tilde{K}_i^+)$ ve anti-ideal $f(\tilde{K}_i^-)$ çözümüne ilişkin fayda fonksiyonlarının belirlenmesi	30
Adım 9: Toplam fayda fonksiyonu değerlerinin hesaplanması	30
Adım 10: Sonucun yorumlanması	31
3.6. TPOP Yöntemi	31
Adım 1. Başlangıç matrisinin oluşturulması	31
Adım 2. Başlangıç matrisinin normalize edilmesi	32
Adım 3. Alternatiflerin entropi değerlerinin hesaplanması	32
Adım 4. ÇKKV yöntemlerinin her biri için görünen ağırlığın (sp) hesabı	32
Adım 5. s'_p değerinin hesaplanması	32

Adım 6. S'_p değerinin hesaplanması.....	32
Adım 7. ÇKVV yöntemlerinin her biri için kesin ağırlığın hesaplanması.....	32
Adım 8. Kesin ağırlıklarının(w_j) normalize edilmesi.....	33
Adım 9. Alternatiflerin üssel ağırlıklı normalleştirilmiş nihai seçim değerlerinin hesaplanması.	33
Adım 10. Alternatifler için nihai seçim indeksinin hesaplanması.	33
Adım 11. Alternatiflerin sıralanması.....	34
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	35
AŞAMA 1: Problemin Tanımlanması	36
AŞAMA 2: Bulanık FUCOM Yöntemiyle Kriter Ağırlıklarının Tespiti	37
Adım 1. Kriterlerin Sıralanması ve Üçgensel Bulanık Sayılar Kullanılarak Kriterlerin Karşılaştırılması	37
Adım 2. Optimum Bulanık Ağırlıkların Hesaplanması	39
Adım 3. Çoklu Karar Verici Ağırlıklarının Birleştirilmesi ve Nihai Ağırlıkların Hesaplanması	45
AŞAMA 3: Bulanık MARCOS Yöntemiyle Alternatiflerin Sıralanması.....	45
Adım 4. İlk Karar Verme Matrisinin Oluşturulması	45
Adım 5. Genişletilmiş Başlangıç Matrisinin Oluşturulması	49
Adım 6. Bulanık Başlangıç Matrisinin Normalleştirilmesi.....	50
Adım 7. Ağırlıklandırılmış Genişletilmiş Matrisin Hesaplanması	51
Adım 8. Her Alternatifin $\tilde{S}_i$ Değerlerinin ve Anti-İdeal, İdeal Çözüme göre Fayda Derecelerinin Hesaplanması ($\tilde{K}_i^-, \tilde{K}_i^+$)	52
Adım 9. Bulanık $\tilde{T}_i$ Matrisinin Hesaplanması	53
Adım 10. İdeal $f(\tilde{K}_i^+)$ ve Anti-İdeal $f(\tilde{K}_i^-)$ Çözümüne İlişkin Fayda Fonksiyonlarının Belirlenmesi	53
Adım 11. Toplam Fayda Fonksiyonu Değerlerinin Hesaplanması ve Alternatiflerin Sıralanması.....	54
AŞAMA 4: Karşılaştırmalı Analiz	54
Adım 12. Bulanık WASPAS, Bulanık EDAS, Bulanık ARAS ve Bulanık MABAC ile Alternatif Sıralamalarının Belirlenmesi	54
Adım13. TPOP Yöntemi ile Nihai Alternatif Sıralamalarının Belirlenmesi	56
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR.....	59
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Genişletilmiş tedarik zinciri ağı (Eymen, 2007).	19
Şekil 2. Tedarikçi seçim süreci (Gökalp ve Soylu, 2010).	20
Şekil 3. Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi.	23
Şekil 4. Önerilen bulanık FUCOM&MARCOS modeli için akış diyagramı.	35



TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1. Tedarikçi Değerlendirme için Literatür Makaleleri.....	3
Tablo 2. FUCOM Yöntemi Versiyonları ve Bu Yöntemlerin Birlikte Kullanıldığı ÇKKV Yöntemleri.....	14
Tablo 3. MARCOS Yöntemi Versiyonları ve Bu Yöntemlerin Birlikte Kullanıldığı ÇKKV Yöntemleri.....	17
Tablo 4. Dickson'ın Tedarikçi Seçim Kriterleri	21
Tablo 5. Kriter Değerlendirme Tablosu.....	37
Tablo 6. Kriter Değerlendirme için Dilsel İfadelerin Üyelik Fonksiyon Değerleri.....	38
Tablo 7. KV'lerin Bulanık Dilsel İfade Değerlendirmeleri.....	39
Tablo 8. KV'lerin Bulanık Sayı Değerleri ile Değerlendirmeleri.....	39
Tablo 9. Bulanık Kriter Ağırlıkları	43
Tablo 10. DMC(χ) Değerleri.....	44
Tablo 11. Kriterlerin Her Bir KV için Nihai Değeri.....	44
Tablo 12. Kriterlerin Bulanık FUCOM Sonucu Nihai Ağırlık Değerleri.....	45
Tablo 13. Alternatif Değerlendirme için Dilsel İfadelerin Üyelik Fonksiyon Değerleri.....	46
Tablo 14. KV ₁ 'in Dilsel Değerlendirmeye Bağlı Bulanık Matris Değerlendirmesi	46
Tablo 15. KV ₂ 'nin Dilsel Değerlendirmeye Bağlı Bulanık Matris Değerlendirmesi	47
Tablo 16. KV ₃ 'ün Dilsel Değerlendirmeye Bağlı Bulanık Matris Değerlendirmesi.....	47
Tablo 17. KV ₄ 'ün Dilsel Değerlendirmeye Bağlı Bulanık Matris Değerlendirmesi.....	48
Tablo 18. Başlangıç Bulanık Matris Değerlendirmesi.....	48
Tablo 19. Genişletilmiş Başlangıç Karar Matrisi	49
Tablo 20. Normalleştirilmiş Genişletilmiş Başlangıç Karar Matrisi	50
Tablo 21. Ağırlıklandırılmış Genişletilmiş Başlangıç Karar Matrisi	51
Tablo 22. Alternatiflerin Fayda Dereceleri	52
Tablo 23. T_i Değerleri.....	53
Tablo 24. İdeal ve Anti-İdeal Çözüme İlişkin Fayda Fonksiyonları	53
Tablo 25. $f(K_i)$ Değerine Bağlı Alternatif Sıralamaları.....	54
Tablo 26. Bulanık FUCOM tabanlı ÇKKV yöntemlerinin Karşılaştırmalı Sıralamaları	55
Tablo 27. ÇKKV Yöntemlerine göre Alternatifler ve Normalize Edilmiş Değerler	56
Tablo 28. Çeşitli Parametrelerin ve Kesin Ağırlığın Hesaplanması	56
Tablo 29. Nihai Sıralama Matrisi.....	57
Tablo 30. Önerilen Model ve TPOP nihai sıralamaları	57

KISALTMALAR DİZİNİ

AGV	: Automated Guided Vehicles
AHP	: Analytic Hierarchy Process- Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	: Analytical Network Process- Analitik Ağ Prosesi
ARAS	: Additive Ratio Assessment
BWM	: Best Worst Method
CCSD	: Correlation Coefficient and The Standard Deviation Method
CoCoSo	: Combined Compromise Solution
CODAS	: Combinative Distance Based Assessment
CRITIC	: Critria Importance Thorough Inter Critria Correlation
CSM	: Conjunctive Screening Method- Bağıntılı Tarama Yöntemi
CSR	: Corporate Social Responsibility- kurumsal sosyal sorumluluk
CWW	: Computing with Word
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇÖKV	: Çok Ölçütlü Karar verme
DEA	: Data Envelopment Analysis- Veri Zarflema Analizi
DEMATEL	: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DMC	: Deviation from Maximum Consistency-Maksimum Tutarlılıktan Sapma
EDAS	: Evaluation Based on Distance from Average Solution
EDAS-M	: Evaluation Method Based on the Distance from the Average Solution in the Minkowski Space
FANP	: Fuzzy Analytical Network Process- Bulanık Analitik Ağ Prosesi
FIS	: Fuzzy İnference System- Bulanık Çıkarım Sistemi
FUCOM	: Full Consistency Method- Tam Tutarlılık Yöntemi
GDANP	: Grey DEMATEL ANP
GP	: Goal Programing- Hedef Programlama
GRA	: Grey Relational Analysis
HP-SVM	: Hierarchical Potential Support Vector Machine- Hiyerarşik Potansiyel Destek Vektör Makinesi
IoT	: Internet of Things- Nesnelerin İnterneti
IR- Interval	: Interval Rough
ISM	: Interpretive Structural Modeling-Yorumlayıcı Yapısal Modelleme
IT2F	: Interval type-2 fuzzy
ITARA	: Indifference Threshold-Based Attribute Ratio Analysis Method
JIT	: Just in Time

KDS	: Karar Destek Sistemi
MABAC	: The Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison
MADM	: Multiple Attribute Decision Making
MARCOS	: Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution- Uzlaşık Çözümüne Göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama Yöntemi
MCGP	: Multi-Choice Goal Programming
MODM	: Multiple Objective Decision Making
MOLP	: Objective Linear Programming-Çok Amaçlı Doğrusal Programlama
NGT	: Nominated Group Technique- Nominal Grup Tekniği
PCA	: Principal Component Analysis-Temel Bileşen Analizi
PIPRECIA	: Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment
PROMETHEE	: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
ROC	: Rank Order Centroid
SAW	: Simple Additive Weighting
SWARA	: Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis
TBL	: Triple Bottom Line
TPOP	: Technique of Precise Order Preference- Kesin Tercih Sıralama Tekniği
VATOPSIS	: Vector-Aided TOPSIS
VIKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

GİRİŞ

Tedarik zinciri kavramı işletmeler için ürünün hammaddeden son nihai ürüne ve hatta onun son müşteriye ulaştırılması süreçlerini kapsayan geniş bir kavramdır. Bu sürecin etkili bir şekilde yönetilmesi işletmeler için oldukça önemlidir. Bunun başlıca nedenin tedarik zinciri yönetiminin geniş bir uygulama alanına sahip olması ve bu alanda yapılacak olan küçük bir iyileştirmenin bile işletmelere büyük bir yarar sağladığının görülmesidir. Bu noktada uygun tedarikçinin seçimi tedarik zincirini oluşturan kavramlardan yalnızca biridir.

Tedarikçi, ürünün kalitesini, üretim süresini, üretim maliyetini ve hatta nihai ürünün son müşteriye teslimine kadar olan süreyi doğrudan etkiler. Bu sebeple işletmeler, tedarikçi ile koordineli çalışmanın önemini fark ederek iyileştirme çalışmaları yapmaktadırlar. Bu iyileştirmelerden biri işletmenin ihtiyacını karşılayacak uygun tedarikçilerin seçilmesi veya işletmenin sahip olduğu mevcut tedarikçilerin performanslarının değerlendirilmesi sürecidir. Tedarikçi seçimi sürecinde yalnızca en iyi fiyat ile en iyi teslimatı sunan tedarikçiyi bulmanın ötesinde, işletmelerin kaynaklarının kullanımındaki optimal faydaya bakılarak tedarikçi seçimi hedeflemelidir.

Optimal fayda değeri tedarikçi seçiminde tedarikçinin performansının ölçüsüdür ve bu hususta optimal fayda değerini etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar teslimat performansı, geçmiş performansı, garanti ve politikaları, üretim tesisleri ve kapasitesi, fiyat, teknik yeterlilik, sektördeki finansal pozisyon, prosedürel uyum, iletişim, sektördeki itibar, iş arzusu, yönetim ve organizasyon, tamir, tutum, izlenim, paketlenme yeteneği, coğrafi konum, geçmiş iş miktarı, eğitim destekleri gibi çoğaltılabilir (Dickson, 1966).

Tedarikçi seçimi belirsizlik altında birbiri ile çelişen birçok unsurdan oluşan bir karar problemidir. Karar problemlerinde gerekli olan birkaç temel öge bulunmaktadır. Bu öğeler: Karar vericiler, amaç, karar ölçütleri (nitelik, kriter), seçenekler, olaylar, ölçüt ağırlıkları, ölçme ve sonuçtur (Özbek, 2017:15). İşletmelerin karlarını arttırmak amacıyla yapacağı tedarikçi seçiminde optimal faydayı etkileyen unsurlar da göz önüne alınarak aynı anda birden çok unsurun önemli olduğu bir karar probleminin çözümü Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile mümkündür.

ÇKKV, yöneylem araştırmasının popüler kollarından biri olup birbiri ile çelişen veya birden fazla kriterin olduğu durumlarda sıralama, seçme veya sınıflandırma için kullanılan yöntemlerden oluşur. Tedarikçi seçiminde birbiri ile çelişen kriterlerin olması ve bu kriterlere

bağlı olarak birden fazla alternatif içinden seçim yapılması nedeni ile ÇKKV yöntemleri araştırmacılar tarafından sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışmada tedarikçi seçim problemini çözmek için bulanık FUCOM (Full Consistency Method- Tam Tutarlılık Yöntemi) ve bulanık MARCOS (Uzlaşık Çözümüne Göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama Yöntemi-Measurement Alternatives and Ranking according to the COmpromise Solution) yöntemleri kullanılarak karar vericilerin subjektif değerlendirmelerine dayanan optimizasyon temelli yeni bir ÇKKV modeli önerilmiştir. Geliştirilen bulanık FUCOM&MARCOS modelindeki bulanık FUCOM ile karar vericilerin subjektif değerlendirmelerinden yola çıkılarak optimum kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Bu ağırlıklar kullanılarak alternatifler arasından en iyi ve en kötü noktaya uzaklığa göre uzlaşık çözüm bulmayı hedefleyen bulanık MARCOS yöntemi ile tedarikçi seçimi yapılmıştır. Ayrıca, önerilen bulanık FUCOM&MARCOS modelinin geçerliliğinin belirlenmesi için bulanık FUCOM&WASPAS, bulanık FUCOM&EDAS, bulanık FUCOM&ARAS, bulanık FUCOM&MABAC yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Karşılaştırmalı analiz sonucu elde edilen alternatif sıralamaları ile önerilen modelden elde edilen sıralama, karar vericilerin karar verme sürecini netleştirmek için oldukça yeni bir yöntem olan TPOP (Technique of Precise Order Preference- Kesin Tercih Sıralama Tekniği) yöntemi ile birleştirilmiştir. Ayrıca farklı yöntemlere ait alternatif sıralamaları arasındaki ilişki Spearman Korelasyon Katsayısı ile belirlenmeye çalışılmış ve önerilen modelin uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

Bulanık FUCOM ve bulanık MARCOS yöntemi ilk defa bu çalışmada birlikte kullanılmış ve bu yöntemler tedarikçi seçimine ilk defa bu çalışmada birlikte uygulanmışlardır. Önerilen model bu sebeple literatürde ilk olma niteliğine sahiptir. Ayrıca TPOP yöntemi ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın belirtilen özellikleri nedeniyle literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bulanık FUCOM&MARCOS modeli Kuzeydoğu Anadolu bölgesinde Boya&Kimya Endüstrisinde yer alan sektöründe lider bir firmanın dekoratif taş tedarikçileri arasından seçim yapmak için kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde kuramsal temeller başlığı altında tedarikçi seçiminde kullanılan ÇKKV, FUCOM ve bulanık FUCOM, MARCOS ve bulanık MARCOS yöntemleri ile yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde geliştirilen bulanık FUCOM ve bulanık MARCOS yöntemleri açıklanmış; dördüncü bölümde ise uygulama ile birlikte karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Sonuç bölümünde çalışma hakkında genel bir özet sunulmuştur.

KURAMSAL TEMELLER

Bu tez kapsamında tedarik seçiminde yapılan ÇKKV çalışmaları, FUCOM ve bulanık FUCOM, MARCOS ve bulanık MARCOS çalışmaları olmak üzere 3 başlıkta literatür taranmıştır.

2.1. Tedarikçi Seçiminde Yapılan ÇKKV Çalışmaları

Teknolojik gelişmeler ile birlikte istenilen ürün veya hizmete ulaşımın kolaylaşması küreselleşme kavramını ortaya koyarak firmaların yerel pazardan uluslararası pazara geçişini sağlamıştır. Bu şekilde firmalar ulaşabilecekleri maksimum müşteri kapasitenin dışına çıkarak uluslararası pazarda yer edinme için marka değerlerini iyileştirme çalışmalarına özen göstermişlerdir. Bu iyileştirme alanlarından bir tanesi tedarik zinciri yönetimidir. Tedarik zinciri yönetimi içerisinde talep ve sipariş yönetimi, satın alma, planlama, stok yönetimi vb. gibi kavramlar bulunmaktadır ve tedarik zinciri yönetimi içerisindeki konular incelendiğinde bunların doğrudan tedarikçi ile ilişkili olduğu görülmektedir. Artan müşteri sayısı ile tedarikçi sayısı sonucu uygun tedarikçinin seçimi veya mevcut tedarikçilerinin performansının değerlendirilmesi firmalar için önemli bir karar problemi olarak görülmektedir. Bu karar problemini çözmek için literatürde 1960'lı yıllardan beri çeşitli tedarikçi seçim veya değerlendirme kriterleri oluşturulmuştur.

Genel olarak tedarik seçimi ve değerlendirilmesi yönündeki kriterler incelendiğinde Dickson'ın 1966 yılındaki çalışması öncü olarak karşımıza çıkmaktadır. Dickson'ın çalışmasında Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'daki 170 şirketin satın alma yöneticisinin yaptığı anketlere dayanarak 23 kapsamlı tedarikçi seçim kriteri belirlemiş ve en önemli üç kriterin kalite, maliyet ve performans olduğunu ortaya koymuştur.

Literatürde Dickson'un(1966) belirlediği kriterlerden yararlanan birçok çalışma bulunmaktadır. Tablo 1'de Dickson'ın (1966) kriterlerinden yararlanan, tedarikçi seçimi veya tedarikçi değerlendirme konularında ÇKKV yaklaşımlarını kullanan çalışmalar sunulmuştur.

Tablo 1. Tedarikçi Değerlendirme için Literatür Makaleleri

Yazar ve Yıl	Kullanılan Yöntemler	Kullanılan Kriterler
Liao and Kao (2010)	Taguchi Kayıp Fonksiyonu, AHP (Analytic hierarchy process- Analitik Hiyerarşi Süreci), GP (Goal	Ürün kalitesi, fiyat, teslim süresi, hizmet memnuniyeti, garanti derecesi

	Programing- Programlama	Hedef
Guo <i>et al.</i> (2009)	HP-SVM (Potential Support Vector Machine- Potansiyel Destek Vektör Makinesi) Karar Ağacı	Kalite, izlenim, fiyat, finansal pozisyon, garantiler ve iddialar, konum konumu, teslimat, müşterilere yanıt, satış sonrası hizmetler, operasyonel kontroller, teknik destek, JIT(Just in Time)'in yeteneği, eğitim yardımları, kullanım kolaylığı, tutumlar, iş miktarı, performansla ilgili geçmiş veriler, çevre dostu, e-ticaret yeteneği, itibar, paketleme yeteneği, iletişim sistemi, sürdürülebilirlik, üretim kapasitesi, karşılıklı düzenleme, işçi ilişkileri, ürünün görünümü, teknolojilerin uygulanması, katalog teknolojisi, yenilik yeteneği
Lam <i>et al.</i> (2010)	PCA (Principal Component Analysis-Temel Bileşen Analizi)	Toplam maliyet, fiyat istikrarı, hataların önlenmesi, görünüm ve amaç, zamanında teslimat, teknik yardım ve destek, işbirliği ve iletişim, alıcı-tedarikçi ilişkisi, yetenek, güvenilirlik, esneklik, ödeme koşulları, firmanın geçmiş itibarı
Lin <i>et al.</i> (2010)	ANP (Analytical Network Process- Analitik Ağ Prosesi), ISM (Interpretive Structural Modeling-Yorumlayıcı Yapısal Modelleme)	Teslimat Yönetimi Yeteneği: teslim edilen içeriklerin doğruluğu, zamanında teslimat, teslimat ayarlama esnekliği. Kalite yönetimi yeteneği: kalite test verilerinin doğruluğu, hata oranı, tekrarlanan hatayı önleme yeteneği, hata değerlendirme oranı. Entegre hizmet yeteneği: müşterilerin talebi için yanıt süresi, yetkili servisin etkinliği, müşterilerin özel isteklerinin karşılanması, bilgilendirme için müşteri hizmetleri faaliyetleri. Fiyat: test fiyatı, kırık ürünler için geri ödeme oranı ve kabul koşulları
Liao <i>et al.</i> (2011)	TOPSIS (Techniques for Order Preference by Similarity to İdeal Solution), MCGP (Multi-Choice Goal Programming)	İlişki yakınlığı, ürün kalitesi, teslimat yetenekleri, garanti seviyesi, deneyim süresi
Kannan <i>et al.</i> (2013)	Bulanık MOLP (Multi-Objective Linear Programming-Çok Amaçlı Doğrusal Programlama), Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS	Maliyet, kalite, teslimat, teknoloji yeteneği, çevresel yeterlilik
Govindan <i>et al.</i> (2013)	Nitel Performans Değerlendirmesi, Bulanık TOPSIS	Maliyetler: ürün maliyeti, sipariş maliyeti, lojistik maliyeti Teslimat güvenilirliği: teslim süresi, zamanında teslimat Kalite: kalite güvencesi, reddetme oranı Teknoloji Yeteneği: teknoloji seviyesi, AR-GE yeteneği, tasarım yeteneği
Rouyendegh and Saputro (2014)	MCGP	Kapasite, üretim kapasitesi, yanıt süresi, üretim teknolojisi, fiyat, garanti, prosedürel uygunluk, satın alma işlemi, iletişim sistemi,

		kalite, tamamlanmış sevkiyat belgesi, miktar, zamanında teslimat, mali durum, konum, itibar, yönetim ve organizasyon
Dargi <i>et al.</i> (2014)	NGT (Nominated Group Technique- Nominal Grup Tekniği), FANP(Fuzzy ANP)	Kalite, fiyat, üretim kapasitesi, teknik yetenek ve tesis, hizmet ve teslimat, itibar, coğrafi konum
Rezaei <i>et al.</i> (2014)	CSM (Conjunctive Screening Method- Bağıntılı Tarama Yöntemi), AHP	Pazar uzmanlığı, yönetim ve organizasyon, medya faaliyetleri, çeşitlilik, finansal istikrar, itibar, CSR(Corporate Social Responsibility- kurumsal sosyal sorumluluk), teslimat esnekliği ve yanıt süresi, destek hizmetleri, teslimat, ürün kalitesi, maliyet / fiyat
Abdollahi <i>et al.</i> (2014)	ANP, DEA Data Envelopment Analysis- Veri Zarflama Analizi), Bulanık DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)	Çeviklik kriterleri: işgücü yeteneği, teknolojik yetenek, yönetsel sistem yeteneği, kültürel yetenek Yalınlik kriterleri: maliyet, kalite, teslimat
Rezaei <i>et al.</i> (2016)	CSM, BWM (Best Worst Method)	Teslimat maliyeti, teslimat süresi, özel alanında uzmanlık, fiyat, üretim tesisleri ve kapasitesi, kalite, sertifikasyona uygunluk, sürdürülebilirlik performansı
Dweiri <i>et al.</i> (2016)	AHP, KDS(Decision Support Systems- Karar Destek Sistemi)	Fiyat, kalite, teslimat, hizmet
Hu and Yu(2016)	Voting Method(Oylama yöntemi), GP	Esneklik: talebe tepki, arz çeşitliliği, teknik destek, finansal ödeme Kalite: kalite sistemi, ürün kusur oranı, parça güvenilirliği, süreç verimi Teslimat: teslim süresi, mühendislik değişikliğine hız, zamanında teslimat, doluluk oranı Maliyetler: fiyat, işletme maliyetleri, lojistik maliyetleri, hizmet maliyetleri
Santos <i>et al.</i> (2017)	AHP, Bulanık 2-tuple CWW (Computing with Word)	Ürün kalitesi, sık ve dürüst iletişime açıklık, paketleme yetenekleri, şeffaflık, teslimat süreleri, etik değerler, satış sonrası destek, tedarikçi ile önceki deneyim, faturalama ve sipariş işleme sistemi, ihale mevzuatına uyum, teslimat güvenilirliği, kalite taahhüdü
Cengiz ve diğerleri(2017)	Uzman Paneli, ANP	Maliyet, kalite, teslimat, ödeme yöntemi, coğrafi konum, tedarikçi profili, alıcı-tedarikçi ilişkileri, çevreyle ilgili özellikler, tedarikçi kapasitesi, teknik olarak kabul edilen malzemeler
Govindan <i>et al.</i> (2017)	Simos Procedure (Simos Prosedürü), PROMETHEE I-II(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation I-II)	Maliyet, kalite, teslimat, teknoloji yeteneği, çevresel etkiler
Gören (2018)	DEMATEL, Taguchi Loss Functions, Bi-Objective Mathematical Model(İki Amaçlı Matematiksel Model)	Fiyat, verimlilik, tedarikçinin kapasitesi, uzun vadeli ilişki - süreklilik, teslim süresi, kalite, üretim teknolojisi, duyarlılık, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi, destekleyici faaliyetler, çevre yönetim sistemi, çevre dostu ürün tasarımı, kaynak tüketimi
Sureeyatanapas <i>et al.</i> (2018)	ROC(Rank Order Centroid), TOPSIS	Ürün kalitesi, ambalaj kalitesi, ürün fiyatı, teslimat performansı, servis kolaylığı
Kumar <i>et al.</i> (2018)	Bulanık TOPSIS	Maliyet, teslimat yetenekleri, ürün kalitesi, performans, itibar
Liu <i>et al.</i> (2019)	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS	Çevresel kriterler: tatlı su ötrofikasyonu, karasal asitlenme, insan toksisitesi, fosil tükenmesi, su tükenmesi, iklim değişikliği, arazi işgali, tatlı su eko-toksisitesi, deniz eko-toksisitesi

				Ekonomik kriterler: yatırım <5 yıl, yatırım 5-9 yıl, yatırım 10-14 yıl, yem üretim maliyeti, toplam yem sistemi maliyeti, atık, işçilik maliyeti
				Sosyal kriterler: çalışma saatleri, biyoçeşitlilik çeşitleri, biyoçeşitlilik türleri, yerellik
Alavi <i>et al.</i> (2021)	BWM, FIS(Fuzzy Inference System- Bulanık Çıkarım Sistemi)			Ekonomik kriterler, döngüsel kriterler, sosyal kriterler
	Machine Learning(Makine öğrenmesi)			
Mubarik <i>et al.</i> (2021)	GDANP(Grey ANP)	DEMATEL		Ekonomik kriterler: kültür ilişkisi, maliyet, kalite, teknoloji, süreç esnekliği, teslim süresi
				Çevre kriterleri: sürdürülebilir tasarım, kirlilik kontrolü, yönetim taahhüdü, çevre yönetim sistemi, karbon emisyonları, işbirliği ortamı

