

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR ÜRETİM TESİSİNİN TRAFO BAKIM HİZMETİ İÇİN
BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
İLE TEDARİKÇİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HANDE BELENKÖYLÜ

DENİZLİ, ŞUBAT - 2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BİR ÜRETİM TESİSİNİN TRAFO BAKIM HİZMETİ İÇİN
BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
İLE TEDARİÇİ SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HANDE BELENKÖYLÜ

DENİZLİ, ŞUBAT - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

HANDE BELENKÖYLÜ



ÖZET

BİR ÜRETİM TESİSİNİN TRAFİKO BAKIM HİZMEYİ İÇİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE TEDARİKÇİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HANDE BELENKÖYLÜ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. HACER GÜNER GÖREN)

DENİZLİ, ŞUBAT - 2024

İşletmelerde bakım dinamik bir üretim, kaliteli enerji, makine ve ekipmanların sürekliliği konusunda piyasa rekabeti de göz önüne alındığında günümüzde büyük önem arz etmektedir. Büyük çaplı bakımlar için alınacak servis hizmeti ve efektif bir bakımın yapılması noktasında tedarikçiler süreci doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle işletmeler, işletme ihtiyaçlarını karşılayabilme yeterliliği en yüksek olan tedarikçilerin performanslarını değerlendirmek ve ideal tedarikçi belirlemek konusunda büyük bir özen göstermektedirler. İdeal tedarikçi seçim sürecinin seyrinde, işletmelerin geçmiş tecrübeleri, beklentileri ve çalışma koşulları ve faaliyet alanları da göz önünde bulundurularak belirlenen kriterler ve kriter ağırlıkları son derece önemlidir. Bu çalışmada tedarik zinciri yönetiminin önemli bir halkası olan tedarikçi seçim süreci, Denizli’de faaliyet gösteren bir işletmenin alacağı trafo bakım hizmeti sürecine yönelik uygulanmıştır. Yöntem olarak; kriter ağırlıklandırma Bulanık FUCOM (Tam Tutarlılık Yöntemi) kullanılmış ve ağırlık katsayılarının nihai değerleri LINGO yazılımı ile elde edilmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde ise Bulanık EDAS (Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme) ve Bulanık MAIRCA (Çok Nitelikli İdeal-Gerçek Karşılaştırmalı Analiz) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar üzerinden alternatiflerin sıralaması yapılarak ideal tedarikçi belirlenmiş ve yöntem sonuçları birbiriyle kıyaslanmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Bulanık FUCOM, Bulanık EDAS, Bulanık MAIRCA, Tedarikçi Seçimi

ABSTRACT

SUPPLIER SELECTION BY USING FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS FOR TRANSFORMER MAINTENANCE SERVICE OF A PRODUCTION FACILITY

MSC THESIS

HANDE BELENKÖYLÜ

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. HACER GÜNER GÖREN)

DENİZLİ, FEBRUARY 2024

Today maintenance in businesses is of great importance when considering market competition in terms of dynamic production, quality energy, machinery and equipment continuity. Suppliers directly affect the process at the point of service and effective maintenance for large-scale maintenance. For this reason, businesses take great care to evaluate the performance of suppliers with the highest ability to meet business needs and to determine the ideal supplier. In the course of the ideal supplier selection process, the criteria and criterion weights determined by considering the past experiences, expectations, working conditions and fields of activity of the enterprises are extremely important. In this study, the supplier selection process which is an important link in supply chain management, has been applied to the transformer maintenance service process of a business located in Denizli city. As a method; Fuzzy FUCOM (Full Consistency Method) was used for weighting of criterias and final values of weight coefficients were obtained with LINGO software. In the evaluation of alternatives, Fuzzy EDAS (Evaluation Based on Average Solution Distance) and Fuzzy MAIRCA (Multi-Qualification Ideal-Real Comparative Analysis) methods were used. The ideal supplier was determined by ranking the alternatives based on the results obtained and the results of the method were compared to each other.

KEYWORDS: Fuzzy FUCOM, Fuzzy EDAS, Fuzzy MAIRCA, Supplier Selection

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Önemi ve Literatüre Katkısı	2
1.3 Tezin Organizasyonu.....	3
2. TEDARİKÇİ SEÇİM PROBLEMİ.....	4
2.1 Tedarikçi Seçim Problemi Çözüm Yöntemleri	6
3. YÖNTEMLER.....	8
3.1 Üçgen Bulanık Sayılar.....	8
3.2 Bulanık FUCOM Yöntemi	10
3.3 Bulanık EDAS Yöntemi	12
3.4 Bulanık MAIRCA Yöntemi	15
4. LİTERATÜR	19
4.1 Bulanık FUCOM Yöntemini Kullanan Çalışmalar	19
4.2 Bulanık EDAS Yöntemini Kullanan Çalışmalar	20
4.3 Bulanık MAIRCA Yöntemini Kullanan Çalışmalar	23
4.4 Literatür Değerlendirmesi	25
5. UYGULAMA	26
5.1 Kriterlerin Belirlenmesi.....	27
5.2 Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	28
5.2.1 Bulanık FUCOM Yöntemi ile Ağırlıkların Belirlenmesi	28
5.3 Alternatiflerin Belirlenmesi.....	32
5.3.1 Bulanık EDAS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi.....	33
5.3.2 Bulanık MAIRCA Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi	35
5.4 Duyarlılık Analizi.....	38
5.4.1 Bulanık EDAS Yöntemi ile Duyarlılık Analizi	39
5.4.2 Bulanık MAIRCA Yöntemi ile Duyarlılık Analizi.....	40
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
7. KAYNAKLAR.....	45
8. ÖZGEÇMİŞ.....	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Tedarikçi Seçim Süreci (Demirtaş ve Akdoğan 2014)	5
Şekil 2.2: Tedarikçi Seçim Problemi Çözüm Yöntemleri (Zimmer, Frohling ve Schultmann 2016).....	7
Şekil 5.1: Bulanık EDAS Yöntemi Qi Değeri Duyarlılık Radar Grafiği	39
Şekil 5.2: Bulanık MAIRCA Yöntemi Qi Değeri Duyarlılık Radar Grafiği	41