Liao and Kao (2010), en iyi tedarikçiyi seçmek için Taguchi kayıp fonksiyonu, AHP ve çoktan seçmeli hedef programlama modeli ile bütünleşik bir yaklaşım oluşturmuştur. Guo *et al.* (2009), tedarik seçiminde kullanılmak üzere, HP-SVM ve karar ağacını, tedarikçi seçimini çok sınıflı sınıflandırma problemine dönüştürerek uygulamıştır. Lam *et al.* (2010), malzeme tedarikçisi seçim problemini mülk geliştiricilerinin perspektifinden çözmek için Bulanık PCA'ya dayalı bir seçim modelini araştırmıştır. İlk olarak, üçgen bulanık sayılar, karar vericilerin öznel yargılarını ölçmek için kullanılmış daha sonra PCA, seçim kriterlerinin verilerini özetlemek ve bunlar arasındaki çoklu bağlantı olgusunu ortadan kaldırmak için kullanılmıştır. Son olarak, tedarikçileri sıralamak için PCA'nın doğrusal birleşik puanı (SCOREPCA) kullanmıştır. Lin *et al.* (2010), bayi seçimi probleminde farklı boyutların karşılıklı bağımlılığı ve geri bildirim sorunlarıyla başa çıkmak için hibrit bir yöntem önermiştir. 4 ana boyut arasındaki ilişki ISM uygulanarak değerlendirilmiş ve her boyutun ağırlıkları ANP kullanılarak türetilmiştir. Liao *et al.* (2011), saat firması için üretimde gerekli ana malzemeler için tedarikçi seçiminde hem somut hem de soyut kriterleri göz önünde bulundurarak çözümleme sağlamışlardır. Kannan *et al.* (2013), otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın ekonomik ve çevresel kriterlere göre en iyi yeşil tedarikçileri derecelendirmek, seçmek ve ardından bunlar arasında optimum sipariş miktarlarını tahsis etmek için bulanık çok özellikli fayda teorisi ve çok amaçlı programlamanın entegre bir yaklaşımı sunmuştur. Govindan *et al.* (2013), Elkington(1997) tarafından geliştirilen TBL(Triple Bottom Line) modeli kullanılarak çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlar bakımından sürdürülebilir tedarikçi seçimine odaklanmıştır. Rouyendegh and Saputro(2014), gübre ve Kimyasal sektöründe yer alan bir firma tedarikçi seçiminde bulanık TOPSIS ile tedarikçiler sıralamış ve bu yöntem sonucundaki veriler MCGP ile birleştirilerek her bir tedarikçinin sipariş miktarları belirlenmiştir. Dargi *et al.*

(2014), çalışma otomotiv sektörüne ait tedarikçi seçim kriteri geliştirme amacıyla yapılmıştır. Literatürde en çok kullanılan kriterler NGT ile elimine edilmiş ve FANP ile alternatifler seçilmiştir. Rezaei *et al.* (2014), havayolu perakende sektöründe tedarikçi seçimini incelemektedir. İlk aşamada potansiyel tedarikçilerin başlangıç kümesini azaltmayı amaçlayan CSM yöntemi kullanılmıştır. İkinci aşamada, tedarikçilerin ana kriterlere ve alt kriterlere göre değerlendirildiği bulanık AHP kullanılmıştır. Abdollahi *et al.* (2014), literatür yer alan çalışmalardaki kriterler kullanılarak bir kuruluşun hem yalınlığını hem de çevikliğini temsil eden en iyi kriterler belirlenmiştir. Yalınlık ve çeviklik kriterleri kapsamında ana ve alt kriterler bulunmakla birlikte en uygun tedarikçi seçimi için bir metodoloji sunulmuş ve sayısal örnek ile test edilmiştir. Rezaei *et al.* (2016), gıda sektöründe yemeklik yağ endüstrisinde yer alan bir firmanın tedarikçi seçiminde, ön seçim, seçim ve birleştirme dahil olmak üzere yenilikçi bir üç aşamalı bir tedarikçi seçim metodolojisi önerilmektedir. Ön eleme adımı CSM yöntemi kullanılır. Belirlenen nitelikli tedarikçilerin BWM ile değerlendirilir. Dweiri *et al.* (2016), bu çalışma otomotiv sektöründe tedarikçi seçiminde AHP'ye bağlı bir KDS'nin geliştirilmesi amacıyla yapılmıştır. Expert Choice ile duyarlılık analizi yapılarak sistem test edilmiştir. Hu and Yu (2016), elektronik fason imalatçı seçim problemi üzerinde durarak seçilme süreci için yeni bir metodoloji önerilmektedir. Oylama yöntemini GP modeli ile birleştirerek seçim yapılır ve sipariş miktarları belirlenir. Cengiz ve diğerleri (2017), inşaat sektöründeki tedarik zinciri yönetimi alanında tedarikçi seçimi için ANP yöntemini kullanmışlardır. Govindan *et al.* (2017), yeşil tedarik seçimi Simos Prosedürü ile PROMETHEE I-II yöntemini kullanmışlardır. Gören(2018), satış kayıplarını dikkate alarak sürdürülebilir tedarikçi seçimi konusunda çalışılmıştır. Tedarikçi değerlendirmesi sonucunda sipariş miktarları tedarikçilere dağıtılmıştır. DEMATEL ile ağırlıklar belirlenmiş Taguchi kayıp fonksiyonu ile sıralama yapılmış ve iki amaçlı matematiksel model yardımıyla sipariş miktarları tahsis edilmiştir. Sureeyatanapas *et al.* (2018), gıda sektöründe yumurta tedarikçisine ait tedarik seçiminde örnek gösterilerek bir metodoloji önerilmiştir. ROC yöntemi ile ağırlıklar bulunurken TOPSIS yöntemi ile sıralama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kumar *et al.* (2018), belirsiz ortamda üçgensel bulanık sayılar ile entegre bir TOPSIS yöntemi kullanarak tedarikçi seçimi yapılmıştır. Kriter ağırlıklarının tedarikçilerin performans tahminlerine olası etkisini değerlendirmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Liu *et al.* (2019), sürdürülebilir tedarikçi seçimi konusunda model önerilmiştir. Önerilen model, objektif ve sübjektif verilerin belirsizliğini ortadan kaldırmak için üçgen bulanık sayıları kullanarak AHP ve TOPSIS ise bütünleşmiş bir yöntem üzerinde çalışılmıştır. Alavi *et al.* (2021), Petrol&Kimya endüstrisinde yapılan uygulamada KDS önerilmiş, kullanıcıların ekonomik, sosyal ve döngüsel kriterleri ile bulanık BWM ve FIS yöntemleri

kullanılarak en uygun tedarikçiyi seçilmiştir. Mubarik *et al.* (2021), yeşil tedarikçi yönetimine ait tedarikçi seçiminde yeni bir metodoloji olarak GDANP yaklaşımını uygulamıştır.

Dickson'ın (1966) kriterlerinden yararlanan, tedarikçi seçimi veya tedarikçi değerlendirme konularında ÇKKV yaklaşımlarını kullanan çalışmalarda en fazla kullanılan ortak kriterin kalite kriteri olduğu gözlenmiştir. Kalite kriterini sırasıyla teslimat ve maliyet kriterleri takip etmiştir. Buna ek olarak yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda, tedarikçinin teknik yeterliliği değerlendirme kriteri olarak kullanmıştır. Ayrıca çalışmalar içinde aynı kriterlerin işletmenin yer aldığı sektöre göre özel tanımları ile kullanıldığı gözlenmektedir.

Yapılan çalışmalarda ÇKKV yöntemleri içerisinde AHP, ANP, DEMATEL yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte tedarikçi seçiminde BWM gibi yeni yöntemlerin de tercih edilmesine karşın bulanık FUCOM ve bulanık MARCOS yöntemlerini birarada kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın temel amacı da tedarikçi seçimi veya değerlendirilmesinde kullanılmamış yeni bir metodoloji kullanarak literatüre katkı sağlamaktır.

2.2. FUCOM ve Bulanık FUCOM Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar

Pamuçar *et al.* (2018) tarafından önerilen FUCOM yöntemi çeşitli karar problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi için bulanık sayılar, Z sayılar, kaba sayılar gibi farklı yaklaşımlar ve farklı ÇKKV yöntemleriyle birlikte kullanılmıştır.

Pamuçar *et al.* (2018) tarafından yapılan çalışmada BWM ve AHP yöntemleri ile FUCOM yöntemi karşılaştırılmış ve bu yöntemin diğer iki yöntemden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkarılmıştır. FUCOM yöntemi önerildiği tarihten bugüne kadar literatürde birden fazla çalışmada kullanılmıştır. Gün geçtikçe popüler olan bu yöntemin çeşitli yöntemlerle karşılaştırılması, yöntemin güvenilirliğini ön plana çıkarmaktadır. Aşağıda bu yöntem ile yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Zavadskas *et al.*'un 2018'de yaptıkları bir diğer çalışmada ise farklı otomatik yönlendirilen araçların, AGV (Automated Guided Vehicles) seçimi için ROV (Range of Value– Değer Aralığı) yöntemini kaba sayılarla birleştirerek R-ROV(Rough ROV) yöntemini geliştirmişlerdir. Makalede FUCOM ile kriter ağırlıkları bulunmuş ve R-ROV yöntemi ile seçim işlemi yapılmıştır. R-ROV yönteminin güvenilirliğini test etmek için R-WASPAS (Rough WASPAS), R-SAW (Rough Simple Additive Weighting) ve R-MABAC (Rough Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemleri kullanılmıştır. Duyarlılık analizinde yapılan çalışmada, Spearman'ın Korelasyon Katsayısı kullanılarak, önerilen yöntemin tüm uygulanan yöntemlerle arasında yüksek korelasyon olduğunu gösterilmiştir. Prentkovskis *et al.* (2018), bir firmanın lojistik hizmet kalitesinin ölçümünü

belirlemek ve iyileştirmek üzere yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem Delphi-FUCOM-SERVQUAL Modelinin birleşiminden oluşmaktadır. İlk olarak, kalite boyut sıralamasını belirlemek için Delphi yöntemi kullanarak müşterilere Google Formlar ile çevrimiçi anket sunulmuş ve kriterler belirlenmiştir. İkinci aşamada FUCOM kullanarak bu kalite boyutlarının ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Son aşamada ise SERVQUAL (hizmet kalitesi) modelini kullanarak kalite düzeyi veya belirlenen boşluklar arasındaki fark belirlenmiştir. Sonuçların geçerliliğini ve geliştirilen yöntemi test etmek için ANOVA, Duncan, Signum ve Ki-kare testleri yapılmıştır. Pamučar *et al.* (2019), makalesinde Sırbistan Cumhuriyeti'ndeki demiryolu altyapısı içindeki 10 hemzeminin yani karayolu ya da yaya trafiği güzergâhının demiryolu ile birleştiği kavşakların değerlendirmesini içeren bulanık FUCOM-MAIRCA modelinin uygulamasını sunmaktadır. Kriter ağırlıklarının değiştirilmesi ile sonucun değişip değişmemesi Spearman'ın kolerasyon katsayısı kullanılarak incelenmiştir. Nunić (2019), 5 potansiyel üretici, 7 değerlendirme kriterine göre FUCOM ve MABAC yöntemlerini kullanarak PVC üreticileri değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için FUCOM kullanılırken, PVC üreticisinin değerlendirilmesi ve seçilmesi için MABAC yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, duyarlılık analizinde, ARAS, WASPAS, EDAS(The Evaluation Based on Distance from Average Solution) ve SAW(Simple Additive Weighting) olmak üzere dört yöntemle karşılaştırılmıştır. Fazlollahtabar *et al.* (2019), depoda kullanılmak üzere forklift değerlendirmesini ve seçimini FUCOM-WASPAS modeli kullanılmıştır. Literatürde ilk kez bu yöntemler birlikte kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları FUCOM ile bulunmuş, sıralama için WASPAS'dan yararlanılmıştır. Ayrıca bu makalede FUCOM birçok karar vericiye ayrı ayrı uygulanarak geliştirilmiş, karar vericiler için ayrı ayrı oluşturulmuş ağırlıkları birleştirmede geometrik ortalama kullanılmıştır. Bu yöntemin tutarlılığını ölçmek için SAW ve ARAS yöntemleri kullanılmıştır. Nouredine and Ristic (2019), tehlikeli malzeme taşınması için rota planlama üzerine ÇKKV yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda FUCOM, TOPSIS ve MABAC yöntemlerini birlikte uygulanmıştır. 4 Alternatifin 5 kriterine göre değerlendirildiği makalede FUCOM kriter ağırlığının bulunmasında, TOPSIS ve MABAC rotaların seçiminde kullanılmıştır. Duyarlılık analizinde ağırlıkların değişimi ile sıralama değişimlerini inceledikleri 10 adet senaryo oluşturulmuş ve sıralamanın değişmediği tespit edilmiştir. Matić *et al.* (2019), inşaat firmasında sürdürülebilir tedarikçi seçimi için FUCOM'u kaba Dombi birleştiricisi ve Kaba COPRAS yöntemi ile birlikte kullanılarak ve yeni bir hibrit ÇKKV yaklaşımı geliştirilmiştir. Kriter ağırlıkları değiştirilerek duyarlılık analizi ve Kaba ARAS, Kaba WASPAS, Kaba SAW, Kaba MABAC yöntemleri ile karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Son olarak Spearman korelasyon katsayısı hesaplanmış ve yüksek kolerasyon elde edilmiştir. Božanić *et al.* (2019), kafes köprü inşaatı için yer seçiminde FUCOM ve MABAC yöntemini

birlikte kullanıldığı bir model oluşturulmuştur. Spearman korelasyon katsayısı hesaplanmış ve alternatiflerin kriterlere göre dikkatli bir şekilde değerlendirilmesinin gerekliliğinden bahsedilmiştir. Nenadić *et al.* (2019), FUCOM ve WASPAS yöntemlerini kullanarak Bosna Hersek içinde yer alan Derventa kasabası, Brod kasabası ve Prnjavor kasabasını kapsayan yolun tehlikeli bölümlerin sıralamasına yönelik bir çalışma yapmıştır. Starčević *et al.* (2019), yaptıkları çalışmada AHP yöntemi ve DEA kullanılarak operasyonlarda yer alacak askeri birimlerin donatılması için arazi aracı seçimi sorununu ele almaktadır. Kriterlerin göreceli öneminin belirlenmesi AHP yöntemi ile yapılmaktadır. AHP yöntemiyle sonuçlar önerilir. DEA modeline göre alternatiflerin verimliliği tanımlanır ve ayrıca alternatiflerin nihai sıralaması belirlenir. Bu yazıda FUCOM, BWM yöntemi ile birlikte oluşturulan yöntemin testinde kullanılmıştır. Çalışmada AHP-DEA yöntemlerine ait sıralama AHP, BWM, BWM-DEA, FUCOM, FUCOM-DEA yöntemlerinin sıralama sonuçları ile birlikte karşılaştırılmıştır. Cao *et al.* (2019), güneş panellerinin kurulumu için en uygun sağlayıcı firmanın seçiminde ÇKKV'den yararlanılmıştır. Gri sayılar kullanılarak yapılan bu çalışmada 6 ana kriter 30 alt kriter bulunmakla birlikte ağırlıklar SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) yöntemi ile FUCOM yönteminin birleşimi sonucu belirlenmiş olup bu ağırlıklar EDAS ve GRA(Grey Relational Analysis) yöntemleriyle 4 alternatifin seçiminde kullanılmıştır. Stević *et al.* (2019), sürdürülebilir tedarikçi seçimi için kireç üretim tesisinde uygulamak üzere FUCOM-Kaba aralıklı SAW modeli oluşturulmuştur. Çalışma, 3 Ana kriter olmak üzere toplamda 21 kriter temelinde gerçekleşmiştir. Ağırlıkların bulunmasında FUCOM yöntemi kullanılmıştır. ÇKKV kapsamında Kaba SAW yöntemi geliştirilmiştir. Oluşturulan model, sübjektifliği mümkün olan en düşük seviyeye düşürmeye ve belirsizlikleri ortadan kaldırmaya yönelik çözümü sunmaktadır. Çeşitli senaryolarla yöntem test edilmiş ve önceden elde edilen sonuçların kararlılığını doğrulamak için Spearman'ın korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Stefanović *et al.* (2019), işyerinde İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) faktörlerinin önemini belirlemeyi amaçlamışlardır. İSG yönetim sisteminden 28 sorumlu kişinin görüşlerine dayanarak, kriterlerin önemi, R-SWARA kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar FUCOM yöntemi ile karşılaştırılıp yöntemin doğruluğu karşılaştırılmıştır. Zagradjanin *et al.* (2019), önceden bilinmeyen kalabalık bir ortamda görevlerini yerine getiren ve bulut teknolojisine sahip birçok robotun yer aldığı bir yol planlama algoritması sunmaktadır. FUCOM robotların hareketini simetrik veya asimetrik olarak etkileyen faktörlerin ağırlıklarının tutarlı bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır. Değerlendirme için yolu hücrel olarak değerlendirmişlerdir. Verilerin işlenerek oluşturulduğu senaryolar ile uygun yol güzergâhı tespit edilmiştir. Adar vd. (2019) IoT (Internet of Things- Nesnelerin İnterneti)'nin insan faktörleri üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla çalışma gerçekleştirilmiştir. Genel olarak IoT cihazları

değerlendirilirken dikkate alınması gereken 13 insan faktörü belirlenmiş ve bu faktörleri FUCOM yöntemi kullanarak önceliklendirilmiştir. Buna göre en önemli faktör IoT cihazı için güven kriteri olmaktadır. Nunić and Stević (2019) yayımladıkları makalede FUCOM ve EDAS-M (EDAS in the Minkowski space) yöntemlerini birleştiren yeni bir entegre ÇKKV modeli oluşturulmuştur. Amaç, özneliği azaltmak ve karmaşık modelleri daha potansiyel çözümlerle çözmektir. Model, bir elektrikli aracın değerlendirilmesi ve seçimi örneği üzerinde test edilmiştir. FUCOM yöntemi, 5 kriterin ağırlık değerlerini belirlemek için uygulanmıştır. 12 farklı potansiyel çözümü sıralamak için EDAS-M yöntemi uygulanmıştır. Badi and Pamučar (2019)'da karla çevrili transit ülkelerdeki limanlar arasında ithalat veya ihracat için kullanılabilecek kriterler için genel bir çerçeve önermektedir. Limanlar arasında karşılaştırma yapmak için kullanılabilecek dokuz kriter belirlenmiştir. Bu kriterleri değerlendirmek için FUCOM kullanılmış ve en önemli kriter belirlenmiştir. Erceg and Mularifović (2019), Bosna Hersek'teki bir ahşap üretim firmasında tedarikçi seçimi yapılmıştır. 7 kriterin ağırlıklarını belirlemek için FUCOM uygulanırken, 6 tedarikçilerin sıralaması WASPAS yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kriter ağırlıklarının modellenmesi ile oluşturulan duyarlılık analizi ile kontrol edilir. Duyarlılık analizinde, kriterlerin önemindeki değişikliklerin arttırılıp azaltılmasıyla tedarikçilerin sıralamalarının etkileyebileceği gösterilmiştir. Erceg *et al.* (2019), depolama sistemindeki stok yönetimini değerlendirmek için ABC analizi, FUCOM ve IR (Interval Rough) CoCoSo (Combined Compromise Solution) entegrasyonunu içeren yeni bir model oluşturulmuştur. Tedarik maliyetleri esas alınarak, depolama sistemindeki hangi envanterin nicel olarak en çok payı temsil ettiğini belirlemek için ürünleri üç kategoriye ayıran ABC analizi, farklı kısıtlamalarla birlikte uygulanmıştır. FUCOM uygulaması, Grup A, B ve C'nin her birindeki kriterlerin ağırlık katsayılarını tanımlar. Alternatiflerin değerlendirilmesi, IR-CoCoSo modeli kullanılarak gerçekleştirilir. Puška *et al.* (2019), Bosna Hersek'in Brcko Bölgesi'ndeki kırsal turizm potansiyelinin sürdürülebilirliği hakkında çalışma gerçekleştirilmiştir. Brcko Bölgesine ait 4 kırsal alanın değerlendirilmesinde FUCOM, ARAS ve CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemleri ile model oluşturulmuştur. Çalışmada, 3 Ana kriter altındaki 12 kriter bulunmaktadır. 3 Ana kriter ağırlıkları 3 uzman kullanılarak hesaplanmış, Alt kriterlerin ağırlığını belirlemek için ise CRITIC yöntemi uygulanmıştır. ARAS(Additive Ratio Assessment) yöntemi ile sıralama yapılmıştır. Pamučar *et al.*'ın (2020a) çalışmasında, çok kriterli karar verme tabanlı bulanık FUCOM-Dombi/Bonferroni modeli, İstanbul'da uygun ulaşım talep yönetimi (TDM) önlemlerinin seçimi ve önceliklendirilmesi için kullanılmıştır. Sonuçlar, toplu taşıma kapasitesi iyileştirmelerinin, diğer TDM önlemleri arasında en iyi alternatif olduğunu göstermektedir. Önerilen model, geçerliliğini ve tutarlılığını göstermek için diğer iyi bilinen dört ÇKKV

yöntemiyle: Bulanık MABAC, Bulanık VIKOR, Dombi ağırlıklı aritmetik ortalama (TrFNDWAA) ve Dombi ağırlıklı geometrik ortalama (TrFNDWG) ile karşılaştırılmıştır. Demir ve Bircan (2020), özel okul seçiminde, seçim kriterlerinin ağırlık katsayılarının belirlenmesinde BWM ve FUCOM yaklaşımlarını ayrı ayrı kullanarak, birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ağırlıklar LINGO 17 ile çözümlenerek elde edilmiştir. Ilieva (2020) çalışmasında grup ağırlığına dayalı yeni bir bulanık FUCOM yöntemi sunmaktadır. Bu yöntem belirsizlik altında karar vermeyi kolaylaştırmak için yapılmış olup üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Oluşturulan bu yeni algoritma iki sayısal örnek üzerinde test edilmiştir. Yazdani *et al.* (2020), İspanya'daki bir lojistik merkezinin konumunun belirlenmesine ait iki aşamalı bir karar modeli sunmuştur. Modelin ilk aşamasında, değerlendirilen yerler, verimli ve verimsiz alternatifleri belirlemek için DEA kullanılarak beş değerlendirme kriterine göre karşılaştırılır. İkinci aşamada, R-FUCOM (Rough FUCOM) ile kriter ağırlıkları bulunur ve R-CoCoSo (Rough CoCoSo) ile de alternatifler sıralanır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçların doğruluğunun değerlendirilmesi için duyarlılık analizleri yapılmaktadır. Milosavljević *et al.* (2020), Yük trenlerinden hareket verilerini izlemek ve toplamak için Sırbistan demiryolları üzerindeki RFID konumlarını optimize etmeye yönelik iki aşamalı model sunulmaktadır. İlk aşamada demiryolu ağındaki genel konumun belirlenmesi FUCOM-TOPSIS modeli ile ikinci aşamada ise RFID cihazının demiryolu hattındaki ayrıntılı konumunun belirlenmesi için bulanık mantık modeli sunulmuştur. FUCOM yöntemi kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında kullanılmıştır. Ramezanzade *et al.* (2020), İran'da bir devlet kurumunun güç tüketimini sağlamak için yeni birçok kriterli karar verme modeli kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlılandırılmasında AHP, BWM, FUCOM kullanılırken EDAS ve TOPSIS en iyi alternatifin seçilmesinde kullanılmıştır. Stević and Brković (2020), bir taşımacılık şirketinde insan kaynaklarının değerlendirilmesi için yeni bir entegre FUCOM-MARCOS modeli oluşturulmuştur. 5 kriter 23 çalışana göre değerlendirilmiştir. Kriterlerin önemi FUCOM ile belirlenirken, potansiyel çözümlerin değerlendirilmesinde MARCOS yöntemi kullanılmış ve çalışanlar sıralanmıştır. Sonuçlar elde edildikten sonra, model SAW, ARAS, WASPAS, CoCoSo, EDAS, MABAC ve TOPSIS yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Božanić *et al.* (2020), askeri komuta merkez seçimi için yer seçimi üzerine çalışılmıştır. Seçim süreci hibrit FUCOM- Z sayısı- MABAC modeli kullanılarak yürütülür. FUCOM yöntemi, seçimin yapıldığı kriterlere göre ağırlık katsayılarını tanımlamak için kullanılır. Z-sayısı uygulanarak değiştirilen MABAC yöntemi, alternatifleri sıralamak için kullanılır. Nihai sonuçlar, karar vermede Z sayısının uygulanmasının, savaş durumlarında karar vermek için çok önemli olan standart bulanık sayılardan daha geniş bir belirsizlik kümesi içerdiğini gösterdiği öne sürülmektedir. Yöntemin Spearman korelasyon katsayısı hesaplanmış ve bu değer yüksek sonuçlar vermiştir. Vesković *et al.* (2020), Sırbistan

yolcu taşıma hizmetlerine ait maliyeti düşürme amaçlı 5 farklı varyasyon stratejiden birinin seçimi için ÇKKV modeli oluşturulmuştur. Kriterlerin ağırlıklarını tanımlamak için bulanık PIPRECIA; en iyi alternatifin sıralanması ve seçilmesi için ise bulanık EDAS kullanılmıştır. Modelin doğruluğunu test etmek için FUCOM-Bulanık EDAS yöntemi seçilmiştir. Dobrosavljević *et al.* (2020), iş süreci yönetimindeki faktörlerin, hazır giyim sektörü KOBİ'lerinin süreç olgunluğunun artırılmasına sağladığı katkı derecelerini ortaya koymak amacıyla bir çalışma yapılmıştır. 9 kriterin ağırlıkları FUCOM ve bulanık PIPRECIA yöntemi ile belirlenmiştir. Toplamda 24 karar vericiye uygulanan yöntemin FUCOM aşamasındaki nihai kriter öneminin bulunmasında aritmetik ortalama kullanılmıştır. Durmić *et al.* (2020), tedarik zinciri yönetimindeki sürdürülebilirlik üzerinde durmuş ve sürdürülebilirliği sağlamak için FUCOM-Kaba SAW yaklaşımları ile tedarikçi seçimi yapılmıştır. Kriter ağırlıklarının değerlerini bulmak için FUCOM'dan yararlanmışlardır. Stević *et al.* (2020a), en yüksek riske sahip yol bölümlerini belirlemek için bir ÇKKV modeli oluşturulmuştur. Modelde kriter ağırlıklarının belirlenmesi için FUCOM; alternatiflerin sıralanmasında MARCOS yöntemi kullanılmıştır. Sıralama sonunda modelin testi için duyarlılık analizi yapılmıştır. SAW, WASPAS, TOPSIS, MABAC, ARAS ve EDAS yöntemleriyle karşılaştırma yapılmış Spearman korelasyon katsayısına bakılmıştır. Badi and Kridish (2020), Libya Misurata Şehri belediye katı atık boşaltımı için uygun depolama tesisi seçmek için FUCOM-CODAS modeli oluşturulmuştur. 7 kriter 5 alternatiften oluşan modelde FUCOM ağırlıkların hesaplamasında, CODAS (Combinative Distance Based Assessment) ise bölgelerin sıralamasında kullanılmıştır. Mijajlović *et al.* (2020), Bosna Hersek içinde yer alan 16 SPA merkezini mevcut durumunu değerlendirmesi ve eksiklerin belirlenmesi adına FUCOM, bulanık MARCOS yöntemlerinin entegrasyonuna dayanan bir model oluşturulmuştur. Model 8 kriterden oluşmakta olup kriter ağırlıklandırmasında FUCOM; bulanık MARCOS ise alternatiflerin sıralamasında kullanılmıştır. Sonuçta, SPA merkezlerinin mevcuttaki rekabet sıralamasındaki yerleri sunulmuş ve önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca kullanılan yöntem üstünde ağırlıkların değiştirilmesiyle ve bulanık MARCOS'un bulanık WASPAS, bulanık ARAS, bulanık SAW, bulanık MABAC, bulanık TOPSIS, bulanık ARAS yöntemleri ile karşılaştırılmasıyla testler yapılmış, mevcut sıralamanın değişip değişmemesine bakılmıştır. Ahmad and Qahmash (2020), ABET (The Accreditation Board for Engineering and Technology- Mühendislik ve Teknoloji Akreditasyon Kurulu) akreditasyon için verilen kaynakların en iyi şekilde tahsisini sağlamak bu çalışma yapılmıştır. Başvuranları değerlendirmede kullanılan kritik başarı faktörlerini derlemek ve önceliklendirmek için bulanık AHP, FUCOM tabanlı bir ÇKKV modeli oluşturulmuştur. King Khalid Üniversitesi'ndeki ABET akreditasyon sürecinin gözlemlenmesi ile oluşturulan ve uygulanan modelde 3 ana kriter altında 11 kriter bulunmaktadır. Kriter

ağırlıkların değerlendirilmesinde FUCOM kullanılmış, sıralama Bulanık AHP yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Xu *et al.* (2020), sürdürülebilirlik kapsamında, yenilenebilir enerji destekli tuzdan arındırma sistem seçiminde bulanık ÇÖKV (Çok Ölçütlü Karar Verme) kullanılmıştır. Temelde model Bulanık DANP ile ikili ilişkileri oluştururken nitel olan bu veriler bulanık FUCOM girdisi olarak kullanılır. Bulanık FUCOM ile nicel ağırlıklar bulunurken; nitel ağırlıklar VATOPSIS (Vector-Aided TOPSIS) tekniğiyle sıralamaya tabii tutulur. Oluşturulan ağırlık bulma yöntemi, bulanık AHP ile karşılaştırılarak sonuçların arasındaki benzerlikler gösterilmiştir. Pamučar and Ecer (2020), bulanık FUCOM yöntemi ile yeni bir öznel ağırlıklandırma yöntemi önermektedir. Bu yeni model yeşil tedarikçi değerlendirme problemi ile ilgili bir örnek sunularak pekiştirilmiştir. Bulanık AHP ve bulanık BWM ile karşılaştırılmıştır. Tang *et al.* (2021), sundukları çalışmada kanalizasyondaki maddeleri enerjiye dönüştüren senaryoların sürdürülebilirliklerini incelemek için bulanık bir ÇKKV modeli oluşturulmuştur. Model bulanık FUCOM ve bulanık füzyon sıralama yöntemlerinden oluşmaktadır. 12 kriterin ağırlıklarının hesaplanmasında FUCOM kullanılmıştır. Sonuçlar Spearman Kolerasyon Katsayısı ile değerlendirilmiş ve TOPSIS, GRA, PRSRV yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Ecer (2021), rüzgâr çiftlikleri için uygun yer tespitinde kullanılan faktörler FUCOM kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada 3 ana kriter altında toplamda 12 kriter bulunmaktadır. Kriterler bulunan ağırlıkların sıralamalarının değişip değişmemesi esasına göre BWM, AHP ve SWARA yöntemleriyle kıyaslanmıştır. Hoan and Ha (2021), Vietnam Halk Hava Kuvvetleri için uygun bir savaş uçağını değerlendirmeyi ve seçmeyi amaçlanarak ARAS-FUCOM yaklaşımı çalışılmıştır. 3 alternatifin 13 kritere göre değerlendirildiği çalışmada FUCOM kriter ağırlıklarının tespitinde kullanılmıştır. ARAS yöntemi ile alternatifler sıralanmıştır. Oluşturulan karar verme modeli, WPM (Weighted Product Method- Ağırlıklı Ürün Modeli) ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada FUCOM yönteminin birçok avantaja sahip olduğu ve sonuçlarının güvenilirliğinden bahsedilmiştir.

Tablo 2. FUCOM Yöntemi Versiyonları ve Bu Yöntemlerin Birlikte Kullanıldığı ÇKKV Yöntemleri

Yazar ve Yılı	Birlikte Kullanıldığı Yöntemler
Pamuçar <i>et al.</i> (2018)	FUCOM
Zavadskas <i>et al.</i> (2018)	FUCOM, R-ROV
Prentkovskis <i>et al.</i> (2018)	FUCOM, SERVQUAL, Delphi
Pamuçar <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, MAIRCA(MultiAtributive Ideal, Real Comparative Analysis)
Nunić (2019)	FUCOM, MABAC

Fazlollahtabaret <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, WASPAS
Nouredine and Ristic (2019)	FUCOM, TOPSIS, MABAC
Matić <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, Rough Dombi birleştiricisi, Rough COPRAS
Božanić <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, Bulanık MABAC
Nenadić <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, WASPAS
Starčević <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, AHP, DEA, BWM
Cao <i>et al.</i> (2019)	Gri FUCOM, SWARA, EDAS
Stević <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, Interval Rough SAW, Interval Rough SAW
Stefanović <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, R-SWARA
Zagradjanin <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, D* Lite Algoritması
Adar vd. (2019)	FUCOM
Nunić and Stević(2019)	FUCOM, EDAS-M
Badi and Pamucar (2019)	FUCOM
Erceg <i>et al.</i> (2019)	FUCOM, ABC Analizi, IR-CoCoSo
Erceg and Mularifović (2019)	FUCOM, WASPAS
Pamučar <i>et al.</i> (2020a)	Bulanık FUCOM, Dombi, Bonferroni modeli
Demir ve Bircan (2020)	FUCOM, BMW
Ilieva (2020)	Bulanık FUCOM
Yazdani <i>et al.</i> (2020)	Rough FUCOM, DEA, R-CoCoSo
Milosavljević <i>et al.</i> (2020)	FUCOM, TOPSIS
Ramezanzade <i>et al.</i> (2020)	FUCOM, AHP, BWM, EDAS, TOPSIS
Stević and Brković (2020)	FUCOM, MARCOS
Božanić <i>et al.</i> (2020)	FUCOM, Zsayısı ile MABAC
Vesković <i>et al.</i> (2020)	FUCOM, Bulanık EDAS
Dobrosavljević <i>et al.</i> (2020)	FUCOM, Bulanık PIPRECIA
Durmić <i>et al.</i> (2020)	FUCOM, Rough SAW
Stević <i>et al.</i> (2020a)	FUCOM, MARCOS
Pamučar and Ecer(2020)	Bulanık FUCOM
Xu <i>et al.</i> (2020)	Bulanık FUCOM, DANP(DEMATEL, ANP), VATOPSIS
Puška <i>et al.</i> (2020)	FUCOM, ARAS, CRITIC
Badi and Kridish (2020)	FUCOM, CODAS
Mijajlović <i>et al.</i> (2020)	FUCOM, Bulanık MARCOS
Ahmad and Qahmash(2020)	FUCOM, Bulanık AHP
Tang <i>et al.</i> (2021)	Bulanık FUCOM, Bulanık Füzyon Sıralama Yöntemi

Hoan and Ha(2021)	FUCOM, ARAS
Ecer (2021)	FUCOM

Tablo 2’ye bakıldığında FUCOM yönteminin veya yöntemin geliştirilmiş halinin literatürde yer alan çalışmalarda çeşitli ÇKKV yöntemleriyle birlikte kullanıldığı görülmektedir. FUCOM yöntemi genel olarak seçim ve sıralama problemlerinde kriter ağırlıklarının tespitinde tercih edilmiştir. Ayrıca bu yöntemin diğer ağırlıklandırma yöntemleri ile karşılaştıran çalışmalarda rastlanmaktadır. FUCOM yönteminin gri sayılar, bulanık sayılar ve “Rough” yani kaba sayılar ile birlikte kullanıldığı görülmektedir. İncelenen 42 makale içerisinde, yalnızca 5 çalışmada bulanık FUCOM yöntemine rastlanmıştır. Bulanık FUCOM yönteminin literatürde çok az örneğinin bulunması nedeniyle tedarikçi seçimi için bu tez çalışmasında kullanılması literatüre katkı sağlamak açısından uygun görülmüştür.

FUCOM ve MARCOS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar bulunmakla birlikte; bulanık FUCOM ve bulanık MARCOS yöntemleri herhangi bir çalışmada birlikte kullanılmamıştır.

2.3. MARCOS ve Bulanık MARCOS Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar

MARCOS yöntemi karışık algoritmalar ve matematiksel modeller içermeyen basit bir tekniktir. Sonuçların kolay anlaşılabilmesi ve yorumlanabilmesi açısından sadece tedarikçi seçimi gibi konularda değil birçok alanda uygulama imkânı sunmaktadır.

Stević *et al.* (2020a), sağlık sektöründe sürdürülebilir tedarikçi seçmek için FUCOM-MARCOS ile yeni bir ÇKKV modeli geliştirilmiştir. MARCOS’un ilk çalışması niteliğinde olan makalede önerilen yöntemin doğrulanması amacıyla yöntem, karşılaştırmalı ve senaryo bazlı kapsamlı duyarlılık analizleri ile test edilmiştir. Yapılan bu duyarlılık analizleri sonucunda bu yöntemin geçerliliği ispatlanmıştır. Stanković *et al.* (2020), bu çalışmada, Rudanka-Doboj anayolu üzerindeki 7.4 km’lik M-17 yol hattının trafikselsel riskinin değerlendirilmesi amacıyla bulanık PIPRECIA ile bulanık MARCOS yöntemlerini uygulamıştır. Puška *et al.* (2020), Arap Emirlikleri içerisinde yer alan 4 proje sağlayıcısının değerlendirmesi aşamasında ÇKKV modeli kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları, uzmanlardan alınan basit bir derecelendirme toplamı uygulanarak ve yüzdeye dönüştürülerek hesaplanmıştır. Alternatiflerin sıralanması aşamasında ise MARCOS yöntemi kullanılmıştır. Ilieva *et al.* (2020), bulanık çok ölçütlü bir ÇKKV yöntemi kullanarak veri depolama açısından bulut platformu seçimi için MARCOS yöntemi kullanılmıştır. Verilerin anket yoluyla toplandığı çalışmada temel olarak ISO/IEC 25010, yazılım sistemleri için değerlendirme kriterlerini içeren kalite sistem kriterleri elde edilmiştir.

Badi and Pamučar (2020), LISCO'daki (Libya Demir ve Çelik Şirketi) tedarikçilerin seçimine ilişkin karar verme için hibrit bir Gri teori-MARCOS yöntemi uygulamayı amaçlanmıştır. Modelin etkinliği diğer üç yöntem olan CODAS, TOPSIS ve VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) ile karşılaştırılmıştır. Chattopadhyay *et al.* (2020), Hindistan'daki bir demir-çelik endüstrisinde refrakter malzeme tedarikçisi seçimi için D numaralarının MARCOS yöntemiyle entegrasyonunu önerilmektedir. Gong *et al.* (2020), dağıtım ağının yenilenebilir enerji konaklama potansiyelinin değerlendirmesi açısından IT2F(Interval type-2 fuzzy) bulanık kümeler kullanılarak ÇKKV modeli oluşturulmuştur. Modele göre IT2F BWM ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve genişletilmiş MARCOS yöntemi ile alternatifler sıralanmıştır. Pamučar *et al.* (2020b), toplu taşımadaki otobüslere uygun bir hidrojen çözüm alternatiflerini bulanık BWM ve bulanık MARCOS yöntemlerini kullanarak değerlendirilmiştir. Ulutaş vd. (2020), lojistik alanda kullanılmak üzere istifleyici makinesi seçimi için yeni bir CCSD-ITARA-MARCOS ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Modele göre kriterlerin objektif ağırlıklarının belirlenmesi için korelasyon katsayısı ve standart sapmadan yararlanılan CCSD(Correlation Coefficient and the Standard Deviation Method) yöntemi uygulanır. Kriterlerin yarı objektif ağırlıklarının belirlenmesi için, ITARA(İndifference Threshold-Based Attribute Ratio Analysis Method- İndis Eşiğine Dayalı Öznitelik Oran Analizi Yöntemi) kullanılmaktadır. Bu şekilde bu iki yöntem birleştirilerek, kriterlerin ağırlıkları daha yüksek bir güvenilirlik derecesi ile belirlenmiştir. Sonuçta, bu yeni entegre yaklaşım WASPAS, ARAS, GRA yöntemleri ile karşılaştırılır. Biswas (2020), Hindistan'da sağlık sektöründe tedarik zincirlerinin performansının ölçülmesi üzerine bir ÇKKV yöntem modeli sunulmuştur. PIPRECIA ile kriter ağırlıkları bulunurken; sıralama adımı MABAC, CoCoSo ve MARCOS ayrı ayrı kullanılmıştır. Puška *et al.* (2021), gıda sektöründe faaliyet gösteren bir şirkette ait sürdürülebilir tedarikçi seçiminde bulanık MARCOS yaklaşımı kullanılmıştır. Duyarlılık analizi ve bulanık SAW, bulanık MABAC, bulanık ARAS, bulanık TOPSIS, bulanık WASPAS yöntemleri ile karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Khoshabi *et al.* (2020), İran'da üniversite öğrencileri için derslik mobilyası türlerini karşılaştırmak için ÇKKV modeli kullanmışlardır. SAW yöntemiyle ağırlıklar tespit edilmiş, MARCOS yöntemi ile de seçim işlemi uygulanmıştır. Sonuçta duyarlılık analizi ve TOPSIS, VIKOR, WASPAS, ARAS yöntemleriyle karşılaştırmalı analiz yapılmıştır.

Tablo 3. MARCOS Yöntemi Versiyonları ve Bu Yöntemlerin Birlikte Kullanıldığı ÇKKV Yöntemleri

Yazar ve Yılı	Birlikte Kullanıldığı Yöntemler
Stević et al. (2020a)	FUCOM, MARCOS

Stević et al. (2020b)	MARCOS
Stanković et al. (2020)	Bulanık PIPRECIA, Bulanık MARCOS
Puşka et al. (2020)	MARCOS
Ilieva et al. (2020)	MARCOS
Badi and Pamucar (2020)	Gri Teori, MARCOS
Chattopadhyay et al. (2020)	D-MARCOS (D sayıları ile MARCOS yöntemi)
Gong et al. (2020)	IT2F Bulanık BWM, Genişletilmiş MARCOS
Pamuçar et al. (2020b)	Bulanık BWM, Bulanık MARCOS
Ulutaş vd. (2020)	CCSD, ITARA, MARCOS
Biswas (2020)	PIPRECIA, MARCOS
Puşka et al. (2021)	Bulanık MARCOS
Stević and Brković (2020)	FUCOM, MARCOS
Khoshabi et al. (2020)	SAW, MARCOS
Mijajlović et al. (2020)	FUCOM, Bulanık MARCOS

MARCOS yönteminin 2020 yılı itibariyle ortaya çıkması nedeniyle Tablo 3’de görüldüğü gibi MARCOS yönteminin ve geliştirilmiş halinin kullanıldığı oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır. İncelenen çalışmalar içinde MARCOS yönteminin D sayılar, IT2F sayılar ve bulanık sayılar ile geliştirildiği görülmektedir. MARCOS yönteminin yapılan çalışmalarda yer alan karşılaştırmalı analizlerde genellikle WASPAS, EDAS, ARAS, SAW ve MABAC yöntemlerinin kullanıldığı gözlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Tezin bu aşamasında tedarikçi seçimi, ÇKKV, bulanık küme kuramı, bulanık FUCOM yöntemi ve bulanık MARCOS yöntemi konularına değinilmiştir.

3.1. Tedarikçi Seçimi

Tedarik zinciri, hammadde üretimi yapan, onları ara mal ve nihai ürünlere dönüştüren ve nihai ürünleri müşterilere dağıtan, üretici ve dağıtıcıların oluşturduğu bir ağıdır (Lee and Billington, 1992:66). Tedarik zinciri, üretim için gerekli olan malzemeden son müşteriye kadar olan süreçleri kapsadığından, rekabet içinde olan firmalar için bu kavram büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple de tedarik zincirinin iyi bir şekilde yönetilmesi gereklidir.

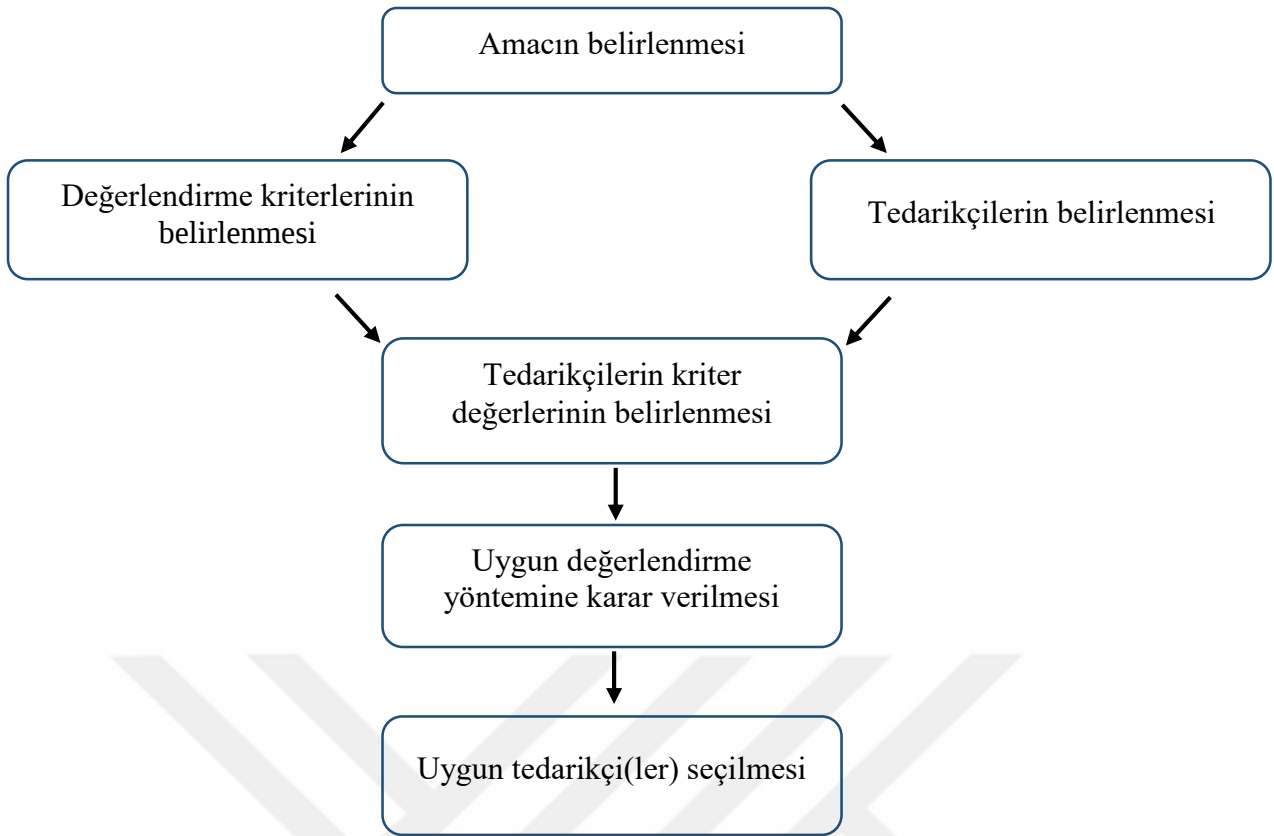
Aşağıda genişletilmiş tedarik zinciri ağı bulunmaktadır.



Şekil 1. Genişletilmiş tedarik zinciri ağı (Eymen, 2007).

Şirketlerin kaliteli ve düşük maliyetli ürün veya hizmet üretimine mecbur kaldıkları çağımızda, hızla gelişen teknolojik gelişmeler ile birlikte küreselleşen rekabet şartlarının artması, şirketleri tedarik zinciri ağının sürekli olarak kontrol edilmesi ve düzeltilmesi konusunda mecbur bıraktıkları görülmektedir (Sarioğlu ve Arslan, 2020). Tedarik zinciri ağı içerisinde yer alan ve hatta tedarik zinciri sürecini başlatan tedarikçiler de bu ağın bir parçası olarak son müşteriye ulaştırılan ürünün kalitesini ve maliyetini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple işletmeler için doğru tedarikçi seçiminin yapılması önemli bir husustur.

Tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde 1960'lı yıllardan bu yana var olduğu görülmektedir (Nielsen *et al.*, 2014). Tedarik seçimi karmaşık bir karar problemi olabilmektedir. Aynı anda birden çok kriter, firmalar için öncelikli olabilir ve bu öncelikler de ortam koşullarına göre sürekli olarak da değişebilir. Bu gibi sebeplerle tedarikçi seçim kriterleri her firma ihtiyacına göre özel olarak da belirlenebilir. Bu gibi sebeplerle potansiyel yetkinliklere sahip birçok tedarikçi seçimi için çeviklik amacıyla ÇKKV yöntemleri sıkça kullanılmaktadır. Aşağıda genel olarak tedarikçi seçim süreci gösterilmiştir.



Şekil 2.Tedarikçi seçim süreci (Gökalp ve Soylu, 2010).

Bu sürecin en önemli aşamalarından biri uygun karar verme yönteminin belirlenmesidir. Yanlış bir değerlendirme yöntemi kullanmak yanlış tercihler yapılmasına neden olabilmektedir (Gökalp ve Soylu, 2010). Bu sebeple kullanılan tedarikçi seçim yöntemi diğer yöntemler ile karşılaştırılmalıdır.

Firmalar her zaman yeni tedarikçi seçmezler. Değişen koşullarla birlikte değişen ihtiyaçları karşılama adına firmalar mevcut tedarikçilerinin firma için sağladıkları koşulları da değerlendirerek de seçim sürecini gerçekleştirebilirler. Tedarikçi değerlendirmesi amacıyla yapılan bir seçim sürecinde doğru tedarikçi seçim kriterlerinin belirlenmesi değerlendirme sürecini başlatır. Literatürde tedarik seçimi ile ilgili yapılan ilk çalışmalardan biri olan Dickson'un 1966'daki çalışmasında tedarikçi değerlendirmede önemli görülen 23 adet kriter belirlenmiş ve en önemli kriterlerin kalite, maliyet ve performans kriterlerinin olduğunu ortaya çıkarılmıştır. Dickson'ın tanımladığı bu kriterler günümüzde de çeşitli firmalar tarafından tedarikçi seçiminde veya değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Literatürde bu kriterler kullanılarak yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu sebeple bu çalışma tedarikçi seçiminde ve tedarikçi değerlendirmesinde kullanılan en önemli çalışmalardan biri olarak kabul edilmektedir. Çeşitli çalışmalarda kullanılan aşağıdaki tabloda verilen kriterler yapılan bu tez çalışmasında da firmanın tedarikçilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Tablo 4. Dickson’ın Tedarikçi Seçim Kriterleri

Kriterler	Kriterler
1 Ürünün kalitesi	13 Yönetim ve organizasyon
2 Teslimat	14 Operasyon kontroller
3 Geçmiş performans	15 Onarım hizmetleri
4 Garanti ve şikayet politikası	16 Davranış, tutum
5 Üretim yetenekleri ve kapasitesi	17 Etki gücü
6 Maliyet	18 Paketleme kabiliyeti
7 Teknik yeterlilik	19 Çalışma ilişkileri kayıtları
8 Finansal durum	20 Coğrafi konum
9 Prosedürlere uygunluk	21 Geçmiş iş miktarı
10 İletişim sistemi	22 Eğitim destekleri
11 İtibarı ve endüstrideki durumu	23 Karşılıklı düzenlemeler/ İletişim Sistemi
12 İş yapma isteği	

3.2. Çok Kriterli Karar Verme

Karar verme süreci gerek günlük hayatta gerekse işletmeler için oldukça büyük öneme sahiptir. Karar verme, amaç ya da amaçlar doğrultusunda bilgilerin çeşitli filtrelerden geçirilip işlenmesi sonucunda, en uygun veya en uyguna yakın çözümü, seçeneği belirleme veya seçme işlemi olarak tanımlanabilir. İşletmelerin ana amaçları karı arttırmak ve maliyeti düşürmektir. Bu sebeple de bu amaç doğrultusunda gün içerisinde sayısız kararlar alınır. Karar verme süreçleri işletmelerin yatırımlarını yönlendirdiği en önemli alanlardan biri olmaktadır.

Çoğunlukla işletmeler için alternatifleri seçmek aynı anda birçok kriterin en iyilenmesi veya en iyiye yakın olarak sağlanması açısından karmaşık olmaktadır. Birçok alternatifin birçok değerlendirme kriteri ile birlikte değerlendirilmesini kapsayan bu karmaşık problemlerin çözüm yöntemlerinden biri de ÇKKV yöntemleri olmaktadır.