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Bulanık Dilsel Ölçek (Guo ve Zhao 2017)	10
Tablo 5.1: Karar Vericinin Belirlediği Kriterler	28
Tablo 5.2: Kriterlerin Dilsel Değerlendirilmeleri ve Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları.....	29
Tablo 5.3: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları (Chen 2000)	33
Tablo 5.4: Alternatiflerin Kriterlere Göre Sözel Değişkenler ile Değerlendirilmesi	33
Tablo 5.5: Alternatiflerin Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları	33
Tablo 5.6: Bulanık Fucom Yöntemi ile Elde Edilen Kriter Ağırlıkları	34
Tablo 5.7: Birleştirilmiş Karar Matrisi.....	34
Tablo 5.8: Tüm Alternatifler için Ortalamaya Pozitif Uzaklık Değerleri (PDA)	35
Tablo 5.9: Tüm Alternatifler için Ortalamaya Negatif Uzaklık Değerleri (NDA).....	35
Tablo 5.10: Ağırlıklandırılmış Toplam Uzaklıklar, Normalize Değerleri ve Değerlendirme Skorlar	35
Tablo 5.11: Dilsel Değerlendirmelerin Üçgen Bulanık Sayı Karşılıklarına göre oluşturulan Karar Matrisi	36
Tablo 5.12: Bulanık Teorik Değerlendirme Matrisi	36
Tablo 5.13: Bulanık Normalizasyon Karar Matrisi.....	36
Tablo 5.14: Bulanık Gerçek Değer Matrisi.....	37
Tablo 5.15: Boşluk Matrisi	37
Tablo 5.16: Nihai Değerler ve Sıralama	37
Tablo 5.17: Alternatif Sıralamalarının Yöntem Sonuçlarına Göre Karşılaştırılması	37
Tablo 5.18: Duyarlılık Analizi Durum Tablosu	38
Tablo 5.19: Durumlara göre Bulanık EDAS ile elde edilen alternatif değerler.....	39
Tablo 5.20: Duyarlılık Analizine göre elde edilen alternatif sıralamaları	39
Tablo 5.21: Durumlara göre Bulanık MAIRCA ile elde edilen alternatif değerleri.....	40
Tablo 5.22: Duyarlılık Analizine göre elde edilen alternatif sıralamaları	40

SEMBOL LİSTESİ

l	: Üçgen bulanık sayının alt sınır değeri
m	: Üçgen bulanık sayının merkezi değeri
u	: Üçgen bulanık sayının üst sınır değeri
$\mu_T(x)$	: Üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu
$\oplus$	: Bulanık toplama işlemi
$\otimes$	: Bulanık çarpma işlemi
$\cong$	: Yaklaşık eşitlik
$\tilde{\omega}$	: Kriter anlamlılığı
φ	: Kriterin karşılaştırmalı öncelik değeri
Φ	: Karşılaştırmalı öncelik vektörü
w	: Ağırlık katsayısı nihai değeri
$\tilde{w}$	: Bulanık ağırlık katsayı değeri
χ	: Tam tutarlılık değeri
Σ	: Toplam sembolü
$\tilde{x}_{ij}^p$	: p. karar vericinin i. alternatif için j. kritere atadığı performans değeri
$\tilde{a}_i$	: Ortalama çözüm matrisi eleman değerleri
$[]_{m \times n}$	: m satır n sütundan oluşan matris
$\tilde{pda}_{ij}$	: j. alternatifin i. kriter için ortalama çözümden pozitif uzaklık değeri
$\tilde{nda}_{ij}$	: j. alternatifin i. kriter için ortalama çözümden negatif uzaklık değeri
$\tilde{sp}_j$	: j. alternatifin ağırlıklandırılmış pozitif uzaklık değeri
$\tilde{np}_j$	: j. alternatifin ağırlıklandırılmış negatif uzaklık değeri
$\tilde{ns}_j$	: j. alternatifin normalize edilmiş pozitif uzaklık değeri
$\tilde{sn}_j$	: j. alternatifin normalize edilmiş negatif uzaklık değeri
$\tilde{as}_j$	: j. alternatifin değerlendirme skoru
D_L	: Dilsel değerlendirme matrisi
L_{mn}^k	: k. karar vericinin n. kriter ve m. alternatif için yaptığı dilsel ifade
P_{A_i}	: i sayıda alternatif için tercih değeri
$\tilde{T}_{P_A}$	: Teorik değerlendirme matris değeri
n_{ij}^l	: i. kriter j. alternatifin l bulanık sayı değerinin normalize değeri
n_{ij}^m	: i. kriter j. alternatifin m bulanık sayı değerinin normalize değeri
n_{ij}^u	: Teorik hesaplama matris değeri
g_{ij}	: i. kriter j. alternatif için toplam boşluk matris değeri
Q_i	: Alternatiflerin toplam boşluk nihai değeri

ÖNSÖZ

Tez sürecim boyunca bana bilgi ve tecrübesiyle yardımcı olan çok kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Sayın HACER GÜNER GÖREN'e, tez sürecimde büyük özveri göstererek benden yardımlarını esirgemeyen ve engin bilgilerini benimle paylaşan çok kıymetli arkadaşım TOLGA YÜCEHAN'a, tez çalışmamda ele aldığım, yedi yıl elektrik bakım mühendisi olarak çalıştığım ve kariyer hayatımda çok özel bir yeri olan sevgili ER-BAKIR A.Ş. ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan, edindiğim başarılarda benimle beraber emek gösteren sevgili Ailem'e, bilhassa kitaplarla buluştuğum ilk andan beri, eğitim ve kariyer hayatımın iyi seviyelere gelmesi için büyük özveri gösteren, yol göstericiliği ile bana hep ışık tutan çok kıymetli annem SELMA BABACAN'a teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Değişen ve globalleşen dünyada artan teknolojik gelişmelerle endüstriyel işletmeler, rekabet koşullarına ayak uydurmaya ve pazar paylarını etkili bir üretimle korumaya çalışmaktadırlar. Özellikle makine parkuru oldukça geniş olan ve artan müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmek adına sürekli üretim kapasitesini arttıran işletmelerde, bu duruma bağlı olarak bakım faaliyetleri daha çok önem arz etmektedir. Üretimin sürekli faal halde olduğu düşünülünce tesisat, makine ve ekipmanlarda zaman içerisinde yıpranmalar meydana gelecek bu da tamir ve bakım faaliyetlerini beraberinde getirecektir. İşletmelerin, plansız duruşlara sebep olan ve önüne geçilmediği takdirde bütün bir üretim hattını etkileyerek her türlü kayba neden olabilecek arızaları minimize etmesi ve bu arızaları oluşmadan önleyecek bir takım proaktif faaliyetlerde bulunması gerekmektedir. Tam da bu noktada, optimal bakım politikalarının bir parçası olarak planlı ve periyodik bakım faaliyetleri kritik öneme sahiptir. Makine ve ekipmanlarda oluşabilecek duruşların veya kronikleşen arızaların önüne geçmemek sadece makineyi değil, siparişlerin teslim sürelerini, üretim istikrarını ve işletme içerisindeki planlama, lojistik gibi birçok departmanı da büyük ölçüde etkileyecektir. Bu olumsuz durumların önüne geçmek ve arızalardan kaynaklı oluşabilecek maliyetleri minimize etmek, işletmelerin planlı ve periyodik bakım faaliyetlerini benimsemesi ve uygulaması ile mümkündür. Planlı bakım faaliyetleri çoğu işletmenin kendi bakım ekibi tarafından gerçekleştirilse de trafo, jeneratör gibi kritik öneme sahip ve riskli ekipmanların bakımı genellikle dışarıdan servis hizmeti alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu açıdan uygulanacak efektif bakım, alanında uzman teknik ekibi ile işletme beklentilerine katkı sağlayan tedarikçi ile doğrudan ilişkilidir. İşletme yetkililerinin, servis hizmeti alacağı bakım için durum analizi sonrasında çeşitli kriterler belirlemesi ile başlayan tedarikçi seçim süreci bir ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) problemidir.

İşletmelerin vermesi gereken önemli kararlardan biri de belirsiz koşullar altında, belirledikleri kriterler üzerinden uygun tedarikçinin seçimine dair verdiği karardır (Demir 2010). Tedarikçi seçim problemi, belirlenen çok sayıda kriter üzerinden çözüme ulaştırılmaya çalışılarak doğru ve uygun tedarikçinin belirlenmesini

hedef alan komplike bir problem türüdür. Problemin karar sürecine bilimsel yöntemlerin entegre edilmesi süreci kolaylaştıracak ve problemin doğru çözümlenmesine yardımcı olacaktır (Dağdeviren ve Eraslan 2008). Tedarik zincirinin önemli bir halkası olan tedarikçi seçiminin etkin yapılması ve sürecin doğru yönetilmesi son derece önemlidir. Ayrıca sürecin başlangıç noktası olan kriterlerin, alanında uzman bir ekip tarafından şeffaf bir şekilde ortaya koyulması ve bilimsel yöntemlere doğru bir şekilde entegre edilmesi doğru sonuçlar alma konusunda kilit noktadır. İşletme yetkililerin tedarikçi seçim sürecini büyük bir titizlikle verimli bir şekilde yürütmesi günün sonunda şirket beklentilerinin karşılanmasına ve bilimsel yöntemlerin doğru uygulanmasına yardımcı olacaktır. Tedarikçi seçimine gösterilen özen sadece işletme ihtiyaçlarının yerine getirilmesine değil, uzun vadede işletmenin rekabet gücüne ve işçilik&malzeme maliyetlerinden bağımsız olarak kuvvetli bir ilişkinin gelişmesine de katkı sağlamaktadır (Dağdeviren ve diğ. 2005).

Çok kriterli bir karar verme problemi olan tedarikçi seçim problemi, yapısı ve uygulama alanı itibariyle araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmektedir ve konuyla ilgili literatüre kazandırılan çok sayıda model ve metodoloji bulunmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi, tez çalışmasında ele alınan işletmede büyük önem arz eden yıllık trafo bakımlarının uygun bir tedarikçi ile gerçekleştirilmesi ve şirket beklentilere katma değer sağlamaktır. Diğer amaç ise, literatüre kazandırılan farklı yöntem ve uygulamalar ile tedarikçi seçim performansını en iyilemek ve farklı yöntemleri bütünleşik kullanarak alternatif bir yaklaşım sunmaktır.

1.2 Tezin Önemi ve Literatüre Katkısı

Bu tez çalışması, işletmelerde bakım servisi için tedarikçi seçimi ve bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin entegre kullanılması konusunda derin bilgiler içermesi açısından oldukça önemlidir. Literatürde işletmelerde bakım konusunda tedarikçi seçimine yönelik çalışmaların oldukça az olması ve Bulanık FUCOM,

Bulanık MAIRCA ve Bulanık EDAS yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanıldığı çalışmalara hiç rastlanmaması sebebiyle, bu çalışmanın literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın yanı sıra işletmelerde bakım için tedarikçi seçim problemi sektördeki farklı işletmelerde, bakım kapsamı, beklenti ve tesis şartları göz önüne alınarak, farklı karar verme yöntemleri ile uygulanabileceği gibi yöntemlerin sayısının artırılmasıyla da yapılacak derin çalışmalar için araştırmacılara yol gösterebilir.

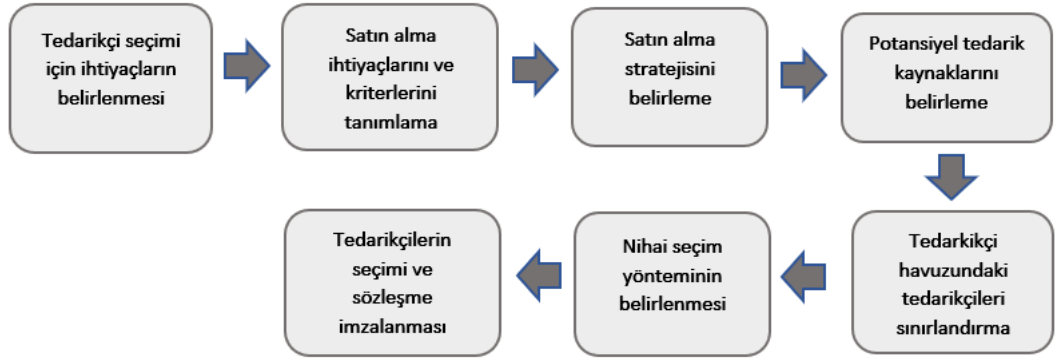
1.3 Tezin Organizasyonu

Bu çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, işletmelerde bakımın önemi, bakım faaliyetlerini yürütecek uygun tedarikçi seçimi ve tedarikçi seçim süreci hakkında yorumlamalar ana hatlarıyla yapılmaya çalışılmıştır. İkinci bölümde, tedarikçi seçim süreci ve uygulanan yöntemler ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, tedarikçi seçim problemi için uygulanan yöntemler aşamaları ile açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünü oluşturan uygulama kısmında ise, ele alınan işletme hakkında genel bilgilendirme yapılmış, uzman görüşü neticesinde öncelikle kriterler belirlenmiştir. Sonrasında uygulanan bulanık yöntemlerin veriler üzerinden hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen hesaplama çıktıları üzerinden alternatiflerin değerlendirmesi yapılarak yöntem sonuçları birbiriyle kıyaslanmıştır. Ayrıca kriter ağırlıklarının farklı durumlar için değişimlerini gözlemlemek üzere duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analiz her iki alternatif sıralama yöntemi hesaplamalarına göre yapılmış ve analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Beşinci ve son bölümde de, elde edilen veriler üzerinden sonuçların yorumlanması ve öneriler yapılmıştır.