ÇKKV problemleri yapısal olarak genellikle seçim, sınıflandırma ve sıralama problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Seçim problemlerinde alternatiflerin içinden en iyisini seçmek amaçlanırken; sınıflandırma problemlerinde benzer özelliklere sahip alternatiflerin bir araya toplanması amaçlanır. Sıralama problemlerinde ise alternatifleri uygun kriterler veya ölçekler kullanarak en iyiden en kötüye doğru sıralanması esastır.

Hwang ve Yoon, 1981'deki çalışmalarında ÇKKV problemlerini ÇAKV (Çok Amaçlı Karar Verme-Multiple Objective Decision Making/MODM) ve ÇÖKV(Çok Ölçütlü Karar verme Multiple Attribute Decision Making/MADM) olmak üzere iki alt kategoriye ayırmışlardır (Hwang ve Yoon, 1981; Tzeng ve Huang, 2011). ÇAKV, birbiri içinde çelişen amaçların aynı anda optimum çözümü bulmayı amaçlayan karar problemlerinin çözüm yöntemlerinden oluşmaktadır. Bu tür karar problemlerini çözmek için çelişkili amaçları ve amaçlara ulaşmak için gerekli kısıtlamalar tanımlanmalıdır. ÇÖKV ise genel olarak birden çok alternatifin, seçilmesi, sıralanması, sınıflandırılması, önceliklendirmesi amacıyla değerlendirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir.

3.3. Bulanık Küme Kuramı

Küme teorisi 1800'lü yılların sonunda Georg Cantor tarafından ileri sürülmesine karşın geçmişi daha öncelere dayanmaktadır. Belirli bir tanımlaması bulunmamaktadır. Kabaca küme tanımının, çeşitli özellikleri içeren bir sınıf içerisinde yer alan nesneler topluluğu olarak yapılması mümkündür. Kümeleri oluşturan nesnelere o kümenin üyesi(elemanı, ögesi) ve üzerinde çalışılan bütün kümeleri kapsayan kümeye de evrensel küme denilmektedir.

Örnek bir A Kümesi ve bu kümenin de içinde bulunduğu evrensel E Kümesi için, E Kümesi içinde yer alan herhangi bir eleman A Kümesinin bir elemanı olmayabilir. Bu durumda bu elemanın A kümesine olan yakınlığı söz konusu olur. Bu durumda elemanın kümeye olan yakınlığının tespiti için üyelik derecesine başvurulmaktadır. Klasik küme teorisine bakıldığında bu üyelik derecesinin ya 1 ya da 0 olduğu görülmektedir. Aşağıdaki Eşitlik(1)'de bu durum gösterilmektedir. $\chi_A(x)$, A Kümesi için x elemanının üyelik fonksiyon değeridir (Klir, Yuan, 1995).

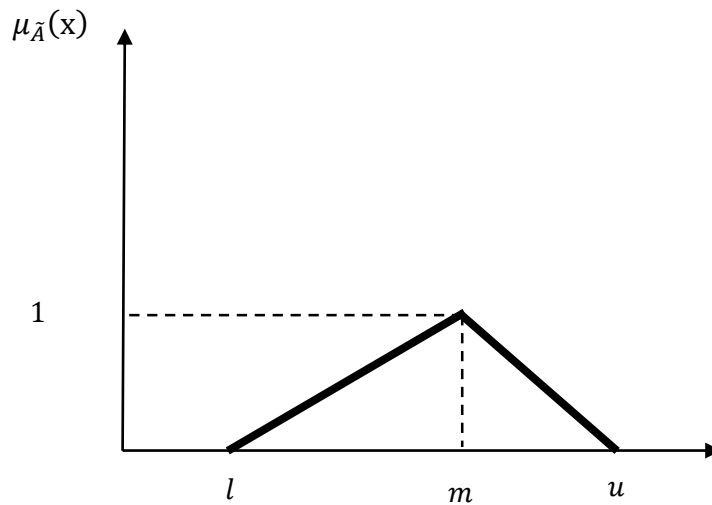
$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & , x \in A \\ 0 & , x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Ancak klasik küme teorisi dışında bir elemanın başka bir kümeye olan üyelik derecesi 0 veya 1 olmayabilir. Bu belirsizliği çözmek için Lotfi Zadeh 1965 yılında bu doğrusal fonksiyon kümesini [0, 1] aralığındaki reel sayıları içeren kümelere genelleştirerek bulanık mantığı ve dolayısıyla bulanık kümeleri öne sürmüştür. Bulanık kümenin klasik küme gibi kesin sonuçlar ile sınırlandırılmamıştır. Bu sebeple her elemanın bağlı olduğu kümeye ait üyelik derecesi 0 ve 1 aralığında değer alır. Kümelerin üyelik değerleri ya da dereceleri hakkında bilgi veren fonksiyon literatürde karakteristik fonksiyon yerine daha çok üyelik fonksiyonu terimi ile adlandırılmaktadır ve $\mu_{\tilde{A}}(x)$ simgesi ile gösterilmektedir (Gülcan, 2012). Üyelik fonksiyonu bulanık kümenin niteliklerini ortaya koyar ve bulanık sayılarla ifade edilir.

Bulanık sayı gösteriminin çeşitli türevleri olduğu bilinmektedir. Bunlardan bazıları: üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, Gauss üyelik fonksiyonudur. En sık kullanılan bulanık sayılar üçgen ve yamuk bulanık sayılardır (Ecer, 2007). Zimmerman(1990) tarafından “Fuzzy Set Theory and Its Applications” kitabında yamuk bulanık sayıların, işlem verimliliği ve veri kazanım kolaylığı nedeniyle literatürde sıklıkla kullanıldığını belirtilmiştir (akt. Ecer, 2007). Üçgensel bulanık sayılar ise kullanım kolaylığı ve anlaşılır yorumlama yeteneği sebebi ile en çok kullanılan bulanık sayı türüdür (Sanchez and Gomez, 2003). Bu sebeple yapılacak çalışmalarda, sundukları bu özellikler neticesinde kullanılacak bulanık sayı türünü seçmek zorlaşmaktadır. Ecer(2007) çalışmasında yamuk ve üçgensel sayıların bir ÇKKV yöntemindeki alternatif sonuç sıralamasında fark yaratıp yaratmayacağı konusunda bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda yakınlık katsayı skorlarının farklı olmasına rağmen bu farkın sıralamaya bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur. Ayrıca üçgensel bulanık sayı kullanımının işlem kolaylığı ile karar vericilere hızlı ve kısa zamanda çözüm sağlayacağını savunmuştur. Bu sebeple yapılan bu çalışma kapsamında üçgensel sayılar kullanılmaktadır. Aşağıda bulanık bir kümeye ait üçgensel sayıların gösterimi Eşitlik(2)’de gösterilmektedir(Chou *et al.*, 2011).

$$\mu_{\tilde{A}}(x; l, m, u) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2)$$

Burada x elemanını ifade eden (l, m, u) , değerleri içindeki l , en alt değeri; m , orta değeri; u ise en üst değeri göstermektedir ve üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi Şekil 3’teki gibidir.



Şekil 3. Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi.

Bulanık küme kavramının tanımları, teoremleri ve ispatları bulanık olmayan kümeler için de geçerlidir (Tuş, 2006). Bu sebeple toplama, çıkarma, çarpma ve bölme gibi operatörler iki bulanık sayı arasında uygulanabilir. Aşağıdaki eşitliklerde çalışma kapsamında kullanılan operatör işlemleri yer almaktadır (Chou *et al.*, 2011).

$\tilde{A}_1(l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2(l_2, m_2, u_2)$ Eşitlik(3)-(6) için kullanılmak üzere iki bulanık sayı olsun.

$$\text{Toplama} \quad (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) \quad (3)$$

$$\text{işlemi:} \quad = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

$$\text{Çıkarma işlemi:} \quad (l_1, m_1, u_1) \ominus (l_2, m_2, u_2) \quad (4)$$

$$= (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2)$$

$$\text{Çarpma işlemi:} \quad (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (5)$$

$$l_1, l_2 > 0; m_1, m_2 > 0; u_1, u_2 > 0 \text{ için}$$

$$\text{Bölme işlemi:} \quad (l_1, m_1, u_1) \oslash (l_2, m_2, u_2) = \left(\frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right) \quad (6)$$

$$l_1, l_2 > 0; m_1, m_2 > 0; u_1, u_2 > 0 \text{ için}$$

3.4. Bulanık FUCOM Yöntemi

Bu yöntem, Pamučar *et al.* tarafından 2018’de önerilen yeni bir ÇKKV yöntemidir. Yöntem karar vericinin önceliklerini baz alarak hem nicel hem de nitel verilerin değerlendirilebilmesi açısından ağırlıklandırma yöntemleri arasında dikkat çekmektedir. Bu yöntemin, literatürde hem ağırlık bulma yöntemi olarak hem de alternatif önem derecesi belirleme işlemlerinde kullanıldığı görülmektedir (Xu, 2020).

Yöntem karar vericilerin sırasını dikkate alarak kriterler arasındaki tutarlılığın minimum olmasına dayanmaktadır. Bu katsayının aralık değeri 0 ile 0,025 olarak belirlenmiştir (Pamuçar *et al.*, 2018). Bu yöntemin çeşitli varyasyonları bulunmaktadır. Bu varyasyonlar içerisinde Bulanık FUCOM çalışma için seçilmiş ve uygulanmıştır.

Bulanık FUCOM ilk olarak 2020’nin başlarında Pamučar *et al.* (2020a) tarafından kullanılmıştır. Yine 2020 yılında, Pamučar and Ecer tarafından yöntemde iyileştirmeler gerçekleştirilmiş ve nihai uygulama adımları oluşturulmuştur.

Aşağıda bulanık FUCOM yönteminin adımları sunulmuştur (Pamuçar, 2018, Pamučar and Ecer, 2020).

Adım 1: Karar kriterlerinin belirlenmesi.

İlk adım ağırlıkları belirlenecek kriterleri belirlemektir. Burada kriter sayısı j 1'den n 'e kadar ($j=\{1,2,3,\dots,n\}$) olup her bir kriter değeri için $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$ belirlenir.

Adım 2: Kriterlerin sıralanması.

Önceden tanımlanmış değerlendirme kriterleri karar verici tarafından sıralanır. Sıralama, kriterlerin önemine göre yani en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenen kriterden, en düşük ağırlık katsayısına sahip olan kritere göre yapılmaktadır.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)}, >, \dots, C_{j(k)} \quad (7)$$

$C_{j(k)}$, burada j kriteri gösterirken; k, C_j kriterlerinin karar verici için sırasını temsil eder. Karar verici önem sırasına göre büyükten küçüğe doğru kriterleri sıralarken kriterler arasında önem derecesi açısından eşitlik de olabilmektedir. Eğer eşitlik var ise kriterler arasına “=” işareti yerleştirilir.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)}, =, C_{j(3)} \dots, C_{j(k)} \quad (8)$$

Adım 3: Üçgensel bulanık sayılar kullanılarak kriterlerin karşılaştırılması.

Kriterlerin karşılaştırmalı öncelik vektörleri Pamučar ve arkadaşları tarafından 2018'de sunulan makalesinde aşağıdaki bölümde tanımlanan iki yoldan biriyle tanımlanmaktadır. Oluşturulacak karşılaştırmalı öncelik vektörleri için gerçek veriler veya önceden belirlenmiş bir ölçek kullanılabilir.

İlk olarak, karar vericiler tercihlerine göre sıralanan kriterler arasındaki karşılaştırmalı öncelik vektörünün değerini, $\varphi_{(k/(k+1))}$ önem sırasına göre k 'inci sıralamaya sahip kriterin $(k+1)$ 'inci sıralamaya sahip kritere göre üstünlük değerini tanımlayabilecekleri gibi önceden tanımlanmış bir ölçek yardımıyla da karşılaştırma yapılabilir. Her iki durumda da $(n-1)$ adet karşılaştırma yapılmaktadır. $\varpi_{C_{j(k)}}$ k.sıralamadaki j . olarak belirlenen kriterin önem derecesini göstermektedir.

$$\Phi = (\varphi_{(1/2)}, \varphi_{(2/3)}, \dots, \varphi_{(k/(k+1))}) \quad (9)$$

$$\varphi_{(k/(k+1))} = \frac{\varpi_{C_{j(k)}}}{\varpi_{C_{j(k+1)}}} = \frac{\varpi_{C_{j(k+1)}^l}, \varpi_{C_{j(k+1)}^m}, \varpi_{C_{j(k+1)}^u}}{\varpi_{C_{j(k)}^l}, \varpi_{C_{j(k)}^m}, \varpi_{C_{j(k)}^u}} \quad (10)$$

Yapılan çalışmada [1, 9] skalasına ait üçgensel bulanık sayılar kullanıldığından karşılaştırmalı öncelik vektörünün değerinin belirlenmesinde ikinci yol kullanılmıştır.

Adım 4: Optimum bulanık ağırlıkların hesaplanması.

Bu son adımda kriterlerin nihai ağırlığı elde edilir. Bu ağırlık değerleri elde edilirken aşağıdaki iki koşulu sağlamalıdır:

- 1) Kriterlerin önem katsayılarının oranının $(\frac{w_k}{w_{(k+1)}})$, Adım 2'de kriterler için tanımlanan karşılaştırmalı öncelik vektörüne $(\varphi_{k/(k+1)})$ eşit olması; yani, aşağıdaki Eşitlik(11)'i sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{w_k}{w_{(k+1)}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (11)$$

- 2) Eşitlik(11)'e ek olarak, ağırlık katsayılarının nihai değerleri matematiksel geçişlilik koşulunu karşılamalıdır. Matematiksel geçişlilik koşulu İngilizce olarak “transitivity relation” olarak literatürde geçmekle birlikte bu kavram, rasyonel karar verme sürecinin vazgeçilmez bir noktası olarak görülmektedir. Bu kavrama göre eğer karar verici A seçeneğinin sonucunu B'ye, B seçeneğinin sonucunu da C'ye tercih ediyorsa, A seçeneğini aynı zamanda C'ye de tercih etmelidir (Kökdemir, 2003). Bu durumda matematik geçerlilik koşulunu gösteren Eşitlik(12) ve Eşitlik(13) yardımıyla, aşağıda sağlanması gerekli olan bir diğer koşul, Eşitlik(14) oluşturulur.

$$\frac{w_k}{w_{(k+2)}} = \frac{w_k}{w_{(k+1)}} \otimes \frac{w_{(k+1)}}{w_{(k+2)}} \quad (12)$$

$$\frac{\varphi_k}{\varphi_{(k+2)}} = \frac{\varphi_k}{\varphi_{(k+1)}} \otimes \frac{\varphi_{(k+1)}}{\varphi_{(k+2)}} \quad (13)$$

$$\frac{w_k}{w_{(k+2)}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (14)$$

Yukarıda belirtilen $\frac{w_k}{w_{(k+1)}} = \varphi_{k/(k+1)}$ ve $\frac{w_k}{w_{(k+2)}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}$ koşulları sağlandığında maksimum tutarlılık yani tam tutarlılık gerçekleşir. Bu durumda DMC (Deviation from maximum Consistency-Maksimum Tutarlılıktan Sapma) denilen tam tutarlılıktan sapma katsayısının değeri 0(sıfır) olması istenir ($\chi = 0$); ancak bu değer her zaman sıfır olamaz bu sebeple bu değerin sıfıra yakınlması kabul edilebilir.

$$\begin{aligned} \min \chi \\ \text{s.t.} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| w_{j(k)} - w_{(j)(k+1)} \otimes \frac{\varphi_k}{\varphi_{(k+1)}} \right| \leq \chi, \forall_j \\ \left| w_{j(k)} - w_{(j)(k+2)} \otimes \frac{\varphi_k}{\varphi_{(k+1)}} \otimes \frac{\varphi_{(k+1)}}{\varphi_{(k+2)}} \right| \leq \chi, \forall_j \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall_j \\ w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u \\ w_j^l \geq 0, \forall_j \\ j = 1, 2, 3, \dots, n \end{array} \right.$$

Eşitlik(15)'te verilen kısıtlar içinde $w_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$, $\varphi_{k/(k+1)} = (\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u)$ ve $\varphi_{(k+1)/(k+2)} = (\varphi_{(k+1)/(k+2)}^l, \varphi_{(k+1)/(k+2)}^m, \varphi_{(k+1)/(k+2)}^u)$ ile temsil edilmiştir.

Yukarıda verilen matematiksel model çözülerek nihai ağırlıkların $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ son değerleri ve DMC değeri, χ elde edilerek kriter ağırlıkları tahsis edilir.

Adım 5: Çoklu karar vericinin bulunduğu durumda nihai ağırlıkların hesaplanması.

Yöntemin birinci adımında karar vericinin öncelik sıralamasına tabii tuttuğu kriter, bir çok karar vericinin olduğu bir ortamda karar vericiler tarafından ayrı ayrı olarak sıralamaya tabii tutulur. Bu durumda her bir karar verici için ayrı ayrı ağırlık değerleri bulunmalı ve bu ağırlıklar birleştirilmelidir. Bunun için geometrik veya aritmetik ortalama kullanılabilir. Yapılan uygulama çalışmasında birleştirme yöntemi olarak geometrik ortalama kullanılmıştır. R karar verici sayısını göstermek üzere ve $R = \{1, 2, 3, \dots, r\}$ nihai kriter ağırlığı için Eşitlik (16) kullanılarak karar vericilerin kriter ağırlıkları birleştirilmiştir. Normalizasyon işlemi uygulanarak nihai kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

$$w_n = \sqrt[n]{w_1^1 \otimes w_1^2 \otimes w_1^3 \otimes \dots \otimes w_n^r} \quad (16)$$

FUCOM modeli veriler arasındaki tam tutarlılık esasından doğan ağırlıkları bulmamızı sağlar. Değerlendirme kriterinin çok olduğu durumlarda, $(n-1)$ sayıda ikili kriter karşılaştırmalarının bulunması çözüm açısından hız kazandırmaktadır. Yöntemin sahip olduğu DMC değerinin hesaplanması ile kriterler arasındaki tutarlılık başka bir araca ihtiyaç duymadan görülebilmekte olup bu durum sonuçların yorumlanması açısından kolaylık sağlamaktadır.

3.5. Bulanık MARCOS Yöntemi

Stević *et al.* tarafından henüz 2020'nin başlarında bizlere sunulmuş bu yeni yöntem, temel olarak optimum çözümü bulmaktan öte uzlaşık çözümleri dikkate almaktadır. Uzlaşık çözümleri antiideal ve ideal denilen çözümlere olan mesafelerini denetler ve bu şekilde uzlaşık çözümlerin toplam fayda fonksiyon değerlerini tespit eder son olarak bu değerleri sıralar.

MARCOS yönteminde kriterler fayda ve maliyet kriteri olarak ayrılmaktadır. Her kriterin kendine öz *ID*(İdeal Çözüm)ve *AAI*(Anti-İdeal Çözüm) değeri bulunmaktadır. *ID* çözüm değeri, en iyi çözüm anlamında olup maliyet kriterini minimize eden; fayda kriterini maksimize edebilen çözümü temsil eder. Buna karşılık *AAI* çözüm, en kötü çözüm değerini yani maliyet kriteri için maksimum; fayda değeri için minimum değeri ifade eder. Fayda fonksiyonları ise ideal ve anti-ideal çözüme göre bir alternatifin konumunu belirten fonksiyondur. Eşitlik(19) ve Eşitlik(20) numaralı eşitliklerde *ID* ve *AAI* değerleri gösterilmiştir.

Bu çalışmada MARCOS yöntemi bulanık sayılar kullanılarak uygulanmıştır. MARCOS yönteminin bulanık versiyonu ilk olarak Stanković *et al.* (2020) tarafından uygulanmıştır. Aşağıda bulanık MARCOS yönteminin adımları bulunmaktadır.

Adım 1: İlk karar verme matrisinin oluşturulması.

Çok kriterli modeller, bir dizi n adet kriter ve m adet alternatiften oluşmaktadır. Grup karar verme durumunda, alternatifleri kriterlere göre değerlendirmek için uzman değerlendirme matrisleri, ortak bir grup karar verme matrisinde toplanır (Stević, 2020). Çalışma içerisinde başlangıç matrisin elde edilmesi için karar vericilerden alınan değerler geometrik ortalama ile birleştirilmiş Eşitlik(17)'deki gibi gösterilmiştir.

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & \tilde{C}_1 & \tilde{C}_2 & \dots & \tilde{C}_n \\ \begin{matrix} \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_2 \\ \dots \\ \tilde{A}_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} (\tilde{x}_{11}) & (\tilde{x}_{12}) & \dots & (\tilde{x}_{1n}) \\ (\tilde{x}_{21}) & (\tilde{x}_{22}) & \dots & (\tilde{x}_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\tilde{x}_{m1}) & (\tilde{x}_{m2}) & \dots & (\tilde{x}_{mn}) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (17)$$

Adım 2: Genişletilmiş başlangıç matrisinin oluşturulması.

Bu adımda, ilk matrisin genişletilmesi için başlangıç matrisine İdeal, $\tilde{A}(ID)$ ve Anti-ideal, $\tilde{A}(AAI)$ çözümler eklenir. *ID* ve *AAI*'nin tanımlanmasına ait eşitlikler Eşitlik(19)-(20)'de gösterilmiştir.

$$\tilde{X} = \begin{matrix} \tilde{A}(AAI) & \tilde{C}_1 & \tilde{C}_2 & \dots & \tilde{C}_n \\ \tilde{A}_1 & (\tilde{x}_{ai1}) & (\tilde{x}_{ai2}) & \dots & (\tilde{x}_{ain}) \\ \tilde{A}_2 & (\tilde{x}_{11}) & (\tilde{x}_{12}) & \dots & (\tilde{x}_{1n}) \\ \dots & (\tilde{x}_{21}) & (\tilde{x}_{22}) & \dots & (\tilde{x}_{2n}) \\ \tilde{A}_m & \vdots & \ddots & \dots & \vdots \\ \tilde{A}(ID) & (\tilde{x}_{m1}) & (\tilde{x}_{m2}) & \dots & (\tilde{x}_{mn}) \\ & (\tilde{x}_{id1}) & (\tilde{x}_{id2}) & \dots & (\tilde{x}_{idn}) \end{matrix} \quad (18)$$

$$\tilde{A}(AAI) = \min_i(\tilde{x}_{ij}) \text{ Eğer } j \in B \text{ ve } \max_i(\tilde{x}_{ij}) \text{ Eğer } j \in C \quad (19)$$

$$\tilde{A}(ID) = \max_i(\tilde{x}_{ij}) \text{ Eğer } j \in B \text{ ve } \min_i(\tilde{x}_{ij}) \text{ Eğer } j \in C \quad (20)$$

B maksimizasyon kriter grubuna ait kümeyi ve C minimizasyon kriter grubuna ait kümeyi ifade etmektedir ve $(\tilde{x}_{ij})$ değeri başlangıç matrisindeki i . alternatifin j . kritere göre üçgensel sayı değerini temsil eder.

Adım 3: Bulanık başlangıç matrisinin($\tilde{X}$) normalleştirilmesi.

Normalleştirme işlemi söz konusu kriterin maliyet ya da fayda kriteri olmasına bağlı olarak aşağıdaki (22) ve (23) numaralı Eşitlik ifadeleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Eşitliklerde yer alan $(x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^u)$ bulanık başlangıç matrisinin elemanlarıdır.

$$\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{m \times n} \quad (21)$$

$$\tilde{n}_{ij} = (n_{ij}^l, n_{ij}^m, n_{ij}^u) = \left(\frac{x_{idj}^l}{x_{ij}^u}, \frac{x_{idj}^m}{x_{ij}^m}, \frac{x_{idj}^l}{x_{ij}^l} \right) \text{ Eğer } j \in C \quad (22)$$

$$\tilde{n}_{ij} = (n_{ij}^l, n_{ij}^m, n_{ij}^u) = \left(\frac{x_{ij}^l}{x_{idj}^u}, \frac{x_{ij}^m}{x_{idj}^m}, \frac{x_{ij}^u}{x_{idj}^l} \right) \text{ Eğer } j \in B \quad (23)$$

Adım 4: Ağırlıklandırılmış genişletilmiş matrisin hesaplanması.

Ağırlıklandırılmış matrisi ifade eden $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ matrisi, bulanık normalleştirilmiş $(\tilde{N})$ matrisi ile ağırlık katsayılarının çarpılması ile elde edilir. Fayda ve maliyet kriter tipleri için ortak adımdır ve Eşitlik(24)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$\tilde{v}_{ij} = (v_{ij}^l, v_{ij}^m, v_{ij}^u) = \tilde{n}_{ij} \otimes w_j = (n_{ij}^l \otimes w_j, n_{ij}^m \otimes w_j, n_{ij}^u \otimes w_j) \quad (24)$$

Adım 5: Anti-ideal ve ideal çözüm satırları için alternatiflerin kriter değerlerinin toplanması.

$\tilde{S}_i (s_i^l, s_i^m, s_i^u)$ matrisinin hesaplanma adımı Eşitlik(25)'te verilmiştir.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n (v_{ij}^l, v_{ij}^m, v_{ij}^u) \quad (25)$$

Adım 6: Her alternatifin anti-ideal ve ideal çözüme göre fayda derecelerinin hesaplanması.

Eşitlik(26) ve (27) uygulanarak, bir alternatifin anti-ideal ve ideal çözüme göre fayda dereceleri hesaplanır.

$$\tilde{K}_i^- = (\tilde{k}_i^{-l}, \tilde{k}_i^{-m}, \tilde{k}_i^{-u}) = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_{ai}} = \left(\frac{s_i^l}{s_{ai}^l}, \frac{s_i^m}{s_{ai}^m}, \frac{s_i^u}{s_{ai}^u} \right) \quad (26)$$

$$\tilde{K}_i^+ = (\tilde{k}_i^{+l}, \tilde{k}_i^{+m}, \tilde{k}_i^{+u}) = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_{id}} = \left(\frac{s_i^l}{s_{id}^l}, \frac{s_i^m}{s_{id}^m}, \frac{s_i^u}{s_{id}^u} \right) \quad (27)$$

Adım 7: Bulanık $\tilde{T}_i$ matrisinin hesaplanması.