2. TEDARİKÇİ SEÇİM PROBLEMİ

Tedarikçi seçimi genel tanımıyla, ekipman veya malzemenin, ihtiyaç duyulan mamul veya yarı mamullerin hangi miktarda satın alınacağını belirlenmesi olarak ifade edilebilir (Ecer ve Küçük 2008, Liu ve Hai 2005). Başka bir ifade ile tedarikçi seçimi, tedarik kaynağı olarak seçilecek olan potansiyel tedarikçilerin sayısını ve özelliklerini belirleme, sonrasında sipariş miktarlarının seçilen tedarikçiler arasında atanması prosedürüdür (Ellram 1995). Literatür incelendiğinde tedarikçi seçimine dair en önemli çalışmalardan biri, 23 kriterin sektördeki farklı yöneticilere anket gönderilmesi ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi üzerine Dickson (1966) tarafından yapılmıştır. Başka bir çalışmada, sandalye imalatı yapan bir işletmede tedarikçi seçim süreci için belirlenen değişkenlerin analizleri yapılarak metoloji geliştirme üzerine Marvin ve diğ. (2003) tarafından yapılmıştır. Tedarikçi seçiminin amacı, bir firmanın beklenti ve ihtiyaçlarını uygun maliyet, kalite ve güvenilirlik çerçevesinde karşılayabilecek ideal tedarikçilerin tespitini yapmaktır (Kahraman ve diğ. 2003). Dickson çalışmasında kalite, maliyet ve teslimat performansının en önemli üç kriter olduğunu belirlemiştir ve bu kriterler neredeyse bütün çalışmalarda yüksek öneme sahiptir. (Türer ve diğ. 2008). Yüksek önem derecesine sahip bu kriterlere ek olarak müşteri memnuniyeti, satış sonrası hizmet ve esneklik gibi çok sayıda kriter tedarikçilerin değerlendirilme sürecinde yaygın olarak kullanılmaktadır. (Akman ve Alkan 2006). Kalite, maliyet, teknoloji ve yeterlilik, hizmet ve tedarikçi profili, teslimat kriterlerinin yayınlarda kullanım oranının diğer kriterlere oranla daha fazla olduğunu Mukherjee (2016) kendi çalışmasında belirtmiştir. Taherdoosta ve Brard (2019)'ın çalışmasında, bu yaygın olarak kullanılan kriterlere ek müşteri memnuniyetine ilişkin birtakım faktörlerin de eklendiğini belirtilmiştir.

Mendoza (2008) etkin bir tedarikçi seçim sürecini; ideal tedarikçi için ihtiyacın kabul edilmesi ilk adım olmak üzere, satın alma kriterlerinin ve stratejilerinin tespiti, tedarik kaynaklarının belirlenmesi, tedarikçilerin sınıflandırılması, uygun seçim yöntemi ile tedarikçilerin seçimi ve nihai sözleşmenin imzalanması şeklinde aşamalı olarak ifade etmiştir. Bu sürecin adımları Şekil 2.1'deki gibidir (Demirtaş ve Akdoğan 2014).



Şekil 2.1: Tedarikçi Seçim Süreci (Demirtaş ve Akdoğan 2014)

Tedarikçi seçim süreci sadece kalite ve fiyat beklentisi ile sınırlı değildir, bunun yanı sıra hizmet esnekliği ve değişikliklere cevap vermeyi de içermektedir (Wang ve diğ. 2009). Bu da ideal tedarikçi seçimi yapılırken kalite, fiyat, esneklik ve teslimat performansları gibi birçok nicel ve nitel faktörlerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Chen ve diğ. 2006).

İdeal tedarikçi seçimi tedarikçi yönetiminin iyi yapılmasıyla mümkündür. Tedarikçi yönetimi, durum analizi ve ihtiyaçlar doğrultusunda potansiyel tedarikçilerin belirlenmesi ve uygun olan tedarikçinin seçiminden sonra performans ölçümlerinin yapılması şeklinde tanımlanabilir (Dobler ve Burt 1996). İşletmelerin, müşterilerine doğru ürünleri, doğru miktarlarda ve doğru zamanda göndermeleri büyük ölçüde tedarikçilerine bağlı olduğundan tedarikçi seçimi işletme performansını büyük ölçüde etkilemektedir (Ghodsypour 1998). Şirketler kendi strateji ve belirledikleri kriterlere göre tedarikçilerin performanslarını değerlendirir ve çok kriterli karar verme problemi kapsamındaki karar modelleri ile sonuçları değerlendirir, elde edilen veriler üzerinden uygun tedarikçi veya tedarikçiler seçilir (Cedimoğlu 2007).