Eşitlik(28)'de işlem adımları belirtilmiştir.

$$\tilde{T}_i = \tilde{t}_i = (t_i^l, t_i^m, t_i^u) = \tilde{K}_i^- \oplus \tilde{K}_i^+ = (\tilde{k}_i^{-l}, \tilde{k}_i^{-m}, \tilde{k}_i^{-u}) \oplus (\tilde{k}_i^{+l}, \tilde{k}_i^{+m}, \tilde{k}_i^{+u}) \quad (28)$$

Ardından, $\tilde{T}_i$ 'ler içindeki maksimumu belirten ifade ile durulaştırma için gerekli yeni bir $\tilde{D}$ bulanık sayısı elde edilmelidir. İfade Eşitlik(29)'da belirtilmiştir. Elde edilen yeni bulanık sayının da durulaştırma işlemi için Eşitlik(30)'dan yardım alınır.

$$\tilde{D} = (d^l, d^m, d^u) = \max_i \tilde{t}_{ij} \quad (29)$$

$$df_{crisp} = \frac{l + 4m + u}{6} \quad (30)$$

Adım 8: İdeal $f(\tilde{K}_i^+)$ ve anti-ideal $f(\tilde{K}_i^-)$ çözümüne ilişkin fayda fonksiyonlarının belirlenmesi.

Eşitlikler(31) ve (32) uygulanarak her bir alternatifin ideal ve anti-ideal fayda fonksiyon değerleri hesaplanır.

$$f(\tilde{K}_i^-) = \frac{\tilde{K}_i^-}{df_{crisp}} = \left(\frac{\tilde{k}_i^{-l}}{df_{crisp}}, \frac{\tilde{k}_i^{-m}}{df_{crisp}}, \frac{\tilde{k}_i^{-u}}{df_{crisp}} \right) \quad (31)$$

$$f(\tilde{K}_i^+) = \frac{\tilde{K}_i^+}{df_{crisp}} = \left(\frac{\tilde{k}_i^{+l}}{df_{crisp}}, \frac{\tilde{k}_i^{+m}}{df_{crisp}}, \frac{\tilde{k}_i^{+u}}{df_{crisp}} \right) \quad (32)$$

Adım 9: Toplam fayda fonksiyonu değerlerinin hesaplanması.

Alternatifler için ideal ve anti-ideal çözümlerin toplam fayda fonksiyonu değerlerini hesaplamak için Eşitlik(33) kullanılır. Burada tüm değerler durusallaştırılmış değerlerdir.

$$f(K_i) = \frac{\tilde{K}_i^+ \oplus \tilde{K}_i^-}{1 + \frac{1-f(\tilde{K}_i^+)}{f(\tilde{K}_i^+)} + \frac{1-f(\tilde{K}_i^-)}{f(\tilde{K}_i^-)}} \quad (33)$$

Adım 10: Sonucun yorumlanması.

Alternatiflerin toplam fayda fonksiyonu değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. En iyi alternatif en yüksek değere sahip olan iken; en kötü alternatif ise en düşük değere sahip alternatiftir.

3.6. TPOP Yöntemi

Her ÇKKV yaklaşımının alternatifleri değerlendirmek, sıralamak ve seçmek için kendi işlevsel ve hesaplama yeteneği bulunmaktadır. Karar vericilerin çeşitli değerlendirmelerini baz alarak farklı değerlendirmeler içeren bu ÇKKV yaklaşımları karar vericiler açısından farklı alternatifleri en iyi alternatif olarak gösterebilmektedir. Bu da uygulanan ÇKKV yöntemine bağlı olarak en iyi alternatifin değişmesi demektir ve bu karar verme süreçleri için karmaşıklık oluşturmaktadır. Bu karmaşıklığın ortadan kaldırılması amacıyla TPOP(Technique of Precise Order Preference- Kesin Tercih Sıralama Tekniği), Bairagi *et al.* tarafından 2015 yılında ortaya atılmıştır. TPOP, farklı ÇKKV yaklaşımlarla elde edilen farklı sıralamalardan ortak bir sıralama oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir.

TPOP, referans noktası teorisine dayanmaktadır. Referans noktasından minimum mesafeye sahip olan alternatif birinci sırada verilir ve en iyi alternatif olarak seçilir. Öte yandan, referans noktasından maksimum uzaklığa sahip olan alternatif, son sırada verilir ve en kötü alternatif olarak seçilir (Bairagi, 2015).

TPOP, kabul edilebilir görelî ağırlıklar sağlayan entropi ve üstel ağırlıklandırma yaklaşımlarının gelişmiş bir versiyonunu içermektedir (Delice ve Can, 2020). Bu yöntemin iki büyük avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlarından biri yöntem hesaplamalarının karmaşık olmayıp, kolay ve anlaşılır olmasıdır. Bir diğer avantajı ise karar vericilerin çeşitli ÇKKV yöntemleri sonucu ortaya çıkan farklı sonuçları karar vericilerin görüşlerini dikkate alıp daha kesin sonuç ortaya koymasındır.

Aşağıda TPOP yönteminin işlem adımları verilmiştir (Bairagi, 2015).

Adım 1. Başlangıç matrisinin oluşturulması.

Uygulanan çeşitli ÇKKV yaklaşımlarına göre elde edilen alternatif sıralamak için kullanılan değerlerin birleşimi ile başlangıç matrisi oluşturulur. Başlangıç matrisi Eşitlik(34) de gösterilmiştir. Burada; i , alternatifleri ($i = 1, \dots, m$), p , kullanılan ÇKKV yaklaşımlarını ($p = 1, \dots, t$) ifade etmektedir.

$$S = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1t} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2t} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mt} \end{bmatrix} \quad (34)$$

f_{ip} : i . alternatifin p . ÇKKV yaklaşımına göre sıralama değerini göstermektedir.

Adım 2. Başlangıç matrisinin normalize edilmesi.

Eşitlik(34)'te verilen S başlangıç matrisine Eşitlik(35) uygulanarak her f_{ip} değerine karşılık gelen normalleştirilmiş τ_{ip} değeri elde edilir.

$$\tau_{ip} = \frac{|f_{ip}|}{\sum_{i=1}^m |f_{ip}|} \quad (35)$$

Adım 3. Alternatiflerin entropi değerlerinin hesaplanması.

Karar verme problemlerinde veriler içindeki belirsizliğin ortadan kaldırılması ve daha doğru sonuçlar elde edilmesi aşamasında kullanılmaktadır ve TPOP yöntemi içinde entropi(e_p) Eşitlik(36)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$e_p = \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m |\tau_{ip} \cdot \ln \tau_{ip}| \quad (36)$$

Adım 4. ÇKKV yöntemlerinin her biri için görünen ağırlığın(s_p) hesabı.

$$s_p = \frac{1 - e_p}{\sum_{p=1}^t (1 - e_p)} \quad (37)$$

$1 - e_p$, j 'inci yaklaşımla belirlenen nihai seçim değerlerinin entropisinin tümleyeni olarak düşünülebilir.

Eşitlik(37) ile hesaplanan s_p ile yöntemlerin kendi içindeki sıralamalarına bağlı seçim prosedürleri önemsiz hale gelerek birbirleri arasında değerlendirilmesi sağlanır.

Adım 5. s'_p değerinin hesaplanması.

s'_p parametresi aşağıdaki Eşitlik(38) yardımıyla hesaplanır.

$$s'_p = (1 + \sqrt{s_p})p = 1, 2, \dots, t, 1 \leq s'_p \leq 2 \quad (38)$$

Adım 6. S'_p değerinin hesaplanması.

S'_p parametre değeri, Eşitlik (39)'a göre hesaplanmaktadır. Eşitlikte yer alan S'_p değeri $t \leq S'_p \leq 2t$ aralığında olmalıdır ve uygulanacak yöntemin sayısı $t \geq 2$ olmalıdır.

$$S'_p = \sum_{p=1}^t S'_p = \sum_{p=1}^t (1 + \sqrt{s_p}) = t + \sum_{p=1}^t \sqrt{s_p} \quad (39)$$

Adım 7. ÇKKV yöntemlerinin her biri için kesin ağırlığın hesaplanması.

ÇKKV yöntemlerin birbirleri içindeki kesin ağırlık değerleri Eşitlik(40) kullanılarak hesaplanır. Burada yer alan ağırlıkların toplamı 1 olmalıdır ($\sum_{p=1}^t w_p = 1$).

$$w_p = \frac{s'_p}{S'_p} = \frac{1 + \sqrt{s_p}}{t + \sum_{p=1}^t \sqrt{s_p}} \quad (40)$$

$$\min w_p = \frac{\min s'_p}{\max S'_p} = \frac{\min(1 + \sqrt{s_p})}{\max(t + \sum_{p=1}^t \sqrt{s_p})} = \frac{1}{t + \sqrt{t}} \quad (41)$$

$$\max w_p = \frac{\max s'_p}{\min S'_p} = \frac{\max(1 + \sqrt{s_p})}{\min(t + \sum_{p=1}^t \sqrt{s_p})} = \frac{2}{t + 1} \quad (42)$$

w_p , p . Yaklaşımın ağırlık değerini ifade etmektedir. Adım 4'te tüm s_b değerlerinin toplamının maksimum 1'e eşit olduğu belirtilmiştir ve buna göre $\max \sum_{p=1}^t \sqrt{s_p} = \sqrt{t}$ ve $\min \sum_{p=1}^t \sqrt{s_p} = 1$ olmaktadır. Buradan; $\max \sum_{p=1}^t (1 + \sqrt{s_p}) = t + \sqrt{t}$ ve $\sum_{p=1}^t (1 + \sqrt{s_p}) = t + 1$ çıkarımı yapılabilmektedir. Ayrıca bu durum şu şekilde de açıklanabilir; $s_p = 0$ iken, $\min s'_p = \min (1 + \sqrt{s_p}) = 1$ ve $s_b = 1$ iken, $\max s'_p = \max (1 + \sqrt{s_p}) = 2$ dir. Böylece, w_p değerlerinin maksimum ve minimum limitleri yukarıdaki Eşitlik (41) ve (42)'teki biçimde tanımlanmaktadır. Eşitliklerin tanımlamasıyla birlikte hesaplanan kesin ağırlık değeri $\frac{1}{t+\sqrt{t}} \leq w_p \leq \frac{2}{t+1}$ olmaktadır.

Adım 8. Kesin ağırlıklarının(w_j) normalize edilmesi.

Eşitlik(43) ve (44) kullanılarak ağırlıklar normalize edilir. H , p . ÇKKV yöntemi için en iyi sıralamanın büyükten küçüğe yapıldığı yöntemi ifade ederken; L , p . ÇKKV yöntemi için en iyi sıralamanın küçükten büyüğe yapıldığı alternatif değerlendirme yöntemini ifade etmektedir.

$$g_{ip} \begin{cases} \frac{(f_p)_{maks} - f_{ip}}{(f_p)_{maks} - (f_p)_{min}}, f_{ip} \in H \\ \frac{f_{ip} - (f_p)_{min}}{(f_p)_{maks} - (f_p)_{min}}, f_{ip} \in L \end{cases} \quad (43)$$

$$(44)$$

Adım 9. Alternatiflerin üssel ağırlıklı normalleştirilmiş nihai seçim değerlerinin hesaplanması.

Her bir alternatif için, üssel(exp) ağırlıklı normalize sıralama değerinin(h_{ip}) elde edilmesi için Eşitlik(45) kullanılır.

$$h_{ip} = \exp(w_p + g_{ip}) \quad (45)$$

Adım 10. Alternatifler için nihai seçim indeksinin hesaplanması.

PSI_i , i .alternatifin ideal referans noktasından göreceli mesafesini temsil etmektedir ve Eşitlik(46) yardımıyla hesaplanır.

$$PSI_i = \sum_{p=1}^t h_{ip} = \sum_{p=1}^t \exp(w_p + g_{ip}) \quad (46)$$

Adım 11. Alternatiflerin sıralanması.

Sıralama aşamasında birinci sıra hesaplanan PSI_i değerleri dikkate alınır. Minimum PSI_i 'ye sahip olan alternatif en başta olmak üzere küçükten büyüğe sıralama işlemi gerçekleşir.

Bu yöntemin iki büyük avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlarından biri yöntem hesaplamalarının karmaşık olmayıp, kolay ve anlaşılır olmasıdır. Bir diğer avantajı ise karar vericilerin çeşitli ÇKKV yöntemleri sonucu ortaya çıkan farklı sonuçları karar vericilerin görüşlerini dikkate alıp daha kesin sonuç ortaya koymasındır.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde önerilen bulanık FUCOM&MARCOS modeli, bir firmanın tedarikçi değerlendirme aşamasında kullanılmıştır. Önerilen modelin akış diyagramı Şekil 4’de önerilen modelin akış diyagramı verilmiştir.

AŞAMA 1: Problemin Tanımlanması

Karar Verici Grubunun, Karar Kriterlerinin ve Alternatiflerinin Belirlenmesi

AŞAMA 2: Bulanık FUCOM Yöntemiyle Kriter Ağırlıklarının Tespiti

Adım 1. Kriterlerin Sıralanması ve Üçgensel Bulanık Sayılar Kullanılarak Kriterlerin Karşılaştırılması

Adım 2. Optimum Bulanık Ağırlıkların Hesaplanması

Adım 3. Çoklu Karar Verici Ağırlıklarının Birleştirilmesi ve Nihai Ağırlıkların Hesaplanması

AŞAMA 3: Bulanık MARCOS Yöntemiyle Alternatiflerin Sıralanması

Adım 4. İlk Karar Verme Matrisinin Oluşturulması

Adım 5. Genişletilmiş Başlangıç Matrisinin Oluşturulması

Adım 6. Bulanık Başlangıç Matrisinin Normalleştirilmesi

Adım 7. Ağırlıklandırılmış Genişletilmiş Matrisin Hesaplanması

Adım 8. Her Alternatifin $\tilde{S}_i$ Değerlerinin ve Anti-ideal, İdeal Çözüme göre Fayda Derecelerinin Hesaplanması ($\tilde{K}_i^-, \tilde{K}_i^+$)

Adım 9. Bulanık $\tilde{T}_i$ Matrisinin Hesaplanması

Adım 10. İdeal $f(\tilde{K}_i^+)$ ve Anti-ideal $f(\tilde{K}_i^-)$ Çözümüne İlişkin Fayda Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Adım 11. Toplam Fayda Fonksiyonu Değerlerinin Hesaplanması ve Alternatiflerin Sıralanması

AŞAMA 4: Karşılaştırmalı Analiz

Adım 12. Bulanık WASPAS, Bulanık EDAS, Bulanık ARAS ve Bulanık MABAC ile Alternatif Sıralamalarının Belirlenmesi

Adım13. TPOP Yöntemi ile Nihai Alternatif Sıralamalarının Belirlenmesi

Şekil 4. Önerilen bulanık FUCOM&MARCOS modeli için akış diyagramı.

AŞAMA 1: Problemin Tanımlanması

Uygulama kapsamında Kuzeydoğu Anadolu Bölgesinde, Boya&Kimya Endüstrisinde yer alan sektöründe lider bir firmanın dekoratif taş tedarikçileri değerlendirilerek en iyi tedarikçinin seçilmesi amaçlanmıştır. Firma 1979 yılından bu yana faaliyetini sürdürmektedir. Doğu Anadolu Bölgesinde 12 ilde faaliyet göstermekte ve ayrıca Bursa ile Kayseri’de üretim fabrikası bulunmaktadır. İnşaat boyaları, epoksi zemin kaplamaları, matbaa mürekkepleri, oto boyaları, su bazlı solvent bazlı endüstriyel boyaları vb. ürünlerin üretimini yapılmaktadır. Alanında birçok başarılı proje ile ismini duyuran firma kalite ve standartlara oldukça önem vermiş ve sektörün lider birçok firması ile birlikte çalışarak sektör üzerindeki gücünü arttırmış, sektörün aranan isimlerinden biri haline gelmiştir.

Çalışma kapsamında 8 ile 15 yıl arasında tecrübeye sahip satın alma, pazarlama bölümü ile kalite bölümünde görev yapan 4 personelin bulunduğu karar verici grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan karar verici grubu ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Yapılan bu görüşmelerde tedarikçi seçim kriterleri ve değerlendirilecek tedarikçi alternatifleri belirlenmiştir. Çalışma için değerlendirilecek tedarikçilerin seçimi işleminde firma kendilerine dekoratif taş sağlayan 6 adet tedarikçi belirlemiştir. Tedarikçi isimleri firma tarafından verilmek istenmediğinden dolayı bu tez çalışmasında tedarikçiler A₁, A₂, A₃ ve A₄, A₅, A₆ olarak tanımlanmıştır.

Tedarikçi seçim kriterlerin belirlenmesi adımı literatür dikkatle incelenmiş ve tedarikçi seçim veya değerlendirilmesi konusunda kullanılan kriterlere bakılmıştır. Literatürde çevre kriterleri başta olmak üzere farklı alanlarda yer alan kriterler bulunmaktadır ancak çalışmanın yapılacağı firmanın sahip olduğu koşullar neticesinde kriterler belirlenmelidir. Literatürde Dickson(1966) çalışmasında elde ettiği tedarikçi seçim kriterlerinin bu alanda yapılmış birçok çalışmada yer aldığı ve bu kriterlerin oldukça kapsamlı olduğu görülmüştür. Bu sebeple bu çalışmada Dickson’un çalışmasında elde ettiği kriterler temel alınmıştır. Bu kriterler içerisinden firmanın sahip olduğu koşullar da dikkate alınarak firma için kullanılacak kriterlere dönüştürülmüştür. Belirlenen bu kriterlerin tanımları firma için özelleştirilmiş ve kriterler sade bir şekilde tanımlanarak karar vericilerin tedarikçileri daha kolay ve güvenilir bir şekilde değerlendirmeleri sağlanmıştır.

Tablo 5’te firma karar verici grubu tarafından seçilmiş ve değerlendirme kriteri olarak belirlenmiş kriterler ve açıklamaları sunulmuştur.

Tablo 5. Kriter Değerlendirme Tablosu

Kriterler	Kriter Açıklamaları
Tasarım(C ₁)	Taşın renk, boyut ve şekil uygunluğu
Maliyet(C ₂)	Ürünün birim maliyeti ve firmanın ödeme vadesi uygunluğu
Uygulama Kolaylığı(C ₃)	Gönderilen taşın kullanılabilirliği
Kalite(C ₄)	İstenilen kalitede olması
Stok Durumu(C ₅)	Sipariş miktarını karşılama kapasitesi
Nakliye Durumu(C ₆)	Zamanında sevkiyat yapabilme yeterliliği
Geçmiş Performans(C ₇)	Geçmiş işler için tedarikçinin kalite, maliyet ve nakliye uyumu
Garanti& Politikalar(C ₈)	Şirket politika ve standartlarına uyarak ürünün eleçlenme, nakliye ve tedarik zamanına uyum. Hasarlı ürün tespitinde verilen tepki ve iyileştirme çabaları
Teknik Yeterlilik(C ₉)	Özelleştirilmiş olarak istenilen ürünü üretme yeteneği
İletişim Sistemi(C ₁₀)	Tedarikçiye istenildiğinde ulaşma ve tedarik süreçlerinin takibinin sağlanması
İtibar ve Endüstrideki Durum(C ₁₁)	Tedarikçinin sektördeki konumu
Eğitim Destekleri(C ₁₂)	Ürünün kullanım alanı ve kullanım biçimine ait firmaya verdiği bilgi ve doküman yeterliliği

AŞAMA 2: Bulanık FUCOM Yöntemiyle Kriter Ağırlıklarının Tespiti

Adım 1. Kriterlerin Sıralanması ve Üçgensel Bulanık Sayılar Kullanılarak Kriterlerin Karşılaştırılması

Karar vericiler değerlendirme için bulanık dilsel ifadeler kullanmıştır. Bulanık ifadelere başvurmanın başlıca sebebi insanın yaptığı değerlendirmelerde ikileme düşebilecek olması ve karar verici grubunun her ne kadar uzman sayılabilecek konumda olsalar dahi bir yanılma paylarının bulunmasıdır. Literatürde yapılan çalışmalarda sıklıkla dilsel belirsizliklerin aralıklı olarak sunulması ve sonucun daha doğru çıkarılması açısından üçgensel sayılara başvurulduğu

gözlenmiştir. Bu sebeple bulanık sayıların ifadesi için kullanım kolaylığı gerekçesi ile üçgensel sayılara başvurulmuştur.

Bulanık FUCOM yöntemi ile kriter önem ağırlıklarının belirlenmesi işleminde karar verici grubuna EK-1’de sunulan değerlendirme tablosu verilerek, öncelikle kriterleri kendilerine göre önem sırasına koymaları istenmiş, sonra kriterlerin her bir karar verici(KV) tarafından üçgensel olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Kriter değerlendirmesi için Chou vd. 2012’deki kriter değerlendirme için kullandıkları bulanıklaştırılmış sayılar baz alınarak Tablo 6 oluşturulmuştur. Tablo 6’da değerlendirmede kullanılan üçgensel sayılara ait üyelik derecelerine, dilsel eşleniklerine ve dilsel eşleniklerin kısaltmalarına yer verilmiştir.

Tablo 6. Kriter Değerlendirme için Dilsel İfadelerin Üyelik Fonksiyon Değerleri

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayı Değerleri
Eşit Derecede Önemli (OZ)	(1, 1, 1)
Çok Zayıf Önemli(ÇZ)	(1, 2, 3)
Zayıf Önemli(Z)	(2, 3, 4)
Orta Zayıf Önemli(RZ)	(3, 4, 5)
Orta Önemli (O)	(4, 5, 6)
Daha Önemli (Rİ)	(5, 6, 7)
Oldukça Önemli (İ)	(6, 7, 8)
Çok Önemli (Çİ)	(7, 8, 9)
Mükemmel önemli (Oİ)	(8, 9, 10)

Önceden tanımlanmış değerlendirme kriterleri karar vericiler tarafından sıralanmıştır. Sıralama, en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenen kriterden, en düşük ağırlık katsayısına sahip olan kritere göre yapılmaktadır. Buna göre yapılan sıralamalar aşağıdaki gibi sunulmuştur:

$$KV_1: C_2 = C_4 = C_1 > C_5 = C_6 = C_3 > C_{11} = C_{12} > C_7 = C_8 > C_{10} = C_9$$

$$KV_2: C_4 = C_5 = C_6 > C_1 > C_{10} > C_{12} = C_9 = C_{11} > C_7 = C_2 > C_8 = C_3$$

$$KV_3: C_5 = C_6 = C_9 > C_{12} > C_2 = C_1 = C_4 = C_7 > C_8 = C_3 > C_{11} > C_{10}$$

$$KV_4: C_1 = C_4 > C_2 = C_5 = C_6 > C_7 > C_3 = C_8 = C_9 > C_{12} > C_{10} > C_{11}$$

Karar vericiler Tablo 6’da gösterilen bulanık değerlendirme ölçeğini kullanarak önem sıralamasında ilk sırada belirledikleri kriterin diğer kriterlere göre önemlilik düzeylerini belirlemişlerdir. Dilsel olarak değerlendirilen sıralamalar Tablo 7’de; bulanık sayı değerleri ise Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 7. KV’lerin Bulanık Dilsel İfade Değerlendirmeleri

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
KV₁	OZ	OZ	ÇZ	OZ	ÇZ	ÇZ	RZ	RZ	O	O	Z	Z
KV₂	ÇZ	O	Rİ	OZ	OZ	OZ	O	Rİ	RZ	Z	RZ	RZ
KV₃	Z	Z	RZ	Z	OZ	OZ	Z	RZ	OZ	Rİ	O	ÇZ
KV₄	OZ	ÇZ	RZ	OZ	ÇZ	ÇZ	Z	RZ	RZ	Rİ	Çİ	O

Tablo 8. KV’lerin Bulanık Sayı Değerleri ile Değerlendirmeleri

	Kriterler											
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
KV₁	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)
KV₂	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)
KV₃	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(1, 2, 3)
KV₄	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(7, 8, 9)	(4, 5, 6)

Bundan sonraki bölümde sırasıyla bütün bulanık FUCOM adımları uygulanacaktır.

Adım 2. Optimum Bulanık Ağırlıkların Hesaplanması

Kriterlerin karşılaştırmalı önemi $\varphi_{(k/k+1)}$ bulmak için Eşitlik (11) yardımıyla, KV₁ için aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\varphi_{(C_2/C_4)} = \frac{\varpi C_4}{\varpi C_2} = \frac{(1, 1, 1)}{(1, 1, 1)} = (1, 1, 1)$$

$$\varphi_{(C_4/C_1)} = \frac{\varpi C_1}{\varpi C_4} = \frac{(1, 1, 1)}{(1, 1, 1)} = (1, 1, 1)$$

$$\varphi_{(C_1/C_5)} = \frac{\varpi C_5}{\varpi C_1} = \frac{(1, 2, 3)}{(1, 1, 1)} = (1, 2, 3)$$

$$\varphi_{(C_5/C_6)} = \frac{\varpi C_6}{\varpi C_5} = \frac{(1, 2, 3)}{(1, 2, 3)} = (0,333, 1, 3)$$

$$\varphi_{(C_6/C_3)} = \frac{\varpi C_3}{\varpi C_6} = \frac{(1, 2, 3)}{(1, 2, 3)} = (0,333, 1, 3)$$

$$\varphi_{(C_3/C_{11})} = \frac{\varpi C_{11}}{\varpi C_3} = \frac{(2, 3, 4)}{(1, 2, 3)} = (0,667, 1,5, 4)$$

$$\varphi_{(C_{11}/C_{12})} = \frac{\varpi C_{12}}{\varpi C_{11}} = \frac{(2, 3, 4)}{(2, 3, 4)} = (0,5, 1, 2)$$

$$\varphi_{(C_{12}/C_7)} = \frac{\varpi C_7}{\varpi C_{12}} = \frac{(3, 4, 5)}{(2, 3, 4)} = (0,75, 1,333, 2,5)$$

$$\varphi_{(C_7/C_8)} = \frac{\varpi C_8}{\varpi C_7} = \frac{(3, 4, 5)}{(3, 4, 5)} = (0,6, 1, 1,667)$$

$$\varphi_{(C_8/C_{10})} = \frac{\varpi C_{10}}{\varpi C_8} = \frac{(4, 5, 6)}{(3, 4, 5)} = (0,8, 1,25, 2)$$

$$\varphi_{(C_{10}/C_9)} = \frac{\varpi C_9}{\varpi C_{10}} = \frac{(4, 5, 6)}{(4, 5, 6)} = (0,7, 1, 1,5)$$

KV₁, KV₂, KV₃, KV₄ için hesaplanan kriterlerin karşılaştırmalı önem vektörü Φ aşağıdaki gibidir.

$$\Phi_{KV_1} = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 2, 3), (0,333, 1, 3), (0,333, 1, 3), (0,667, 1,5, 4), (0,5, 1, 2), (0,75, 1,333, 2,5), (0,6, 1, 1,667)(0,8, 1,25, 2)(0,667, 1, 1,5)]$$

$$\Phi_{KV_2} = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 2, 3), (0,667, 1,5, 4), (0,75, 1,333, 2,5), (0,6, 1, 1,667), (0,6, 1, 1,667), (0,8, 1,25, 2)(0,667, 1, 1,5)(0,833, 1,2, 1,75)(0,714, 1, 1,4)]$$

$$\Phi_{KV_3} = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 2, 3), (0,667, 1,5, 4), (0,5, 1, 2), (0,5, 1, 2), (0,5, 1, 2), (0,75, 1,333, 2,5), (0,6, 1, 1,667), (0,8, 1,25, 2), (0,833, 1,2, 1,75)]$$

$$\Phi_{KV_4} = [(1, 1, 1), (1, 2, 3), (0,333, 1, 3), (0,333, 1, 3), (0,667, 1,5, 4), (0,75, 1,333, 2,5), (0,6, 1, 1,667), (0,6, 1, 1,667), (0,8, 1,25, 2), (0,833, 1,2, 1,75), (1, 1,33, 1,8)]$$

Karşılaştırmalı öncelik vektörlerine ek, matematiksel geçerlilik koşulu sağlanmalıdır. Bu sebeple $\varphi_{(k/k+2)}$ 'nin değeri hesaplanmalıdır. Bu aşamada bu çalışma için $(n-2)$ adet yani

10 adet karşılaştırma bulunmaktadır. Eşitlik(12)-(14)'de gösterildiği gibi, her KV için $\frac{w_k}{w_{(k+1)}} =$

$\varphi_{k/(k+1)}$ ve $\frac{w_k}{w_{(k+2)}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}$ koşul değerleri sağlanmalıdır.

$\varphi_{(k/k+2)}$ karşılaştırmalı öncelikler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

KV₁ için $\varphi_{(k/k+2)}$ karşılaştırmalı öncelikler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\varphi_{(c_2/c_1)} = (1, 1, 1) \otimes (1, 1, 1) = (1, 1, 1)$$

$$\varphi_{(c_4/c_5)} = (1, 1, 1) \otimes (1, 2, 3) = (1, 2, 3)$$

$$\varphi_{(c_1/c_6)} = (1, 1, 1) \otimes (0,333, 2, 9)$$

$$\varphi_{(c_5/c_3)} = (0,333, 1, 3) \otimes (0,333, 1, 3) = (0,111, 1, 9)$$

$$\varphi_{(c_6/c_{11})} = (0,333, 1, 3) \otimes (0,666, 1,5, 4) = (0,222, 1,5, 12)$$

$$\varphi_{(c_3/c_{12})} = (0,666, 1,5, 4) \otimes (0,5, 1, 2) = (0,333, 1,5, 8)$$

$$\varphi_{(c_{11}/c_7)} = (0,5, 1, 2) \otimes (0,75, 1,333, 2,5) = (0,375, 1,333, 5)$$

$$\varphi_{(c_{12}/c_8)} = (0,75, 1,333, 2,5) \otimes (0,6, 1, 1,667) = (0,45, 1,333, 4,167)$$

$$\varphi_{(c_7/c_{10})} = (0,6, 1, 1,667) \otimes (0,8, 1,25, 2) = (0,48, 1,25, 3,333)$$

$$\varphi_{(c_8/c_9)} = (0,8, 1,25, 2) \otimes (0,667, 1, 1,5) = (0,533, 1,25, 3)$$

KV₂ için kriterler için hesaplanan $\varphi_{(k/k+2)}$ karşılaştırmalı öncelikler aşağıdaki gibidir.

$$\varphi_{(c_4/c_6)} = (1, 1, 1)$$

$$\varphi_{(c_5/c_1)} = (1, 2, 3)$$

$$\varphi_{(c_6/c_{10})} = (0,667, 3, 12)$$

$$\varphi_{(c_1/c_{12})} = (0,5, 2, 10)$$

$$\varphi_{(c_{10}/c_9)} = (0,45, 1,333, 4,167)$$

$$\varphi_{(c_{12}/c_{11})} = (0,36, 1, 2,778)$$

$$\varphi_{(c_9/c_7)} = (0,48, 1,25, 3,333)$$

$$\varphi_{(c_{11}/c_2)} = (0,533, 1,25, 3)$$

$$\varphi_{(c_7/c_8)} = (0,556, 1,2, 2,625)$$

$$\varphi_{(c_2/c_3)} = (0,595, 1,2, 2,45)$$

KV₃ için kriterler için hesaplanan $\varphi_{(k/k+2)}$ karşılaştırmalı öncelikler aşağıdaki gibidir.

$$\varphi_{(c_5/c_9)} = (1, 1, 1)$$

$$\varphi_{(c_6/c_{12})} = (1, 2, 3)$$

$$\varphi_{(C_9/C_2)} = (0,667, 3, 12)$$

$$\varphi_{(C_{12}/C_1)} = (0,333, 1,5, 8)$$

$$\varphi_{(C_2/C_4)} = (0,25, 1, 4)$$

$$\varphi_{(C_1/C_7)} = (0,25, 1, 4)$$

$$\varphi_{(C_4/C_8)} = (0,375, 1,333, 5)$$

$$\varphi_{(C_7/C_3)} = (0,45, 1,333, 4,167)$$

$$\varphi_{(C_8/C_{11})} = (0,48, 1,25, 3,333)$$

$$\varphi_{(C_3/C_{10})} = (0,667, 1,5, 3,5)$$

KV₄ için kriterler için hesaplanan $\varphi_{(k/k+2)}$ karşılaştırmalı öncelikler aşağıdaki gibidir.

$$\varphi_{(C_1/C_2)} = (1, 2, 3)$$

$$\varphi_{(C_4/C_5)} = (0,333, 2, 9)$$

$$\varphi_{(C_2/C_6)} = (0,111, 1, 9)$$

$$\varphi_{(C_5/C_7)} = (0,222, 1,5, 12)$$

$$\varphi_{(C_6/C_3)} = (0,5, 2, 10)$$

$$\varphi_{(C_7/C_8)} = (0,45, 1,333, 4,167)$$

$$\varphi_{(C_3/C_9)} = (0,36, 1, 2,778)$$

$$\varphi_{(C_8/C_{12})} = (0,48, 1,25, 3,333)$$

$$\varphi_{(C_8/C_{10})} = (0,667, 1,5, 3,5)$$

$$\varphi_{(C_{12}/C_{11})} = (0,833, 1,6, 3,15)$$

Eşitlik(15) kullanılarak her KV için aşağıdaki matematiksel modeller oluşturulmuştur. Matematiksel model ile ağırlıkların belirlenmesi için her bir karar vericiye ait çözülmesi gerekli 100'den fazla eşitsizlik bulunmaktadır. Tüm karar vericiler için toplam 500'den fazla eşitsizlik LINGO 18.0 yardımıyla çözülerek her bir KV için kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

KV₁ için oluşturulan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$\min \chi$ s.t.

$$\begin{aligned} & |w_2^l - 1 \cdot w_4^u|, |w_2^m - 1 \cdot w_4^m|, |w_2^u - 1 \cdot w_4^l|, |w_4^l - 1 \cdot w_1^u|, |w_4^m - 1 \cdot w_1^m|, \\ & |w_4^u - 1 \cdot w_1^l|, |w_1^l - 1 \cdot w_5^u|, |w_1^m - 2 \cdot w_5^m|, |w_1^u - 3 \cdot w_5^l|, |w_5^l - 0,333 \cdot w_6^u|, \\ & |w_5^m - 1 \cdot w_6^m|, |w_5^u - 3 \cdot w_6^l|, |w_6^l - 0,333 \cdot w_3^u|, |w_6^m - 1 \cdot w_3^m|, |w_6^u - 3 \cdot w_3^l|, \\ & |w_3^l - 0,667 \cdot w_{11}^u|, |w_3^m - 1,5 \cdot w_{11}^m|, |w_3^u - 4 \cdot w_{11}^l|, |w_{11}^l - 0,5 \cdot w_{12}^u|, |w_{11}^m - 1 \cdot w_{12}^m|, \\ & |w_{11}^u - 2 \cdot w_{12}^l|, |w_{12}^l - 0,75 \cdot w_7^u|, |w_{12}^m - 1,333 \cdot w_7^m|, |w_{12}^u - 2,5 \cdot w_7^l|, |w_7^l - 0,6 \cdot w_8^u|, \\ & |w_7^m - 1 \cdot w_8^m|, |w_7^u - 1,667 \cdot w_8^l|, |w_8^l - 0,8 \cdot w_{10}^u|, |w_8^m - 1,25 \cdot w_{10}^m|, |w_8^u - 2 \cdot w_{10}^l|, \\ & |w_8^l - 0,8 \cdot w_{10}^u|, |w_8^m - 1,25 \cdot w_{10}^m|, |w_8^u - 2 \cdot w_{10}^l| \leq \chi; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & |w_2^l - 1 \cdot w_1^u|, |w_2^m - 1 \cdot w_1^m|, |w_2^u - 1 \cdot w_1^l|, |w_4^l - 1 \cdot w_5^u|, |w_4^m - 2 \cdot w_5^m|, \\ & |w_4^u - 3 \cdot w_5^l|, |w_1^l - 0,333 \cdot w_6^u|, |w_1^m - 2 \cdot w_6^m|, |w_1^u - 9 \cdot w_6^l|, |w_5^l - 0,111 \cdot w_3^u|, \\ & |w_5^m - 1 \cdot w_3^m|, |w_5^u - 9 \cdot w_3^l|, |w_6^l - 0,222 \cdot w_{11}^u|, |w_6^m - 1,5 \cdot w_{11}^m|, |w_6^u - 12 \cdot w_{11}^l|, \\ & |w_3^l - 0,333 \cdot w_{12}^u|, |w_3^m - 1,5 \cdot w_{12}^m|, |w_3^u - 8 \cdot w_{12}^l|, |w_{11}^l - 0,375 \cdot w_7^u|, \\ & |w_{11}^m - 1,333 \cdot w_7^m|, |w_{11}^u - 5 \cdot w_7^l|, |w_{12}^l - 0,45 \cdot w_8^u|, |w_{12}^m - 1,333 \cdot w_8^m|, \\ & |w_{12}^u - 4,167 \cdot w_8^l|, |w_7^l - 0,48 \cdot w_{10}^u|, |w_7^m - 1,25 \cdot w_{10}^m|, |w_7^u - 3,333 \cdot w_{10}^l|, \\ & |w_8^l - 0,53 \cdot w_9^u|, |w_8^m - 1,25 \cdot w_9^m|, |w_8^u - 3 \cdot w_9^l| \leq \chi; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 1/6(w_1^l + 4 \cdot w_1^m + w_1^u) + 1/6(w_2^l + 4 \cdot w_2^m + w_2^u) + 1/6(w_3^l + 4 \cdot w_3^m + w_3^u) + \\ & 1/6(w_4^l + 4 \cdot w_4^m + w_4^u) + 1/6(w_5^l + 4 \cdot w_5^m + w_5^u) + 1/6(w_6^l + 4 \cdot w_6^m + w_6^u) + \\ & 1/6(w_7^l + 4 \cdot w_7^m + w_7^u) + 1/6(w_8^l + 4 \cdot w_8^m + w_8^u) + 1/6(w_9^l + 4 \cdot w_9^m + w_9^u) + \\ & 1/6(w_{10}^l + 4 \cdot w_{10}^m + w_{10}^u) + 1/6(w_{11}^l + 4 \cdot w_{11}^m + w_{11}^u) + 1/6(w_{12}^l + 4 \cdot w_{12}^m + w_{12}^u) = 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & w_1^l \leq w_1^m \leq w_1^u, w_2^l \leq w_2^m \leq w_2^u, w_3^l \leq w_3^m \leq w_3^u, w_4^l \leq w_4^m \leq w_4^u, w_5^l \leq w_5^m \leq w_5^u, \\ & w_6^l \leq w_6^m \leq w_6^u, w_7^l \leq w_7^m \leq w_7^u, w_8^l \leq w_8^m \leq w_8^u, w_9^l \leq w_9^m \leq w_9^u, w_{10}^l \leq w_{10}^m \leq w_{10}^u, \\ & w_{11}^l \leq w_{11}^m \leq w_{11}^u, w_{12}^l \leq w_{12}^m \leq w_{12}^u; \end{aligned}$$

$$w_1^l, w_2^l, w_3^l, w_4^l, w_5^l, w_6^l, w_7^l, w_8^l, w_9^l, w_{10}^l, w_{11}^l, w_{12}^l \geq 0$$

Tablo 9’da her karar vericiye ait hesaplanmış kriter ağırlıklarına yer verilmiştir.

Tablo 9.Bulanık Kriter Ağırlıkları

	KV ₁			KV ₂			KV ₃			KV ₄		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
C ₁	0,067	0,136	0,136	0,043	0,043	0,043	0,016	0,069	0,082	0,106	0,106	0,106
C ₂	0,106	0,106	0,106	0,052	0,103	0,122	0,015	0,058	0,064	0,047	0,106	0,112
C ₃	0,015	0,080	0,080	0,067	0,121	0,139	0,031	0,096	0,096	0,012	0,072	0,072

C ₄	0,106	0,106	0,106	0,129	0,129	0,129	0,024	0,090	0,090	0,068	0,060	0,181
C ₅	0,048	0,073	0,097	0,086	0,129	0,129	0,109	0,109	0,109	0,024	0,145	0,088
C ₆	0,019	0,084	0,084	0,086	0,086	0,086	0,109	0,109	0,109	0,017	0,088	0,081
C ₇	0,022	0,072	0,072	0,039	0,086	0,105	0,029	0,095	0,095	0,011	0,081	0,083
C ₈	0,032	0,089	0,101	0,056	0,107	0,114	0,025	0,082	0,082	0,029	0,079	0,084
C ₉	0,047	0,102	0,108	0,026	0,064	0,086	0,076	0,142	0,142	0,040	0,084	0,112
C ₁₀	0,033	0,088	0,088	0,011	0,043	0,064	0,037	0,081	0,081	0,043	0,098	0,090
C ₁₁	0,010	0,069	0,069	0,041	0,086	0,114	0,035	0,080	0,080	0,043	0,090	0,081
C ₁₂	0,015	0,079	0,093	0,009	0,043	0,071	0,047	0,071	0,091	0,037	0,081	0,098

Kriterlerin birbirleri arasındaki uyumunu gösterir ifade ve tam tutarlılıktan sapma miktarlarının göstergesi olan $DMC(\chi)$ değerleri aşağıdaki Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. $DMC(\chi)$ Değerleri

	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄
χ	0,039	0,043	0,033	0,038

Kriterler ağırlıkları hesaplanmış kriterler belirsizliği ortadan kaldırarak net veriler elde edilebilmesi adına durulaştırma işlemine tabii tutulmuştur. Bulanık sayıların durulaştırma işlemi Eşitlik(10) kullanılarak aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan tüm değerlerler aşağıda yer alan Tablo 11’de sunulmuştur.

$$W_{C_1} = (W_{C_1^l}, W_{C_1^m}, W_{C_1^u}) = (0,067, 0,136, 0,136)$$

$$W_{C_1} = \frac{(0,067 + 4 * 0,136 + 0,136)}{6} = (0,125)$$

Hesaplanan tüm değerlerler aşağıda yer alan Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 11. Kriterlerin Her Bir KV için Nihai Değeri

	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄
C ₁	0,125	0,043	0,062	0,106
C ₂	0,106	0,098	0,052	0,075
C ₃	0,069	0,115	0,085	0,054
C ₄	0,106	0,129	0,079	0,138

C ₅	0,073	0,122	0,109	0,077
C ₆	0,073	0,086	0,109	0,07
C ₇	0,064	0,081	0,084	0,068
C ₈	0,082	0,1	0,073	0,075
C ₉	0,094	0,061	0,131	0,091
C ₁₀	0,079	0,041	0,074	0,082
C ₁₁	0,059	0,083	0,073	0,075
C ₁₂	0,071	0,042	0,07	0,088

Adım 3. Çoklu Karar Verici Ağırlıklarının Birleştirilmesi ve Nihai Ağırlıkların Hesaplanması

Her bir kriterin bir ağırlığı olmalıdır bu sebeple her bir KV için Tablo 9’da ayrı ayrı verilen kriter ağırlıkları Eşitlik(16) kullanılarak birleştirilir. ÇKKV yöntem temeli gereği ağırlıkların toplamı 1 olmalıdır. Bu sebeple her bir kriter için birleştirilmiş kriter ağırlıkları normalizasyon işlemine tabi tutulur. Tablo 12’de birleştirilmiş ve normalize edilmiş kriter ağırlıkları gösterilmektedir.

$$W_{C_1} = \sqrt[4]{W_1^1 \otimes W_1^2 \otimes W_1^3 \otimes W_n^4}$$

$$W_{C_1} = \sqrt[4]{0,016 * 0,067 * 0,043 * 0,106} = 0,077$$

Tablo 12. Kriterlerin Bulanık FUCOM Sonucu Nihai Ağırlık Değerleri

	W _{C₁}	W _{C₂}	W _{C₃}	W _{C₄}	W _{C₅}	W _{C₆}	W _{C₇}	W _{C₈}	W _{C₉}	W _{C₁₀}	W _{C₁₁}	W _{C₁₂}
Değerler	0,077	0,08	0,078	0,11	0,093	0,083	0,074	0,082	0,091	0,067	0,072	0,065
Normalize edilmiş değerler	0,079	0,082	0,08	0,113	0,096	0,085	0,076	0,084	0,094	0,069	0,074	0,067

AŞAMA 3: Bulanık MARCOS Yöntemiyle Alternatiflerin Sıralanması

Adım 4. İlk Karar Verme Matrisinin Oluşturulması

Bulanık MARCOS yöntemi ile alternatiflerin sıralanması aşamasında kullanılacak verilerin elde edilmesi işleminde karar vericilere EK-2’de sunulan alternatif değerlendirme tablosu verilerek alternatifleri değerlendirmeleri sağlanmıştır. Karar vericilerin alternatif değerlendirme sırasında kullandıkları dilsel ifadeler ve dilsel ifadeler karşılık gelen üçgensel sayılar Tablo 13’de gösterilmiştir. Değerlendirme tablosunun oluşturulmasında yine Tablo 6’ya

benzer bir şekilde Chou vd. 2012'deki çalışmalarında kullanılan bulanıklaştırılmış sayılardan yardım alınmıştır.

Tablo 13. Alternatif Değerlendirme için Dilsel İfadelerin Üyelik Fonksiyon Değerleri

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayı Değerleri
Oldukça Zayıf (OZ)	(1, 1, 1)
Çok Zayıf (ÇZ)	(1, 2, 3)
Zayıf (Z)	(2, 3, 4)
Orta Zayıf (RZ)	(3, 4, 5)
Orta (O)	(4, 5, 6)
Orta İyi (Rİ)	(5, 6, 7)
İyi (İ)	(6, 7, 8)
Çok İyi (Çİ)	(7, 8, 9)
Oldukça İyi (Oİ)	(8, 9, 10)

Öncelikle her bir karar verici Tablo 13'te verilen skalayı kullanarak alternatifleri kriterlere göre değerlendirmişlerdir.

Her bir karar vericinin dilsel ifadesi üçgensel sayı formatına dönüştürülmüş olarak Tablo 14, Tablo 15, Tablo 16 ve Tablo 17'de sunulmuştur.

Tablo 14. KV₁'in Dilsel Değerlendirmeye Bağlı Bulanık Matris Değerlendirmesi

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
C ₁	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(7, 8, 9)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)
C ₂	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)
C ₃	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(7, 8, 9)	(2, 3, 4)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)
C ₄	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(7, 8, 9)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)
C ₅	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(1, 2, 3)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
C ₆	(3, 4, 5)	(6, 7, 8)	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)
C ₇	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)
C ₈	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(7, 8, 9)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)
C ₉	(7, 8, 9)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
C ₁₀	(7, 8, 9)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(2, 3, 4)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)

C₁₁	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)
C₁₂	(7, 8, 9)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)

Tablo 15. KV₂'nin Dilsel Değerlendirmeye Bağlı Bulanık Matris Değerlendirmesi

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆
C₁	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)
C₂	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)
C₃	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(7, 8, 9)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)
C₄	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)
C₅	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)
C₆	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)
C₇	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)
C₈	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)
C₉	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
C₁₀	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)
C₁₁	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)
C₁₂	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)	(6, 7, 8)	(3, 4, 5)

Tablo 16. KV₃'ün Dilsel Değerlendirmeye Bağlı Bulanık Matris Değerlendirmesi

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆
C₁	(5, 6, 7)	(8, 9, 10)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)
C₂	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)
C₃	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(7, 8, 9)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)
C₄	(6, 7, 8)	(7, 8, 9)	(7, 8, 9)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)
C₅	(8, 9, 10)	(6, 7, 8)	(2, 3, 4)	(5, 6, 7)	(8, 9, 10)	(6, 7, 8)
C₆	(1, 1, 1)	(5, 6, 7)	(1, 2, 3)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)
C₇	(5, 6, 7)	(8, 9, 10)	(2, 3, 4)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)
C₈	(1, 2, 3)	(5, 6, 7)	(2, 3, 4)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
C₉	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)
C₁₀	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)
C₁₁	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)	(4, 6, 7)	(5, 6, 7)
C₁₂	(5, 6, 7)	(7, 8, 9)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)

Tablo 17. KV₄'ün Dilsel Değerlendirmeye Bağlı Bulanık Matris Değerlendirmesi

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
C ₁	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(7, 8, 9)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
C ₂	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)
C ₃	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(7, 8, 9)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)
C ₄	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)	(7, 8, 9)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)
C ₅	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(1, 2, 3)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)
C ₆	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(1, 2, 3)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(2, 3, 4)
C ₇	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)
C ₈	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)
C ₉	(5, 6, 7)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)
C ₁₀	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)
C ₁₁	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)	(5, 6, 7)
C ₁₂	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)

Yapılacak olan bulanık MARCOS hesaplamaları için her bir karar vericinin yapmış olduğu değerlendirme matrisleri geometrik ortalama kullanılarak tek bir değerlendirme matrisine dönüştürülmüştür ve bu yeni matris Tablo 18'de sunulmuştur.

Tablo 18. Başlangıç Bulanık Matris Değerlendirmesi

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
C ₁	(4,949, 5,958, 6,964)	(5,318, 6,344, 7,364)	(6,192, 7,2, 8,207)	(4,949, 5,958, 6,964)	(3,464, 4,472, 5,477)	(4,162, 5,18, 6,192)
C ₂	(4,356, 5,384, 6,402)	(4,681, 5,692, 6,701)	(4,162, 5,244, 6,293)	(3,31, 4,356, 5,384)	(4,472, 5,477, 6,481)	(5,045, 6,086, 7,113)
C ₃	(4,899, 5,916, 6,928)	(4,949, 5,958, 6,964)	(7, 8, 9)	(3,722, 4,787, 5,826)	(5,18, 6,192, 7,2)	(5,477, 6,481, 7,483)
C ₄	(6, 7, 8)	(5,384, 6,402, 7,416)	(6,735, 7,737, 8,739)	(5,477, 6,481, 7,483)	(4,949, 5,958, 6,964)	(5,422, 6,435, 7,445)
C ₅	(5,886, 6,901, 7,913)	(4,427, 5,439, 6,447)	(1,414, 2,449, 3,464)	(5, 6, 7)	(5,566, 6,593, 7,614)	(4,681, 5,692, 6,701)
C ₆	(2,59, 3,13, 3,637)	(5,233, 6,236, 7,238)	(1,316, 2,378, 3,409)	(4,949, 5,958, 6,964)	(4,729, 5,733, 6,735)	(3,557, 4,606, 5,635)

C_7	(5,233, 6,236, 7,238)	(5,318, 6,344, 7,364)	(3,31, 4,356, 5,384)	(4,729, 5,733, 6,735)	(5,045, 6,086, 7,113)	(5,233, 6,236, 7,238)
C_8	(2,632, 3,807, 4,899)	(3,936, 4,949, 5,958)	(3,869, 4,949, 6)	(3,722, 4,787, 5,826)	(3,557, 4,606, 5,635)	(3,722, 4,729, 5,733)
C_9	(4,865, 5,886, 6,901)	(5,18, 6,192, 7,2)	(3,834, 4,865, 5,886)	(2,828, 3,873, 4,899)	(4, 5, 6)	(3,464, 4,472, 5,477)
C_{10}	(6,236, 7,238, 8,239)	(5,733, 6,735, 7,737)	(3,834, 4,865, 5,886)	(3,5, 4,559, 5,595)	(5,233, 6,236, 7,238)	(5,733, 6,735, 7,737)
C_{11}	(4,681, 5,692, 6,701)	(5,477, 6,481, 7,483)	(4,949, 5,958, 6,964)	(5,18, 6,192, 7,2)	(5,18, 6,481, 7,483)	(4,401, 5,422, 6,435)
C_{12}	(5,384, 6,402, 7,416)	(5,091, 6,117, 7,135)	(2,632, 3,663, 4,681)	(2,213, 3,31, 4,356)	(5,477, 6,481, 7,483)	(4,559, 5,595, 6,62)

Adım 5. Genişletilmiş Başlangıç Matrisinin Oluşturulması

Eşitlik(19) ve (20) yardımıyla bulanık MARCOS için genişletilmiş başlangıç matrisi oluşturulmalıdır. Bu sebeple ilk karar verme matrisin genişletilmesi için başlangıç matrisine İdeal, $\tilde{A}(\text{ID})$ ve Anti-ideal, $\tilde{A}(\text{AAI})$ çözümler eklenir.

ID çözüm değeri, en iyi çözüm anlamında olup maliyet kriterini minimize eden; fayda kriterini maksimize edebilen çözümü temsil eder. Buna karşılık AAI çözüm, en kötü çözüm değerini yani maliyet kriteri için maksimum; fayda değeri için minimum değeri ifade eder. C_1 , C_3 , C_4 , C_5 , C_6 , C_7 , C_8 , C_9 , C_{10} , C_{11} , C_{12} fayda kriteri iken; yalnız C_2 maliyet yönlü kriteridir. Tablo 19’da genişletilmiş başlangıç matrisi sunulmuştur.