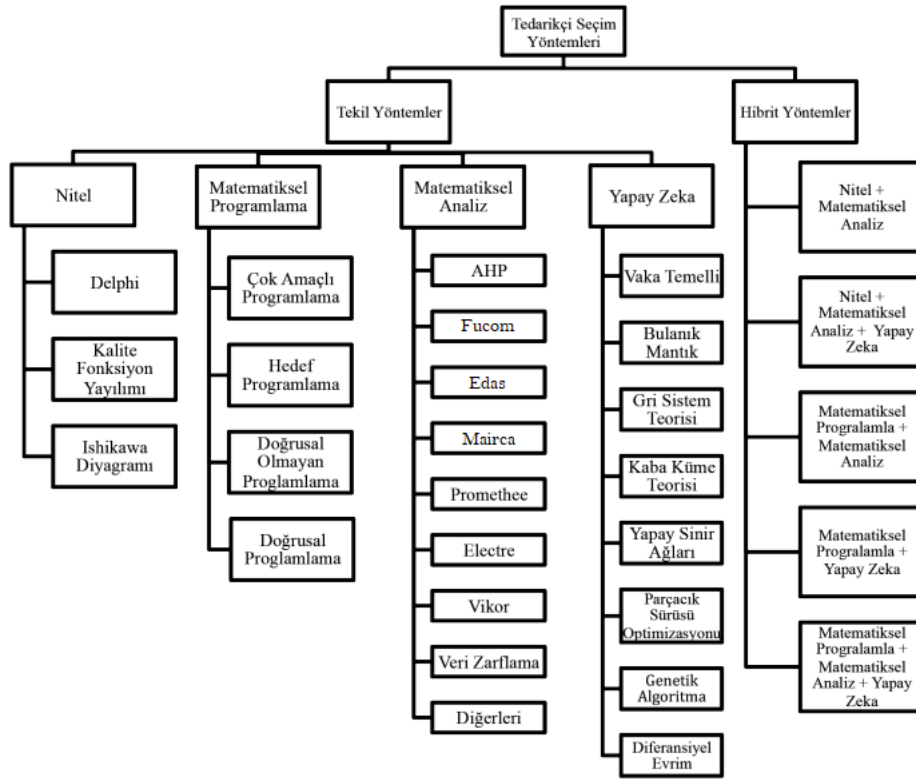
Tedarikçi seçimi karar verici veya karar vericiler tarafından yapılmaktadır. Karar vericinin sürece aşinalığı, şeffaflığı, alanında uzman ve tecrübe sahibi olması uygun tedarikçi seçiminin doğru sonuçlanmasını büyük oranda etkilemektedir. (De Boer 2001). Uygun olarak seçilen tedarikçinin sunduğu hizmetlerin faydalarını analiz etmek için hizmet performans kriteri kullanılabilir (Kahraman ve diğ. 2003). İşletmenin tedarikçiden beklediği hizmet standartları başlangıçta net biçimde ortaya koyulur ve tedarikçinin bu standartlara karşılık verebilme düzeyi seçim aşamasında değerlendirilir (Kabadayı ve Çırpın 2020).

Tedarik zincirinde dayanıklılık stratejilerinin geliştirilmesi ile risklerin azaltılması mümkündür. Stratejinin doğru şekilde uygulanmasında tedarikçi değerlendirilmesi ve seçimi büyük önem arz etmektedir (Davoudabadi ve diğ. 2020). Tedarikçilerin değerlendirilmesinde birden fazla faktör dikkate alınması gerekmektedir ve ÇKKV problemi olarak tedarikçilerin seçiminde hem nitel hem de nicel kriterler etkili olabilmekte ve tedarikçi değerlendirmelerinde birden fazla faktör göz önünde bulundurulmalıdır (Çalık 2022).

2.1 Tedarikçi Seçim Problemi Çözüm Yöntemleri

Tedarikçi seçim sürecinin etkin bir şekilde yönetilmesinde, kriterlerin doğru bir şekilde belirlenmesi ve uygun karar modellerinin uygulanması büyük önem arz etmektedir. Literatürde tedarikçi seçim problemlerinin çözümü için farklı karar modelleri bulunmaktadır (Şekil 2.2).

Bu çalışmada, bakım hizmetinin sağlanması konusunda ideal tedarikçiyi belirlemek isteyen bir işletme için ÇKKV yöntemleri bütünsel olarak kullanılarak çözüm aranmaya çalışılmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemlerin hesaplamaları birbirinden oldukça farklı olduğu ve farklı sıralama verebileceği için birden fazla yöntem uygulanmak istenmiştir.



Şekil 2.2: Tedarikçi Seçim Problemi Çözüm Yöntemleri (Zimmer, Frohling ve Schultmann 2016)

Kriter ağırlıklandırma için, diğer yöntemlere göre daha tutarlı sonuçlar vermesi ve literatürde oldukça az sayıda çalışma olması sebebiyle FUCOM yöntemi kullanılmıştır. Yöntem üçgen bulanık sayılara entegre edilerek, kriterlerin nihai ağırlıkları Bulanık FUCOM yöntemi ile elde edilmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde, değişikliklere kolayca uyarlanabilmesi ve uygun çözüm imkanı sağlaması nedeniyle literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan Bulanık EDAS yöntemi ve işlem kolaylığı sağlayan literatüre yeni kazandırılmış Bulanık MAIRCA yöntemi bütünleşik olarak kullanılmıştır.

3. YÖNTEMLER

Bu çalışmada kullanılan bütün modeller üçgen bulanık sayılar ile bütünleşik olarak kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılması için Bulanık FUCOM yöntemi, alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralanması için Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemleri kullanılmıştır. Üçgen bulanık sayılar ve hesaplamalarda kullanılan modeller bu bölümde detaylıca açıklanmıştır.

3.1 Üçgen Bulanık Sayılar

Bulanık mantık konusu Lotfi A.Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmış, buna bağlı çeşitli alt kavramlar geliştirilerek matematik ve bilim alanında faydalı çalışmalar ortaya koyulmuştur. Bulanık kümeler ve gerçek sayıların bir uzantısı olan bulanık sayılar, bulanık mantık teorisinin bir parçası olup, gerçek hayattaki sözel ifadeleri matematiksel olarak ifade etmeyi hedefler. Farklı nesneleri veya olguları iyi, kötü gibi göreceli nitelendirmeler ile değerlendirdiğimizde sonuçlar kişilere göre farklılık gösterecektir. Zadeh'in bulanık mantık yaklaşımına göre bu nitelendirmeler dilsel ölçeklerle ifade edilip matematiksel işlemlerle entegre edildiğinde, verilerden kaynaklı eksiklikler ve karar vericilerin yorumlamasına dayalı belirsizlikler ortadan kalkacak, daha gerçekçi veriler elde edilecektir (Schitea ve diğ. 2019).

Bulanık kümeler, klasik kümelerin özel bir alt kümesi olsa da ikisi arasında kavram farkı vardır. Klasik kümelerde, tanımlı uzaydaki bir elemanın kümeye ait olup olmama durumu nettir. Bulanık kümelerde ise bu durum kademeli olarak tanımlanabilir. Üyelik fonksiyon değerleri klasik kümelerde $\{0,1\}$ değeri alırken bulanık kümelerde sonsuz değerler alabilir. Buradan anlaşılacağı üzere klasik kümelerde bir tane üyelik fonksiyon değeri varken, bulanık kümelerde ise sonsuz üyelik fonksiyon değerleri vardır. Üyelik fonksiyonlarının farklı olması iki küme arasındaki en belirgin fark olarak tanımlanabilir (Bayrakdaroğlu ve Kundakcı 2019). Bulanık kümelerin bir alt kümesi olan bulanık sayıların kendi içinde farklı çeşitleri vardır ama bunlardan pratikte ve uygulamalarda en yaygın olanı üçgensel bulanık sayılardır.