Tablo 19. Genişletilmiş Başlangıç Karar Matrisi

	AAI	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	ID
C_1	(3,464, 4,472, 5,477)	(4,949, 5,958, 6,964)	(5,318, 6,344, 7,364)	(6,192, 7,2, 8,207)	(4,949, 5,958, 6,964)	(3,464, 4,472, 5,477)	(3,464, 4,472, 5,477)	(4,949, 5,958, 6,964)
C_2	(5,045, 6,086, 7,113)	(4,356, 5,384, 6,402)	(4,681, 5,692, 6,701)	(4,162, 5,244, 6,293)	(3,31, 4,356, 5,384)	(4,472, 5,477, 6,481)	(5,045, 6,086, 7,113)	(4,356, 5,384, 6,402)
C_3	(3,722, 4,787, 5,826)	(4,899, 5,916, 6,928)	(4,949, 5,958, 6,964)	(7, 8, 9)	(3,722, 4,787, 5,826)	(5,18, 6,192, 7,2)	(3,722, 4,787, 5,826)	(4,899, 5,916, 6,928)
C_4	(4,949, 5,958, 6,964)	(6, 7, 8)	(5,384, 6,402, 7,416)	(6,735, 7,737, 8,739)	(5,477, 6,481, 7,483)	(4,949, 5,958, 6,964)	(4,949, 5,958, 6,964)	(6, 7, 8)
C_5	(1,414, 2,449, 3,464)	(5,886, 6,901, 7,913)	(4,427, 5,439, 6,447)	(1,414, 2,449, 3,464)	(5, 6, 7)	(5,566, 6,593, 7,614)	(1,414, 2,449, 3,464)	(5,886, 6,901, 7,913)

C ₆	(1,316, 2,378, 3,409)	(2,59, 3,13, 3,637)	(5,233, 6,236, 7,238)	(1,316, 2,378, 3,409)	(4,949, 5,958, 6,964)	(4,729, 5,733, 6,735)	(1,316, 2,378, 3,409)	(2,59, 3,13, 3,637)
C ₇	(3,31, 4,356, 5,384)	(5,233, 6,236, 7,238)	(5,318, 6,344, 7,364)	(3,31, 4,356, 5,384)	(4,729, 5,733, 6,735)	(5,045, 6,086, 7,113)	(3,31, 4,356, 5,384)	(5,233, 6,236, 7,238)
C ₈	(2,632, 3,807, 4,899)	(2,632, 3,807, 4,899)	(3,936, 4,949, 5,958)	(3,869, 4,949, 6)	(3,722, 4,787, 5,826)	(3,557, 4,606, 5,635)	(2,632, 3,807, 4,899)	(2,632, 3,807, 4,899)
C ₉	(2,828, 3,873, 4,899)	(4,865, 5,886, 6,901)	(5,18, 6,192, 7,2)	(3,834, 4,865, 5,886)	(2,828, 3,873, 4,899)	(4, 5, 6)	(2,828, 3,873, 4,899)	(4,865, 5,886, 6,901)
C ₁₀	(3,5, 4,559, 5,595)	(6,236, 7,238, 8,239)	(5,733, 6,735, 7,737)	(3,834, 4,865, 5,886)	(3,5, 4,559, 5,595)	(5,233, 6,236, 7,238)	(3,5, 4,559, 5,595)	(6,236, 7,238, 8,239)
C ₁₁	(4,401, 5,422, 6,435)	(4,681, 5,692, 6,701)	(5,477, 6,481, 7,483)	(4,949, 5,958, 6,964)	(5,18, 6,192, 7,2)	(5,18, 6,481, 7,483)	(4,401, 5,422, 6,435)	(4,681, 5,692, 6,701)
C ₁₂	(2,213, 3,31, 4,356)	(5,384, 6,402, 7,416)	(5,091, 6,117, 7,135)	(2,632, 3,663, 4,681)	(2,213, 3,31, 4,356)	(5,477, 6,481, 7,483)	(2,213, 3,31, 4,356)	(5,384, 6,402, 7,416)

Adım 6. Bulanık Başlangıç Matrisinin Normalleştirilmesi

Bulanık başlangıç matrisinin($\tilde{X}$) normalleştirilmesi işleminde kriterin maliyet ya da fayda kriteri olmasına bağlı olarak Eşitlik(22) ve (23) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Normalleştirilmiş genişletilmiş matris aşağıdaki Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Normalleştirilmiş Genişletilmiş Başlangıç Karar Matrisi

	AAI	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	ID
C ₁	(0,422, 0,545, 0,667)	(0,603, 0,726, 0,849)	(0,648, 0,773, 0,897)	(0,754, 0,877, 1)	(0,603, 0,726, 0,849)	(0,422, 0,545, 0,667)	(0,422, 0,545, 0,667)	(0,603, 0,726, 0,849)
C ₂	(0,465, 0,544, 0,656)	(0,517, 0,615, 0,76)	(0,494, 0,582, 0,707)	(0,526, 0,631, 0,795)	(0,615, 0,76, 1)	(0,511, 0,604, 0,74)	(0,465, 0,544, 0,656)	(0,517, 0,615, 0,76)
C ₃	(0,414, 0,532, 0,647)	(0,544, 0,657, 0,77)	(0,55, 0,662, 0,774)	(0,778, 0,889, 1)	(0,414, 0,532, 0,647)	(0,576, 0,688, 0,8)	(0,414, 0,532, 0,647)	(0,544, 0,657, 0,77)
C ₄	(0,566, 0,682, 0,797)	(0,687, 0,801, 0,915)	(0,616, 0,733, 0,849)	(0,771, 0,885, 1)	(0,627, 0,742, 0,856)	(0,566, 0,682, 0,797)	(0,566, 0,682, 0,797)	(0,687, 0,801, 0,915)
C ₅	(0,179, 0,309, 0,438)	(0,744, 0,872, 1)	(0,559, 0,687, 0,815)	(0,179, 0,309, 0,438)	(0,632, 0,758, 0,885)	(0,703, 0,833, 0,962)	(0,179, 0,309, 0,438)	(0,744, 0,872, 1)

C₆	(0,182, 0,329, 0,471)	(0,358, 0,432, 0,502)	(0,723, 0,862, 1)	(0,182, 0,329, 0,471)	(0,684, 0,823, 0,962)	(0,653, 0,792, 0,931)	(0,182, 0,329, 0,471)	(0,358, 0,432, 0,502)
C₇	(0,449, 0,592, 0,731)	(0,711, 0,847, 0,983)	(0,722, 0,861, 1)	(0,449, 0,592, 0,731)	(0,642, 0,779, 0,915)	(0,685, 0,826, 0,966)	(0,449, 0,592, 0,731)	(0,711, 0,847, 0,983)
C₈	(0,439, 0,635, 0,817)	(0,439, 0,635, 0,817)	(0,656, 0,825, 0,993)	(0,645, 0,825, 1)	(0,62, 0,798, 0,971)	(0,593, 0,768, 0,939)	(0,439, 0,635, 0,817)	(0,439, 0,635, 0,817)
C₉	(0,393, 0,538, 0,68)	(0,676, 0,818, 0,958)	(0,719, 0,86, 1)	(0,533, 0,676, 0,818)	(0,393, 0,538, 0,68)	(0,556, 0,694, 0,833)	(0,393, 0,538, 0,68)	(0,676, 0,818, 0,958)
C₁₀	(0,425, 0,553, 0,679)	(0,757, 0,879, 1)	(0,696, 0,817, 0,939)	(0,465, 0,59, 0,714)	(0,425, 0,553, 0,679)	(0,635, 0,757, 0,879)	(0,425, 0,553, 0,679)	(0,757, 0,879, 1)
C₁₁	(0,588, 0,725, 0,86)	(0,626, 0,761, 0,895)	(0,732, 0,866, 1)	(0,661, 0,796, 0,931)	(0,692, 0,827, 0,962)	(0,692, 0,866, 1)	(0,588, 0,725, 0,86)	(0,626, 0,761, 0,895)
C₁₂	(0,296, 0,442, 0,582)	(0,719, 0,856, 0,991)	(0,68, 0,817, 0,953)	(0,352, 0,49, 0,626)	(0,296, 0,442, 0,582)	(0,732, 0,866, 1)	(0,296, 0,442, 0,582)	(0,719, 0,856, 0,991)

Adım 7. Ağırlıklandırılmış Genişletilmiş Matrisin Hesaplanması

Ağırlıklandırılmış matrisi ifade eden matris, bulanık normalleştirilmiş başlangıç matrisi ile bulanık FUCOM yöntemi sonucunda elde edilen normalize edilmiş ağırlık katsayılarının çarpılması ile elde edilmektedir. Fayda ve maliyet kriter tipleri için ortak adımdır ve Eşitlik (24) kullanılarak hesaplanır. Tablo 21 ağırlıklandırılmış genişletilmiş başlangıç matrisini ifade edilmektedir.

Tablo 21. Ağırlıklandırılmış Genişletilmiş Başlangıç Karar Matrisi

	AAI	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆	ID
C₁	(0,033, 0,043, 0,053)	(0,048, 0,058, 0,067)	(0,051, 0,061, 0,071)	(0,06, 0,069, 0,079)	(0,048, 0,058, 0,067)	(0,033, 0,043, 0,053)	(0,04, 0,05, 0,06)	(0,06, 0,069, 0,079)
C₂	(0,038, 0,045, 0,054)	(0,043, 0,051, 0,063)	(0,041, 0,048, 0,058)	(0,043, 0,052, 0,065)	(0,051, 0,063, 0,082)	(0,042, 0,05, 0,061)	(0,038, 0,045, 0,054)	(0,051, 0,063, 0,082)
C₃	(0,033, 0,043, 0,052)	(0,044, 0,053, 0,062)	(0,044, 0,053, 0,062)	(0,062, 0,071, 0,08)	(0,033, 0,043, 0,052)	(0,046, 0,055, 0,064)	(0,049, 0,058, 0,067)	(0,062, 0,071, 0,08)
C₄	(0,064, 0,077, 0,09)	(0,078, 0,091, 0,104)	(0,07, 0,083, 0,096)	(0,087, 0,1, 0,113)	(0,071, 0,084, 0,097)	(0,064, 0,077, 0,09)	(0,07, 0,083, 0,096)	(0,087, 0,1, 0,113)
C₅	(0,017, 0,03, 0,042)	(0,071, 0,083, 0,096)	(0,053, 0,066, 0,078)	(0,017, 0,03, 0,042)	(0,06, 0,073, 0,085)	(0,067, 0,08, 0,092)	(0,057, 0,069, 0,081)	(0,071, 0,083, 0,096)

C_6	(0,016, 0,028, 0,04)	(0,031, 0,037, 0,043)	(0,062, 0,074, 0,085)	(0,016, 0,028, 0,04)	(0,058, 0,07, 0,082)	(0,056, 0,068, 0,079)	(0,042, 0,054, 0,067)	(0,062, 0,074, 0,085)
C_7	(0,034, 0,045, 0,056)	(0,054, 0,064, 0,075)	(0,055, 0,066, 0,076)	(0,034, 0,045, 0,056)	(0,049, 0,059, 0,07)	(0,052, 0,063, 0,074)	(0,054, 0,064, 0,075)	(0,055, 0,066, 0,076)
C_8	(0,037, 0,054, 0,069)	(0,037, 0,054, 0,069)	(0,055, 0,07, 0,084)	(0,054, 0,07, 0,084)	(0,052, 0,067, 0,082)	(0,05, 0,065, 0,079)	(0,052, 0,066, 0,081)	(0,055, 0,07, 0,084)
C_9	(0,037, 0,05, 0,064)	(0,063, 0,077, 0,09)	(0,067, 0,081, 0,094)	(0,05, 0,063, 0,077)	(0,037, 0,05, 0,064)	(0,052, 0,065, 0,078)	(0,045, 0,058, 0,071)	(0,067, 0,081, 0,094)
C_{10}	(0,029, 0,038, 0,047)	(0,052, 0,061, 0,069)	(0,048, 0,056, 0,065)	(0,032, 0,041, 0,049)	(0,029, 0,038, 0,047)	(0,044, 0,052, 0,061)	(0,048, 0,056, 0,065)	(0,052, 0,061, 0,069)
C_{11}	(0,044, 0,054, 0,064)	(0,046, 0,056, 0,066)	(0,054, 0,064, 0,074)	(0,049, 0,059, 0,069)	(0,051, 0,061, 0,071)	(0,051, 0,064, 0,074)	(0,044, 0,054, 0,064)	(0,054, 0,064, 0,074)
C_{12}	(0,02, 0,03, 0,039)	(0,048, 0,057, 0,066)	(0,045, 0,055, 0,064)	(0,024, 0,033, 0,042)	(0,02, 0,03, 0,039)	(0,049, 0,058, 0,067)	(0,041, 0,05, 0,059)	(0,049, 0,058, 0,067)

Adım 8. Her Alternatifin $\tilde{S}_i$ Değerlerinin ve Anti-İdeal, İdeal Çözüme göre Fayda Derecelerinin Hesaplanması ($\tilde{K}_i^-, \tilde{K}_i^+$)

Bulanık MARCOS yöntemi normal MARCOS yöntemi gibi uzlaşık çözümleri baz alır. Uzlaşık çözümlerin hesaplanan fayda fonksiyonunun durumuna göre tatmin edici bir sonuca ulaşır. Fayda fonksiyonları ise ideal ve anti-ideal çözüme göre bir alternatifin konumunu belirten fonksiyondur. Tedarikçi seçiminde kullanılan kriter bazında alternatiflerin performansını ortaya koyacak fayda fonksiyonu hesaplama işleminde sırasıyla Eşitlik(25) ile toplam ID ve AAI değerlerine ($\tilde{S}_i$) ; Eşitlik(26) ve (27) ile $\tilde{K}_i^+, \tilde{K}_i^-$ hesaplanmış ve bu değerler Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 22. Alternatiflerin Fayda Dereceleri

	$\tilde{S}_i$	$\tilde{K}_i^+$	$\tilde{K}_i^-$
AAI	(0,402, 0,537, 0,67)	-	-
A_1	(0,615, 0,742, 0,87)	(0,616, 0,863, 1,2)	(0,918, 1,382, 2,164)
A_2	(0,645, 0,777, 0,907)	(0,646, 0,903, 1,251)	(0,963, 1,447, 2,256)
A_3	(0,528, 0,661, 0,796)	(0,529, 0,769, 1,098)	(0,788, 1,231, 1,98)
A_4	(0,559, 0,696, 0,838)	(0,56, 0,809, 1,156)	(0,834, 1,296, 2,085)
A_5	(0,606, 0,74, 0,872)	(0,607, 0,86, 1,203)	(0,904, 1,378, 2,169)
A_6	(0,58, 0,707, 0,84)	(0,581, 0,822, 1,159)	(0,866, 1,317, 2,09)
ID	(0,725, 0,86, 0,999)	-	-

Adım 9. Bulanık $\tilde{T}_i$ Matrisinin Hesaplanması

$\tilde{T}_i$ değeri, Tedarikçilerin ideal ve anti-ideal çözüm değerine göre uzaklık değerlerinin toplamını ifade eder ve Eşitlik (28)'deki gibi ideal ve anti-ideal çözüm değerlerine göre konumların toplamı şeklinde hesaplanmaktadır. Aradaki maksimum mesafeye yani maksimum $\tilde{T}_i$ değerine sahip değerler bulunarak fayda fonksiyonu için kullanılmak üzere Eşitlik(30) yardımıyla durulaştırma işlemine tabii tutulur. $\tilde{T}_i$ değerleri aşağıdaki Tablo 23'te gösterilmiştir.

Tablo 23. $\tilde{T}_i$ Değerleri

	$\tilde{T}_i$
A_1	(1,534, 2,245, 3,364)
A_2	(1,609, 2,35, 3,507)
A_3	(1,317, 2, 3,078)
A_4	(1,394, 2,105, 3,241)
A_5	(1,511, 2,238, 3,372)
A_6	(1,447, 2,139, 3,249)
Maksimum Değerler	(1,609, 2,35, 3,507)

$$\tilde{T}_{imax} = (t_{imax}^l, t_{imax}^m, t_{imax}^u) = (1,616, 2,356, 3,513)$$

$$T_{imax} = \frac{t_{imax}^l + 4 * t_{imax}^m + t_{imax}^u}{6}$$

$$T_{imax} = \frac{1,609 + 4 * 2,35 + 3,507}{6} = 2,419$$

Adım 10. İdeal $f(\tilde{K}_i^+)$ ve Anti-İdeal $f(\tilde{K}_i^-)$ Çözümüne İlişkin Fayda Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Fayda fonksiyonu belirlenmeden önce ideal ve anti-ideal çözümde uzaklık fonksiyonları hesaplanmalıdır. Eşitlikler (31) ve (32) uygulanarak ideal $f(\tilde{K}_i^+)$ ve anti-ideal $f(\tilde{K}_i^-)$ çözümüne ilişkin fayda fonksiyonlarının değerleri belirlenmiş ve Tablo 24'te gösterilmiştir.

Tablo 24. İdeal ve Anti-İdeal Çözümüne İlişkin Fayda Fonksiyonları

	$f(\tilde{K}_i^-)$	$f(\tilde{K}_i^+)$
A_1	(0,255, 0,357, 0,496)	(0,379, 0,571, 0,895)

A_2	(0,267, 0,373, 0,517)	(0,398, 0,598, 0,933)
A_3	(0,219, 0,318, 0,454)	(0,326, 0,509, 0,819)
A_4	(0,232, 0,334, 0,478)	(0,345, 0,536, 0,862)
A_5	(0,251, 0,356, 0,497)	(0,374, 0,57, 0,897)
A_6	(0,24, 0,34, 0,479)	(0,358, 0,544, 0,864)

Adım 11. Toplam Fayda Fonksiyonu Değerlerinin Hesaplanması ve Alternatiflerin Sıralanması

Sıralama işleminin yapılabilmesi için öncelikle $\tilde{K}_i^+$, $\tilde{K}_i^-$, $f(\tilde{K}_i^-)$, $f(\tilde{K}_i^+)$ değerleri durulaştırılmalıdır. Durulaştırılan değerler yardımıyla, Eşitlik(33) kullanılarak her bir tedarikçi için fayda fonksiyon değeri $f(K_i)$ hesaplanır. Hesaplanan değeri $f(K_i)$ değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak en iyi tedarikçinin seçilmesi sağlanır. En büyük değer en iyi tedarikçiyi ifade eder. Uygulanan bu model tedarikçilerin performanslarını şirket açısından yansıtmaktadır. Hesaplanan değerler Tablo 25’te verilmiştir.

Tablo 25. $f(\tilde{K}_i)$ Değerine Bağlı Alternatif Sıralamaları

	$\tilde{K}_i^-$	$\tilde{K}_i^+$	$f(\tilde{K}_i^+)$	$f(\tilde{K}_i^-)$	$f(K_i)$	Sıralama
A_1	1,435	0,878	0,593	0,363	0,672	2
A_2	1,501	0,918	0,621	0,379	0,745	1
A_3	1,282	0,784	0,53	0,324	0,52	6
A_4	1,351	0,825	0,559	0,341	0,585	5
A_5	1,431	0,875	0,592	0,362	0,668	3
A_6	1,371	0,838	0,566	0,347	0,605	4

Sıralamaya göre şirket açısından en iyi tedarikçi olarak A_2 tedarikçisi seçilmiştir. Sıralamada en kötü tercih olarak A_3 görülmektedir. Aynı zamanda metoda göre en iyi ve en kötü performans gösteren A_2 ve A_3 arasında; A_2 , A_3 ’e göre %22,62 daha iyi bir tercih olacağı söylenebilir.

AŞAMA 4: Karşılaştırmalı Analiz

Adım 12. Bulanık WASPAS, Bulanık EDAS, Bulanık ARAS ve Bulanık MABAC ile Alternatif Sıralamalarının Belirlenmesi

Bu bölümde, bulanık FUCOM&MARCOS modelinden elde edilen sonuçlar bulanık FUCOM tabanlı bulanık WASPAS, bulanık EDAS, bulanık ARAS ve bulanık MABAC

yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Daldır, 2018; Kundakcı, 2019; Oruç, 2019; Božanić, 2019).

Bu yöntemler önerilen modelde kullanılan MARCOS yöntemine benzer olarak alternatifleri değerlendirmede kullanılan kriterleri maliyet ve fayda kriteri olarak ayrı ayrı değerlendirmektedir. Ayrıca bu yöntemler literatürde sıkça kullanılmış ve geçerlilikleri çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu sebeplerle önerilen modelin doğruluğunun tespiti için bu yöntemler kullanılmıştır.

Tablo 26’da bulanık FUCOM&MARCOS, bulanık FUCOM&WASPAS, bulanık FUCOM&EDAS, bulanık FUCOM&ARAS, bulanık FUCOM&MABAC modellerinden elde edilen alternatif sıralaması verilmiştir.

Tablo 26. Bulanık FUCOM tabanlı ÇKKV yöntemlerinin Karşılaştırmalı Sıralamaları

	Bulanık MARCOS	Bulanık WASPAS	Bulanık EDAS	Bulanık ARAS	Bulanık MABAC
A ₁	2	2	2	3	2
A ₂	1	1	1	1	1
A ₃	6	6	5	6	4
A ₄	5	5	3	5	6
A ₅	3	3	4	2	5
A ₆	4	4	6	4	3

Tablo 26’ya bakıldığında A₂ alternatifinin bütün ÇKKV yöntemleri sonuçlarına göre en iyi alternatif olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Benzer olarak A₃’ün bulanık EDASve bulanık MABAC yöntemleri hariç tüm yöntemlerin değerlendirme sonucu sıralamasında en sonra yer aldığı tespit edilmiştir. Uygulanan modeldeki bulanık MARCOS sıralamasının, bulanık WASPAS yöntemi sıralaması ile birebir örtüşmektedir. Ayrıca bulanık MARCOS yönteminin, bulanık ARAS yöntemi sıralamasında A₁ ve A₅ alternatiflerinin sıralamaları hariç sıralamaları aynı çıkmıştır.

Yöntemler arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünün tespiti için Spearman katsayısı(r_s) kullanılmaktadır. Yöntemlerin birbirleri içindeki tutarlılığını ölçmek için bu katsayı baz alınmıştır. Bulanık MARCOS ile bulanık EDAS yöntemi arasında $r_s = 0,71429$; bulanık ARAS yöntemi arasında $r_s = 0,942861$; bulanık MABAC yöntemi ile $r_s = 0,82857$ düzeyinde ilişki hesaplanmıştır. Bulanık MARCOS ile bulanık WASPAS sıralamaları tamamen aynı çıkmıştır. Sonuç olarak karşılaştırılan yöntemler ile önerilen modelin benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak bu farklı sıralamalar karar verici tarafından farklı aksiyonlar

almaya itecektir. Bunun ortadan kaldırılması ve daha kesin bir sonuç elde etmek için TPOP yöntemine başvurulmuştur.

Adım 13. TPOP Yöntemi ile Nihai Alternatif Sıralamalarının Belirlenmesi

TPOP yöntemi ile Bulanık MARCOS, Bulanık WASPAS, Bulanık EDAS, Bulanık ARAS, Bulanık MABAC yöntemlerden elde edilen sıralamalardan tek bir ortak sıralama elde edebilmek için kullanılmıştır. Bu nedenle tüm yöntemlerden alternatif sıralamalarını ortaya çıkaran parametre değerleri alınmış ve bu değerler Tablo 27’ de gösterildiği gibi Eşitlik(35) yardımıyla normalize edilmiştir.

Tablo 27.ÇKKV Yöntemlerine göre Alternatifler ve Normalize Edilmiş Değerler

	Alternatiflerin Değerleri				Alternatiflerin Normalize Edilmiş Değerler			
	Bulanık WASPAS K_i	Bulanık EDAS αs_i	Bulanık ARAS K_i	Bulanık MABAC S_i	Bulanık WASPAS λ	Bulanık EDAS αs_i	Bulanık ARAS K_i	Bulanık MABAC S_i
A ₁	1,383	0,441	0,953	1,566	0,173	0,178	0,172	0,18
A ₂	1,418	0,478	1	1,724	0,177	0,193	0,181	0,198
A ₃	1,272	0,383	0,813	1,376	0,159	0,154	0,147	0,158
A ₄	1,29	0,418	0,891	1,269	0,161	0,168	0,161	0,146
A ₅	1,341	0,412	0,958	1,348	0,167	0,166	0,173	0,155
A ₆	1,31	0,351	0,911	1,437	0,163	0,141	0,165	0,165

Her bir ÇKKV yönteminin birbirleri içerisindeki kesin ağırlıklarının tespiti için sırasıyla Eşitlik(36)-(40) uygulanmış ve kesin ağırlıklar(w_p) elde edilmiştir. Eşitlik(41)-(44) kullanılarak bu ağırlıklar normalize edilmiştir. Elde edilen w_p değerleri ve parametler aşağıdaki Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 28. Çeşitli Parametrelerin ve Kesin Ağırlığın Hesaplanması

	Bulanık WASPAS K_i	Bulanık EDAS αs_i	Bulanık ARAS K_i	Bulanık MABAC S_i
e_p	0,999	0,997	0,998	0,998

$1 - e_p$	0,001	0,003	0,002	0,002
s_p	0,125	0,375	0,25	0,25
$\sqrt{s_p}$	0,354	0,612	0,5	0,5
$1 + \sqrt{s_p}$	1,354	1,612	1,5	1,5
w_p	0,227	0,27	0,251	0,251

Her bir yöntemin birbirleri içerisindeki kesin ağırlıkları tespit edildikten sonra Eşitlik(45)-(46) yardımıyla her bir ÇKKV yönteminin nihai seçim indeksi(PSI_i) hesaplanarak tek bir ortak sıralama elde edilir. Bu değerler ve her bir ÇKKV yönteminin sıralama sonucu ile TPOP yöntemi ile elde edilen ortak sıralama sonuçları Tablo 29’da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 29. Nihai Sıralama Matrisi

	Bulanık WASPAS		Bulanık EDAS		Bulanık ARAS		Bulanık MABAC		TPOP	
	K_i	Sıra	αs_i	Sıra	K_i	Sıra	S_i	Sıra	PSI_i	Sıra
A₁	1,595	2	1,753	2	1,653	3	1,819	2	8,217	2
A₂	1,255	1	1,31	1	1,285	1	1,285	1	6,108	1
A₃	3,411	6	2,768	5	3,494	6	2,762	4	15,144	6
A₄	3,015	5	2,101	3	2,302	5	3,494	6	12,913	5
A₅	2,126	3	2,203	4	1,609	2	2,937	5	10,2	3
A₆	2,629	4	3,561	6	2,069	4	2,415	3	12,402	4

Tablo 30.Önerilen Model ve TPOP nihai sıralamaları

Sıralama Yöntem	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
Bulanık FUCOM&MARCOS	2	1	6	5	3	4
TPOP	2	1	6	5	3	4

TPOP yöntemi ile birleştirilen alternatif sıralaması ile Tablo 25’de önerilen bulanık FUCOM&MARCOS modelinden elde edilen alternatif sıralamaları Tablo 30’da görüldüğü üzere aynı çıkmıştır. Sonuç olarak önerilen bulanık FUCOM&MARCOS modelinin yapılan analizler sonucunda doğruluğu ve uygulanabilirliği belirlenmiştir.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tedarik zinciri yönetimi, üretim ve hizmete direkt etki eden bir kavram olduğundan birçok operasyonun düzgün şekilde işleyebilmesi adına oldukça önemlidir. Bu çalışmada tedarik zinciri kavramının paydaşlarından biri olan tedarikçi kavramı üzerine durulmuş; bir firmanın tedarikçileri değerlendirilmiştir.

Boya ve Kimya sanayisi içerisinde faaliyet gösteren bir firmanın dekoratif taş sağlayıcılarının değerlendirildiği çalışmada karar vericilerin subjektif değerlendirmeleri kullanılarak doğrusal olmayan programlama modeline dayanan bulanık FUCOM yöntemi ile ağırlıklar belirlenmiştir. Bulanık FUCOM yöntemi kriterler arasındaki tutarlılıkları dikkate alarak sonucun daha doğru çıkmasını sağlamaktadır. Bulanık FUCOM yöntemi ile belirlenen ağırlıklar bulanık MARCOS yönteminde kullanılarak alternatifler içerisinde A₂ tedarikçisinin değerlendirmeler sonucu en iyi olduğu belirlenmiştir. Önerilen modelin tutarlılığının belirlenmesi için bulanık tabanlı WASPAS, EDAS, ARAS ve MABAC yöntemleri ile önerilen model karşılaştırılmış ve birinci sırada yer alan tedarikçi alternatifinin sırasının değişmediği ve sıralamalarda benzerlik olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte; Spearman korelasyon katsayısına bakıldığında önerilen modelin karşılaştırılan yöntemler ile güçlü bir ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir. TPOP çalışması ile önerilen bulanık FUCOM&MARCOS model sonucu elde edilen sıralamalar tamamen aynı çıkmıştır.

Tedarikçi seçimi içerisinde yer alan çalışmalar incelendiğinde ÇKVV yöntemleri içerisinde birçok yönetime başvurulduğu görülmektedir. Bu yöntemler içerisinde bulanık FUCOM ve bulanık MARCOS yöntemleri ayrı ayrı kullanılmalarına rağmen şu ana kadar yapılan çalışmalar içerisinde bu yöntemlerin birlikte kullanıldıkları bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Önerilen model bu sebeple literatürde ilk olma niteliğine sahiptir ve ÇKKV alanında yapılan diğer çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca karar verme süreçleri için uygulanan farklı yöntemlerden doğan farklı sıralama karmaşıklığının çözülmesi için kullanılan TPOP yöntemi ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda tedarikçi seçiminde kullanılan kriterler çevre konusunda sürdürülebilirlik veya firma tedarikçi sistemi sürdürülebilirliği açısından geliştirilebilir. Bu tez çalışmasında olduğu gibi değerlendirilecek kriter sayısının çok fazla olması durumunda firmaların kullanabileceği şekilde bir karar destek sistemi önerilen bulanık FUCOM&MARCOS modeli kullanılarak geliştirilebilir ve tedarikçi performans değerlendirmesi kolay bir şekilde yapılabilir. Farklı sektörlerde ve uygulanan sektöre göre seçim kriterlerinin özelleştirilmesi ile çalışma farklı bir boyut kazanacaktır. Ayrıca karar

vericilerin sonuçları arasındaki tutarsızlıkları ortadan kaldırmak adına doğruluğu kanıtlanmış olan D-sayıları, tereddütlü bulanık küme vb. gibi farklı teoriler üzerinde çalışılabilir ve uygulanacak seçim yöntemlerinin değıştirilmesi veya sayısının arttırılması da bu çalışmayı geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- Abdel-Basset, M., Monogram, G., Muhammed, M., & Chilamkurti, N., 2018. Three-way decisions based on neutrosophic sets and AHP-QFD framework for supplier selection problem. *Future Generation Computer Systems*, 89, 19-30. doi:10.1016/j.future.2018.06.024
- Abdollahi, M., Arvan, M., & Razmi, J., 2015. An integrated approach for supplier portfolio selection: lean or agile. *Expert Systems with Applications*, 42(1), 679-690. doi:10.1016/j.eswa.2014.08.019
- Adar, T., Yılmaz Kaya, B., & Kılıç Delice, E., 2019. Evaluation of the effects of human factors on the internet of things (IOT). 5th International Conference on Engineering Sciences, Ankara.
- Ahmad, N., & Qahmash, A., 2020. Implementing fuzzy AHP and FUCOM to evaluate critical success factors for sustained academic quality assurance and ABET Accreditation. *PLoS One*, 15(9), e0239140. doi:10.1371/journal.pone.0239140
- Alavi, B., Tavana, M., & Mina, H., 2021. A dynamic decision support system for sustainable supplier selection in circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 905-920. doi:10.1016/j.spc.2021.02.015
- Altaş, İ. H., 1999. Bulanık mantık: Bulanıklılık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e Yayıncılık A.Ş.*, 62, 80-85.
- Badi, I., & Kridish, M., 2020. Landfill site selection using a novel FUCOM-CODAS Model: a case study in Libya. *Scientific African*, 9. doi:10.1016/j.sciaf.2020.e00537
- Badi, I., & Pamučar, D., 2019. Determination of Key Factors Affecting Transient Seaport Selection for Landlocked Countries in African Continent. *Preprints*, 2019120234. doi:10.20944/preprints201912.0234.v1
- Badi, I., & Pamučar, D., 2020. Supplier selection for steelmaking company by using combined GREY-MARCOS methods. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 37-48. doi:10.31181/dmame2003037b
- Bairagi, B., Dey, B., Sarkar, B., Sanyal, S.K., 2015, A De Novo multi-approaches multi-criteria decision making technique with an application in performance evaluation of material handling device. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 267-282.
- Biswas, S., 2020. Measuring performance of healthcare supply chains in india: a comparative analysis of multi-criteria decision making methods. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 162-189. doi:10.31181/dmame2003162b
- Božanić, D., Tešić, D., & Kočić, J., 2019. Multi-criteria FUCOM – fuzzy MABAC model for the selection of location for construction of single-span bailey bridge. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 132-146. doi:10.31181/dmame1901132b
- Božanić, D., Tešić, D., & Milić, A., 2020. Multicriteria decision making model with Z-numbers based on FUCOM and MABAC model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 32), 19-36. doi:10.31181/dmame2003019d
- Cao, Esangbedo, Bai, & Esangbedo., 2019. Grey SWARA-FUCOM weighting method for contractor selection mcdm problem: a case study of floating solar panel energy system installation. *Energies*, 12(13). doi:10.3390/en12132481

- Cengiz, A. E., Aytekin, O., Ozdemir, I., Kusan, H., & Cabuk, A., 2017. A multi-criteria decision model for construction material supplier selection. *Procedia Engineering*, 196, 294-301. doi:10.1016/j.proeng.2017.07.202
- Chattopadhyay, R., Chakraborty, S., & Chakraborty, S., 2020. An integrated D-MARCOS method for supplier selection in an iron and steel industry. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 49-69. doi:10.31181/dmame2003049c
- Chou, Y.-C., Sun, C.-C., & Yen, H.-Y., 2012. Evaluating the criteria for human resource for science and technology (HRST) based on an integrated fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL approach. *Applied Soft Computing*, 12(1), 64-71. doi:10.1016/j.asoc.2011.08.058
- Daldir, I., & Tosun, Ö., 2018. Bulanık WASPAS İle yeşil tedarikçi seçimi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 23(4), 193-208. doi:10.17482/uumfd.449584
- Dargi, A., Anjomshoe, A., Galankashi, M. R., Memari, A., & Tap, M. B. M., 2014. Supplier selection: a Fuzzy-ANP approach. *Procedia Computer Science*, 31, 691-700. doi:10.1016/j.procs.2014.05.317
- Delice, E.K., Can, G.F., 2020. A new approach for ergonomic risk assessment integrating KEMIRA, best-worst and MCDM methods. *Soft Comput* 24, 15093–15110. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05143-9>
- Demir, G., & Bircan, H., 2020. Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden BWM ve FUCOM yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. doi:10.37880/cumuiibf.616766
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of purchasing*, 2(1), 5-17.
- Dobrosavljević, A., Urošević, S., Vuković, M., Talijan, M., & Marinković, D., 2020. Evaluation of process orientation dimensions in the apparel industry. *Sustainability*, 12(10). doi:10.3390/su12104145
- Durmić, E., Stević, Ž., Chatterjee, P., Vasiljević, M., & Tomašević, M., 2020. Sustainable supplier selection using combined FUCOM – Rough SAW model. *Reports in Mechanical Engineering*, 1(1), 34-43. doi:10.31181/rme200101034c
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V., 2016. Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283. doi:10.1016/j.eswa.2016.06.030
- Ecer, F., 2007. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen bulanık sayılar mı yamuk bulanık sayılar mı?. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 161 - 180.
- Ecer, F., 2021. An analysis of the factors affecting wind farm site selection through FUCOM subjective weighting method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 27(1), 24-34. doi:10.5505/pajes.2020.93271
- Erceg, Ž., & Mularifović, F., 2019. Integrated MCDM model for processes optimization in the supply chain management in the wood company. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(1). doi:10.31181/oresta1901015e
- Erceg, Ž., Starčević, V., Pamučar, D., Mitrović, G., Stević, Ž., & Žikić, S., 2019. A new model for stock management in order to rationalize costs: ABC-FUCOM-interval rough CoCoSo model. *Symmetry*, 11(12). doi:10.3390/sym11121527
- Eymen, U. E. (2007). *Tedarik zinciri yönetimi*. Kalite Ofisi Yayınları, 15.

- Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A., & Stević, Ž., 2019. FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65. doi:10.31181/dmame1901065f
- Gong, X., Yang, M., & Du, P., 2021. Renewable energy accommodation potential evaluation of distribution network: a hybrid decision-making framework under interval type-2 fuzzy environment. *Journal of Cleaner Production*, 286. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124918
- Govindan, K., Kadziński, M., & Sivakumar, R., 2017. Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain. *Omega*, 71, 129-145. doi:10.1016/j.omega.2016.10.004
- Govindan, K., Khodaverdi, R., & Jafarian, A., 2013. A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*, 47, 345-354. doi:10.1016/j.jclepro.2012.04.014
- Gökalp, B., & Soylu, B., 2012. Tedarikçinin süreçlerini iyileştirme amaçlı tedarikçi seçim problemi. *Journal of Industrial Engineering (Turkish Chamber of Mechanical Engineers)*, 23(1).
- Gören, H. G., 2018. A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1156-1169. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.211
- Guo, X., Yuan, Z., & Tian, B., 2009. Supplier selection based on hierarchical potential support vector machine. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6978-6985. doi:10.1016/j.eswa.2008.08.074
- Gülcan, B., 2012. Bulanık Doğrusal Programlama Ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma. Y.Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.
- Hashemkhani Zolfani, S., Pourhossein, M., Yazdani, M., & Kazimieras Zavadskas, E., 2018. Evaluating construction projects of hotels based on environmental sustainability with MCDM framework. *Alexandria Engineering Journal*, 57(1), 357-365. doi:10.1016/j.aej.2016.11.002
- Hendiani, S., Mahmoudi, A., & Liao, H., 2020. A multi-stage multi-criteria hierarchical decision-making approach for sustainable supplier selection. *Applied Soft Computing*, 94. doi:10.1016/j.asoc.2020.106456
- Hoan, P. V., & Ha, Y., 2021. ARAS-FUCOM approach for VPAF fighter aircraft selection. *Decision Science Letters*, 53-62. doi:10.5267/j.dsl.2020.10.004
- Hu, K.-J., & Yu, V. F., 2016. An integrated approach for the electronic contract manufacturer selection problem. *Omega*, 62, 68-81. doi:10.1016/j.omega.2015.08.010
- Hwang, C.L. and Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, 269 p, New York. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- İlhan, S., & Duru, N., 2005. Bulanık mantık temelli esnek sorgulama aracı. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 1(1).
- Ilieva, G., 2020. Fuzzy group full consistency method for weight determination. *Cybernetics and Information Technologies*, 20(2), 50-58. doi:10.2478/cait-2020-0015
- Ilieva, G., Yankova, T., Hadjieva, V., Doneva, R., & Totkov, G., 2020. Cloud service selection as a fuzzy multi-criteria problem. *TEM Journal*, 484-495. doi:10.18421/tem92-09

- Kahraman, C., Gundogdu, F. K., Onar, S. C., & Oztaysi, B., 2019. Hospital location selection using spherical fuzzy TOPSIS. Paper presented at the 11th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019), Prague, Czechia.
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A., 2013. Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 47, 355-367. doi:10.1016/j.jclepro.2013.02.010
- Khalili Nasr, A., Tavana, M., Alavi, B., & Mina, H., 2021. A novel fuzzy multi-objective circular supplier selection and order allocation model for sustainable closed-loop supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 287. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124994
- Khoshabi, P., Nejati, E., Ahmadi, S. F., Chegini, A., Makui, A., & Ghousi, R., 2020. Developing a Multi-Criteria Decision Making approach to compare types of classroom furniture considering mismatches for anthropometric measures of university students. *PLoS One*, 15(9), e0239297. doi:10.1371/journal.pone.0239297
- Klir, George J., Yuan, B., 1995. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., USA
- Kökdemir, D. Y., & Dönmez, A. T. D., 2003. Belirsizlik Durumlarında Karar Verme ve Problem Çözme. Y.Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Krejčí, J., & Talašová, J., 2013. A proper fuzzification of Saaty's scale and an improved method for computing fuzzy weights in fuzzy AHP. *Proceedings of the 31th International Conference On Mathematical Methods In Economics*. Prague, Czechia.
- Kumar, S., Kumar, S., & Barman, A. G., 2018. Supplier selection using fuzzy TOPSIS multi criteria model for a small scale steel manufacturing unit. *Procedia Computer Science*, 133, 905-912.
- Kundakcı, N., & Kas Bayrakdaroglu, F., 2019. Bulanık EDAS yöntemi ile Ar-Ge projesi seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*. doi:10.18092/ulikidince.538332
- Lam, K.-C., Tao, R., & Lam, M. C.-K., 2010. A material supplier selection model for property developers using Fuzzy Principal Component Analysis. *Automation in Construction*, 19(5), 608-618. doi:10.1016/j.autcon.2010.02.007
- Liao, C.-N., & Kao, H.-P., 2010. Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming. *Computers & Industrial Engineering*, 58(4), 571-577. doi:10.1016/j.cie.2009.12.004
- Liao, C.-N., & Kao, H.-P., 2011. An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10803-10811. doi:10.1016/j.eswa.2011.02.031
- Lin, Y.-T., Lin, C.-L., Yu, H.-C., & Tzeng, G.-H., 2010. A novel hybrid MCDM approach for outsourcing vendor selection: a case study for a semiconductor company in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 37(7), 4796-4804. doi:10.1016/j.eswa.2009.12.036
- Liu, Y., Eckert, C., Yannou-Le Bris, G., & Petit, G., 2019. A fuzzy decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers in an agrifood value chain. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 196-212. doi:10.1016/j.cie.2018.12.022
- Massam, B. H., 1988. Multi-criteria decision making (MCDM) techniques in planning. *Progress in planning*, Volume 30, Part 1, 30, 1-84. [https://doi.org/10.1016/0305-9006\(88\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0305-9006(88)90012-8)

- Matić, B., Jovanović, S., Das, D. K., Zavadskas, E. K., Stević, Ž., Sremac, S., & Marinković, M., 2019. A new hybrid mcdm model: sustainable supplier selection in a construction company. *Symmetry*, 11(3). doi:10.3390/sym11030353
- Mijajlović, M., Puška, A., Stević, Ž., Marinković, D., Doljanica, D., Jovanović, S. V., . . . Beširović, J., 2020. Determining the competitiveness of spa-centers in order to achieve sustainability using a fuzzy multi-criteria decision-making model. *Sustainability*, 12(20). doi:10.3390/su12208584
- Milosavljević, M., Jeremić, D., & Milinković, S., 2020. Selection of the Best Location for RFID Wagon Monitoring Device on Serbian Railways Based on FUCOM-TOPSIS Method and Fuzzy Set Theory. VIII International Scientific Siberian Transport Forum, Advances in Intelligent Systems and Computing book series, 1115, 527-539.
- Mitrović Simić, J., Stević, Ž., Zavadskas, E. K., Bogdanović, V., Subotić, M., & Mardani, A., 2020. A novel CRITIC-Fuzzy FUCOM-DEA-Fuzzy MARCOS model for safety evaluation of road sections based on geometric parameters of road. *Symmetry*, 12(12). doi:10.3390/sym12122006
- Mubarik, M. S., Kazmi, S. H. A., & Zaman, S. I., 2021. Application of gray DEMATEL-ANP in green-strategic sourcing. *Technology in Society*, 64. doi:10.1016/j.techsoc.2020.101524
- Nenadić, D., 2019. Ranking dangerous sections of the road using MCDM model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 115-131. doi:10.31181/dmame1901115n
- Nielsen, I. E., Banaeian, N., Golińska, P., Mobli, H., & Omid, M., 2014. Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Flexible Framework for Determination of Suitable Criteria. In *Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability*, 79-99. doi:10.1007/978-3-319-07287-6_6
- Noureddine, M., & Ristic, M., 2019. Route planning for hazardous materials transportation: Multi-criteria decision-making approach. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 66-84. doi:10.31181/dmame1901066n
- Nunić, Z., 2019. Evaluation and selection of the PVC carpentry manufacturer using the FUCOM-MABAC model. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 13-28. doi:10.31181/oresta19012010113n
- Nunić, Z., & Stević, Ž., 2019. A novel integrated multi-criteria decision-making model: FUCOM-EDAS-M. *Innovation As An Initiator of the Development*, Belgrade, Serbia.
- Oliveira, J. B., Jin, M., Lima, R. S., Kobza, J. E., & Montevechi, J. A. B., 2019. The role of simulation and optimization methods in supply chain risk management: Performance and review standpoints. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 92, 17-44. doi:10.1016/j.simpat.2018.11.007
- Oruç, K. O., & Arıcan, M., 2019. bulanık analitik hiyerarşi süreci ve bulanık ARAS yöntemleri ile polis merkezi kuruluş yeri seçimi: Isparta örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(3), 715-734.
- Pamućar, D., Deveci, M., Canitez, F., & Božanić, D., 2020a. A fuzzy Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni model for prioritizing transportation demand management measures. *Applied Soft Computing*, 87. doi:10.1016/j.asoc.2019.105952
- Pamućar, D., & Ecer, F., 2020. Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: the fuzzy full consistency method – FUCOM-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3). doi:10.22190/fume200602034p

- Pamučar, D., Iordache, M., Deveci, M., Schitea, D., & Iordache, I., 2020b. A new hybrid fuzzy multi-criteria decision methodology model for prioritizing the alternatives of the hydrogen bus development: a case study from Romania. *International Journal of Hydrogen Energy*. doi:10.1016/j.ijhydene.2020.10.172
- Pamučar, D., Lukovac, V., Božanić, D., & Komazec, N., 2019. Multi-criteria FUCOM-MAIRCA model for the evaluation of level crossings: case study in the Republic of Serbia. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 108-129. doi:10.31181/oresta190120101108p
- Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S., 2018. A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9). doi:10.3390/sym10090393
- Prentkovskis, O., Erceg, Ž., Stević, Ž., Tanackov, I., Vasiljević, M., & Gavranović, M., 2018. A new methodology for improving service quality measurement: Delphi-FUCOM-SERVQUAL model. *Symmetry*, 10(12). doi:10.3390/sym10120757
- Puška, A., Stević, Ž., & Stojanović, I., 2021. Selection of sustainable suppliers using the fuzzy MARCOS method. *Current Chinese Science*, 1(2), 218-229. doi:10.2174/2210298101999201109214028
- Puška, A., Stojanović, I., & Maksimović, A., 2019. Evaluation of sustainable rural tourism potential in Brcko district of Bosnia and Herzegovina using multi-criteria analysis. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(2). doi:10.31181/oresta190261p
- Puška, A., Stojanović, I., Maksimović, A., & Osmanović, N., 2020. Project management software evaluation by using the measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS) method. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 89-101. doi:10.31181/oresta2001089p
- Ramezanzade, M., Saebi, J., Karimi, H., & Mostafaeipour, A., 2020. A new hybrid decision-making framework to rank power supply systems for government organizations: a real case study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 41. doi:10.1016/j.seta.2020.100779
- Rezaei, J., Fahim, P. B. M., & Tavasszy, L., 2014. Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8165-8179. doi:10.1016/j.eswa.2014.07.005
- Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J., & Tavasszy, L., 2016. A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method. *Journal of Cleaner Production*, 135, 577-588. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.125
- Rouyendegh, B. D., & Saputro, T. E., 2014. Supplier selection using integrated fuzzy TOPSIS and MCGP: a case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 3957-3970. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.874
- Sanchez, J., Gomez, A. T., 2003. Applications of fuzzy regression in actuarial analysis. *The Journal of Risk and Insurance*, 70(4), 665-699.
- Santos, L. F. d. O. M., Osiro, L., & Lima, R. H. P., 2017. A model based on 2-tuple fuzzy linguistic representation and Analytic Hierarchy Process for supplier segmentation using qualitative and quantitative criteria. *Expert Systems with Applications*, 79, 53-64. doi:10.1016/j.eswa.2017.02.032

- Sarıoğlu, M., & Arslan, K., 2020. Yiyecek içecek işletmelerinde MOORA yöntemi ile tedarikçi seçiminin uygulanabilirliği. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*. doi:10.17755/esosder.529386
- Stanković, M., Stević, Ž., Das, D. K., Subotić, M., & Pamučar, D., 2020. A new fuzzy MARCOS method for road traffic risk analysis. *Mathematics*, 8(3). doi:10.3390/math8030457
- Starčević, S., Bojović, N., Junevičius, R., & Skrickij, V., 2019. analytical hierarchy process method and data envelopment analysis application in terrain vehicle selection. *Transport*, 34(5), 600-616. doi:10.3846/transport.2019.11710
- Stefanović, V., Urošević, S., Stević, Z., & Mladenović-Ranisavljević, I., 2019. Multicriteria ranking of the influential factors of safety as criteria for development of the occupational safety and health climate. *Int J Occup Saf Ergon*, 1-11. doi:10.1080/10803548.2019.1646474
- Stević, Ž., & Brković, N., 2020. A novel integrated FUCOM-MARCOS model for evaluation of human resources in a transport company. *Logistics*, 4(1). doi:10.3390/logistics4010004
- Stević, Ž., Durmić, E., Gajić, M., Pamučar, D., & Puška, A., 2019. a novel multi-criteria decision-making model: interval rough SAW method for sustainable supplier selection. *Information*, 10(10). doi:10.3390/info10100292
- Stević, Ž., Tanackov, I., & Subotić, M., 2020a. Evaluation of road sections in order assessment of traffic risk: integrated FUCOM-MARCOS model. Paper presented at the International Conference on Challenges and New Solutions in Industrial Engineering and Management and Accounting, Mazandaran, Iran.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P., 2020b. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140. doi:10.1016/j.cie.2019.106231
- Sureeyatanapas, P., Sriwattananusart, K., Niyamosoth, T., Sessomboon, W., & Arunyanart, S., 2018. Supplier selection towards uncertain and unavailable information: an extension of TOPSIS method. *Operations Research Perspectives*, 5, 69-79. doi:10.1016/j.orp.2018.01.005
- Tan, T., Mills, G., Papadonikolaki, E., & Liu, Z., 2021. Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): a review. *Automation in Construction*, 121. doi:10.1016/j.autcon.2020.103451
- Tang, C., Xu, D. & Chen, N., 2021. Sustainability prioritization of sewage sludge to energy scenarios with hybrid-data consideration: a fuzzy decision-making framework based on full consistency method and fusion ranking model. *Environ Sci Pollut Res* 28, 5548–5565. doi:10.1007/s11356-020-10544-2.
- Tuğ, A., 2006. Bulanık Doğrusal Programlama Ve Bir Üretim Planlamasında Uygulama Örneği. Y.Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Tzeng, G. and Huang, J., 2011. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. CRC Press, Taylor and Francis Group, a Chapman & Hall Book, Boca Raton.
- Ulutaş, A., Karabasevic, D., Popovic, G., Stanujkic, D., Nguyen, P. T., & Karaköy, Ç., 2020. Development of a novel integrated CCSD-ITARA-MARCOS decision-making approach for stackers selection in a logistics system. *Mathematics*, 8(10). doi:10.3390/math8101672

- Vesković, S., Stević, Ž., Karabašević, D., Rajilić, S., Milinković, S., & Stojić, G., 2020. a new integrated fuzzy approach to selecting the best solution for business balance of passenger rail operator: Fuzzy PIPRECIA-Fuzzy EDAS model. *Symmetry*, 12(5). doi:10.3390/sym12050743
- Xu, D., Ren, J., Dong, L., & Yang, Y., 2020. Portfolio selection of renewable energy-powered desalination systems with sustainability perspective: a novel MADM-based framework under data uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 275. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124114
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Pamučar, D., & Chakraborty, S., 2020. Development of an integrated decision making model for location selection of logistics centers in the Spanish autonomous communities. *Expert Systems with Applications*, 148. doi:10.1016/j.eswa.2020.113208
- Zagradjanin, Pamučar, & Jovanovic., 2019. Cloud-based multi-robot path planning in complex and crowded environment with multi-criteria decision making using full consistency method. *Symmetry*, 11(10). doi:10.3390/sym11101241
- Zavadskas, E. K., Nunić, Z., Stjepanović, Ž., & Prentkovskis, O., 2018. A novel rough range of value method (R-ROV) for selecting automatically guided vehicles (AGVs). *Studies in Informatics and Control*, 27(4). doi:10.24846/v27i4y201802

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Merve Ceren TAŞKENT
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Adres:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Şehit Osman Altinkuyu Anadolu Lisesi
Lisans:	Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Upper-intermediate