Bu çalışmada da tedarikçi seçim probleminde uygulanacak yöntemlerde, alternatiflerin ve kriterlerin değerlendirilmesinde üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Üçgensel bulanık sayılar (l, m, u) şeklinde üçlü parametreler ile gösterilirler. Bu parametler sırasıyla alt sınır değeri, merkezi değer ve üst sınır değerini temsil etmektedir. $T = (l, m, u)$ üçgen bulanık sayısının üyelik fonksiyonu Eşitlik (3.1)'deki gibi tanımlanmaktadır (Pamucar ve Ecer 2020).

$$\mu_T(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (3.1)$$

Bu çalışmada da tedarikçi seçim probleminde uygulanacak yöntemlerde, alternatiflerin ve kriterlerin değerlendirilmesinde üçgensel bulanık sayılar $T_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $T_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgen bulanık sayılar olmak üzere, bu sayılar işleme girdiğinde aritmetik işlem hesaplamaları aşağıdaki gibidir (Pamucar ve Ecer 2020).

$$(l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2 \quad (3.2)$$

$$(l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2 \quad (3.3)$$

$$\frac{(l_1, m_1, u_1)}{(l_2, m_2, u_2)} \cong \frac{l_1}{l_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{u_2} \quad l_i > 0, m_i > 0, u_i > 0 \quad (3.4)$$

$$(l_i, m_i, u_i)^{-1} \approx \left(\frac{1}{u_i}, \frac{1}{m_i}, \frac{1}{l_i} \right) \quad l_i > 0, m_i > 0, u_i > 0 \quad (3.5)$$

$T = (l_j, m_j, u_j)$ bir üçgen bulanık sayı olmak üzere, bu bulanık sayının durulaştırılması (defuzzification) veya başka bir deyişle bulanık değeri normal değere dönüştürme işlemi Eşitlik 3.6'daki gibidir (Chen 2000, Cheng ve diğ. 2008, Rezaei ve Ortt 2013).

$$T = \frac{l_j + 4m_j + u_j}{6} \quad (3.6)$$

3.2 Bulanık FUCOM Yöntemi

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinde, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan FUCOM yöntemi (Full Consistency Method), Pamučar vd. tarafından geliştirilmiş ve 2018’de literatüre kazandırılmıştır. Gerçek hayatta görece düşüncelere dayanan sözel ifadelerin sayısallaştırılmasına olanak sağlayan bulanık mantık, FUCOM yöntemine de entegre edilmiş ve 2020 yılında Pamučar ve Ecer tarafından Bulanık FUCOM (Fuzzy FUCOM) yöntemi olarak literatüre kazandırılmıştır (Ecer 2021).

Bulanık FUCOM yöntemi, kriterlerin ikili karşılaştırmasına dayalı olarak kriter ağırlıklarının hesaplandığı bir yöntemdir. Diğer kriter ağırlıklandırma yöntemlerine nazaran daha az ikili kıyaslama yapılması, tutarlılıktan sapma oranının düşük olması ve anlaşılır olması yöntemin avantajları arasındadır (Pamuçar ve diğ. 2021, Tang ve diğ. 2021). Karar vericilerin belirlediği kriterleri dilsel olarak değerlendirmesi ve ikili karşılaştırma ile bulanık sayı karşılıklarının belirlenmesi yöntemin ilk aşamasıdır. Tablo 3.1’de karar vericilerin kullandığı sözel değişkenler ve üçgen bulanık sayı karşılıkları verilmiştir.

Tablo 3.1: Bulanık Dilsel Ölçek (Guo ve Zhao 2017)

Dilsel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları
Eşit Önem	(1,1,1)
Daha az Önemli	(2/3,1,3/2)
Oldukça Önemli	(3/2,2,5/2)
Çok Önemli	(5/2,3,7/2)
Kuvvetli Önemli	(7/2,4,9/2)

Bu yöntemin işlem adımları şu şekildedir;

Adım 1: Kriterlerin Belirlenmesi ve Sıralanması

Karar vericiler tarafından kriterler ve varsa alt kriterler belirlenir. n tane kriterin sıralaması yapılırken, en önemli olan kriter birinci sırada ve en az önemli olan n . sırada olacak şekilde Eşitlik (3.7)’deki gibi ifade edilir (Tang ve diğ. 2021).

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > C_{j(3)} > \dots > C_{j(n)} \quad (3.7)$$

Aynı sıralamaya sahip kriterler varsa, bunlar arasına ‘>’ yerine ‘=’ koyulur (Demir 2021).

Adım 2: Kriterlerin Karşılaştırılması

Kriterler sıralandıktan sonra ardışık olarak karşılaştırmaları yapılır. Karşılaştırma, en önemli kriteri ifade eden birinci sıradaki kritere göre yapılır. İlk kriter de kendisiyle kıyaslandığından dilsel ölçekteki değeri ‘Eşit Önem’ olacaktır (Peker ve Görener 2022). Tablo 3.1’deki bulanık sayılar kullanılarak tüm kriterler için bulanık kriter anlamlılığını ifade eden $\tilde{w}_{C_{j(k)}}$ değerleri belirlenir. Daha sonra Eşitlik (3.8)’e göre kriterlerin karşılaştırmalı önceliği hesaplanır. Eşitlik (3.9) ise karşılaştırmalı öncelik vektörünü ifade etmektedir (Ayadi ve diğ. 2021, Pamučar ve Ecer 2020).

$$\varphi_{\frac{k}{k+1}} = \frac{\tilde{w}_{C_{j(k+1)}}}{\tilde{w}_{C_{j(k)}}} = \left(\frac{\tilde{w}_{C_{j(k+1)}}^l, \tilde{w}_{C_{j(k+1)}}^m, \tilde{w}_{C_{j(k+1)}}^u}{\tilde{w}_{C_{j(k)}}^l, \tilde{w}_{C_{j(k)}}^m, \tilde{w}_{C_{j(k)}}^u} \right) \quad (3.8)$$

$$\Phi = \left(\varphi_{\frac{1}{2}}, \varphi_{\frac{2}{3}}, \dots, \varphi_{\frac{k}{k+1}} \right) \quad (3.9)$$

Adım 3: Optimum Nihai Ağırlıkların Belirlenmesi ve Matematiksel Modelin Kurulması

Kriterlerin bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerleri $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ ve bu değerler aşağıdaki iki koşulu sağlamalıdır (Pamuçar ve Ecer 2020).

Koşul 1: Kriterlerin ağırlık katsayılarının oranı karşılaştırmalı önceliklere eşit olmalıdır. Denklem 10 yerine getirilerek bu koşul sağlanmış olur (Gölcük ve diğ. 2022)

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{\frac{k}{k+1}} \quad (3.10)$$

Koşul 2: Nihai kriter ağırlıkları matematiksel geçişlilik özelliğini yani $\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)}$ ve $\frac{w_k}{w_{k+1}} \otimes \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \frac{w_k}{w_{k+2}}$ eşitliklerini sağlamalıdır. Bu eşitlikler üzerinden sağlanması gereken diğer koşul Eşitlik (3.11)’deki gibi elde edilmiş olur.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{\frac{k}{k+1}} \otimes \varphi_{\frac{k+1}{k+2}} \quad (3.11)$$

Tam tutarlılık yani minimum $DFC(\chi)$ 'in sağlanabilmesi yalnızca kriter ağırlıklarının geçişliliği tam karşılandığında mümkündür. Bu durumda, maksimum tutarlılığın ($\chi=0$) sağlanabilmesi için $\frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/k+1} = 0$ ve $\frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = 0$ olmalıdır yorumu yapılabilir. Bu koşulların sağlanması yani maksimum sapmanın minimize edilmesi, $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ ağırlık katsayı değerlerinin, χ değerinin en aza indirilmesiyle beraber $\left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/k+1} \right| \leq \chi$ ve $\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi$ 'in beraber sağlanması ile mümkündür. Eşitlik (3.12)'deki doğrusal olmayan model ile kriterlerin ağırlık katsayılarının bulanık değerleri elde edilir (Pamuçar ve Ecer 2020).

$\min \chi$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{\frac{k}{k+1}} \right| \leq \chi, & \forall j \\ \left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{\frac{k}{k+1}} \otimes \varphi_{\frac{k+1}{k+2}} \right| \leq \chi, & \forall j \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, & \forall j \\ w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u \\ w_j^l \geq 0, & \forall j \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (3.12)$$

Burda $w_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$ ve $\varphi_{k/(k+1)} = (\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u)$ dir.

3.3 Bulanık EDAS Yöntemi

Karar verme problemlerinde, alternatiflerin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan EDAS yöntemi, çok kriterli envanter sınıflandırması probleminden hareketle Ghorabae ve arkadaşları tarafından (2015) geliştirilmiştir. Dilsel ifadeleri sayısallaştırarak daha etkin sonuçlara ulaşabilmek için bu yöntem de bulanık mantık

kavramına entegre edilmiştir. Bulanık EDAS yöntemi ilk defa Ghorabae ve diğ. (2016) tarafından, deterjan sektöründe hizmet veren bir firmanın tedarikçi seçim probleminde uygulamaya koyulmuştur (Yürüyen ve Ulutaş 2020).

Bu çalışmada, karar vericilerin dilsel ifadelerinin bulanık sayı karşılıkları için Tablo 3.1'deki üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Çok kriterli bir karar verme probleminde $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ ($i = 1, 2, \dots, m$) kriter kümesi, $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ($j = 1, 2, \dots, n$) alternatifler kümesi, $KV = \{KV_1, KV_2, \dots, KV_k\}$ ($p = 1, 2, \dots, k$) ise karar vericiler kümesi olmak üzere, bulanık EDAS yönteminin işlem adımları şu şekilde özetlenebilir (Ghorabae ve diğ. 2016);

Adım 1: Karar vericilerin alternatifler için belirlediği performans değerlerini ifade eden karar matrislerinin birleştirilmesiyle Eşitlik (3.13)'teki birleştirilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur;

$$X = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n} \quad (3.13)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \left(\prod_{p=1}^k \tilde{x}_{ij}^p \right)^{\frac{1}{k}} \quad (3.14)$$

(3.14) eşitliğindeki $\tilde{x}_{ij}^p$ değeri A_i ($1 \leq i \leq m$) alternatifinin p . ($1 \leq p \leq k$) karar verici tarafından atanan C_j ($1 \leq j \leq n$) kriterinde aldığı performans değerini ifade etmektedir. Karar vericilerin tayin ettiği performans değerleri toplanarak karar verici sayısına bölünür ve birleştirilmiş karar matrisini ifade eden $\tilde{x}_{ij}$ Eşitlik (3.14)'teki gibi bulunur.

Adım 2: Karar vericilerin kriterler için tayin ettiği değerler toplanarak karar verici sayısına bölünmesiyle (3.15) eşitliğindeki kriter ağırlıkları matrisi elde edilir. Bu denklemdeki C_j ($1 \leq j \leq n$) kriterinin p . ($1 \leq p \leq k$) karar verici tarafından atanan ağırlık değeri $\tilde{w}_i$ ise Eşitlik (3.15)'teki gibi hesaplanır:

$$W = [\tilde{w}_i]_{m \times 1} \quad (3.15)$$

$$\tilde{w}_i = \frac{1}{k} \sum_{p=1}^k \tilde{w}_i^p \quad (3.16)$$

Adım 3: Ortalama çözüm matrisi (AV) oluşturulur. Bu matrisin elemanları olan $\tilde{a}\tilde{v}_i$ değerleri, her bir kriter için alternatiflerin ortalama çözüm değerlerini ifade etmektedir ve (3.18) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır.

$$AV = [\tilde{a}\tilde{v}_i]_{m \times 1} \quad (3.17)$$

$$\tilde{a}\tilde{v}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij} \quad (3.18)$$

Adım 4: Fayda kriterlerinin gösteren küme B , maliyet kriterlerini gösteren küme N olmak üzere, kriterlerin fayda ve maliyet olma durumu göz önünde bulundurularak ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) hesaplanır.

$$PDA = [p\tilde{d}a_{ij}]_{m \times n} \quad (3.19)$$

$$NDA = [n\tilde{d}a_{ij}]_{m \times n} \quad (3.20)$$

$$p\tilde{d}a_{ij} = \begin{cases} \frac{\psi(\tilde{x}_{ij} - \tilde{a}\tilde{v}_i)}{k(\tilde{a}\tilde{v}_i)}, i \in B \\ \frac{\psi(\tilde{a}\tilde{v}_i - \tilde{x}_{ij})}{k(\tilde{a}\tilde{v}_i)}, i \in N \end{cases} \quad (3.21)$$

$$n\tilde{d}a_{ij} = \begin{cases} \frac{\psi(\tilde{a}\tilde{v}_i - \tilde{x}_{ij})}{k(\tilde{a}\tilde{v}_i)}, i \in B \\ \frac{\psi(\tilde{x}_{ij} - \tilde{a}\tilde{v}_i)}{k(\tilde{a}\tilde{v}_i)}, i \in N \end{cases} \quad (3.22)$$

Eşitlik (3.21) ve eşitlik (3.22)'deki $p\tilde{d}a_{ij}$ ve $n\tilde{d}a_{ij}$, j . alternatfin i . kriter için ortalama çözüm değerlerinden pozitif ve negatif uzaklık performans değerini ifade etmektedir.

Adım 5: Kriter ağırlıklarının hesaplandığı yöntemden elde edilen kriter ağırlıkları ile pozitif ve negatif uzaklık değerleri çarpılıp toplanarak her alternatif için ağırlıklandırılmış pozitif ve negatif uzaklıklar (3.23) ve (3.24) eşitlikleri yardımıyla hesaplanır.

$$\widetilde{sp}_j = \sum_{i=1}^m (\widetilde{w}_i * p\widetilde{d}a_{ij}) \quad (3.23)$$

$$\widetilde{np}_j = \sum_{i=1}^m (\widetilde{w}_i * n\widetilde{d}a_{ij}) \quad (3.24)$$

Adım 6: Eşitlik (3.25) ve eşitlik (3.26) ile bütün alternatifler için $\widetilde{sp}_j$ ve $\widetilde{np}_j$ değerleri normalize edilir.

$$\widetilde{nsp}_j = \frac{\widetilde{sp}_j}{\max_j (k(\widetilde{sp}_j))} \quad (3.25)$$

$$\widetilde{nsn}_j = 1 - \frac{\widetilde{sn}_j}{\max_j (k(\widetilde{sn}_j))} \quad (3.26)$$

Adım 7: Değerlendirme skorunu ifade eden $\widetilde{as}_j$ (3.27) eşitliği yardımıyla, tüm alternatifler için hesaplanır.

$$\widetilde{as}_j = \frac{1}{2} (\widetilde{nsp}_j * \widetilde{nsn}_j) \quad (3.27)$$

Adım 8: Son aşamada, elde edilen değerlendirme skorlarına göre alternatifler büyükten küçüğe doğru sıralanır. En düşük değerlendirme skoruna sahip alternatif, en iyi alternatif seçilir.

3.4 Bulanık MAIRCA Yöntemi

MAIRCA (MultiAttributive Ideal-Real Comparative Analysis) yöntemi, ideal ve ampirik (deneysel) derecelendirmeler arasındaki boşlukları hesaplama esasına dayanan ve 2016'da Gigovic vd. tarafından geliştirilen bir yöntemdir (Kaya 2020).

Yöntemde tüm kriterler için boşlukların toplanması ile her bir alternatife ait toplam boşluğun hesaplaması yapılır (Gigovic ve diğ. 2016, Pamučar ve diğ. 2017).

Toplam boşluk her bir alternatif için hesaplanarak alternatifler bu değerler üzerinden sıralanır ve toplam boşluğu en küçük değere sahip olan alternatif en iyi seçim olarak belirlenir (Badi ve Ballem 2018). MAIRCA yönteminin anlaşılır algoritmaya sahip olması ve kriter niteliklerinin fayda ve maliyet yönlü olması durumunda farklı hesaplamalara gerek duyulmaması yöntemin avantajları arasındadır (Yazgan ve Agamyradova 2021).

Karar vericilerin kesin ve sayısal verilerle daha etkin çözümler ortaya koyma eğilimi ve çok sayıda karar verici için işlem güçlüğü nedenleriyle bu yöntem bulanık kümelerle birleştirilerek, 2020’de Boral vd. tarafından Bulanık MAIRCA (F-MAIRCA) yöntemi olarak literatüre kazandırılmıştır. Bulanık MAIRCA yönteminin işlem adımları şu şekildedir (Boral ve diğ. 2020);

Adım 1: n kriter sayısı, m alternatif sayısı ve k karar verici sayısı olmak üzere, yöntemin ilk adımında öncelikli olarak karar vericiler tarafından sözel değerlendirmeler ile alternatifler değerlendirilir ve değerlendirmelerin bulanık sayı karşılıkları üzerinden başlangıç dilsel değerlendirme matrisi (DL), Eşitlik (3.28)’deki gibi hesaplanır.

$$D_L = \begin{pmatrix} L_{11}^1, & \dots L_{11}^k & L_{12}^1, & \dots L_{12}^k & \dots & L_{1n}^1, & \dots L_{1n}^k \\ L_{21}^1, & \dots L_{21}^k & L_{22}^1, & \dots L_{22}^k & \dots & L_{2n}^1, & \dots L_{2n}^k \\ \vdots & & \ddots & & & & \vdots \\ L_{m1}^1, & \dots L_{m1}^k & L_{m2}^1, & \dots L_{m2}^k & \dots & L_{mn}^1, & \dots L_{mn}^k \end{pmatrix} \quad (3.28)$$

Denklemdaki L_{mn}^k terimi, m sayıda alternatifin n sayıda kriter altında k sayıda karar verici tarafından dilsel olarak değerlendirildiğini ifade etmektedir.

Adım 2: Bulanık sayıların alternatiflerin derecelendirilmesinde kullanılmasıyla, tüm dilsel ifadeler (3.29) eşitliğinde gösterildiği gibi bulanık sayılarla değiştirilir.

$$\tilde{D}^1 = \begin{pmatrix} \tilde{A}_{11}^{(1)} & \tilde{A}_{12}^{(1)} & \dots & \tilde{A}_{1n}^{(1)} \\ \tilde{A}_{21}^{(1)} & \tilde{A}_{22}^{(1)} & \dots & \tilde{A}_{2n}^{(1)} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1}^{(1)} & \tilde{A}_{m2}^{(1)} & \dots & \tilde{A}_{mn}^{(1)} \end{pmatrix}, \dots, \tilde{D}^k = \begin{pmatrix} \tilde{A}_{11}^{(k)} & \tilde{A}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{A}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{A}_{21}^{(k)} & \tilde{A}_{22}^{(k)} & \dots & \tilde{A}_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1}^{(k)} & \tilde{A}_{m2}^{(k)} & \dots & \tilde{A}_{mn}^{(k)} \end{pmatrix} \quad (3.29)$$

Adım 3: Eşitlik (3.30) referans alınarak bütünleşik karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \dots & \tilde{A}_{1n} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & \dots & \tilde{A}_{2n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & \dots & \tilde{A}_{mn} \end{pmatrix} \quad (3.30)$$

Bu denkleme göre $\tilde{A}_{11}, \tilde{A}_{11} = \frac{\tilde{A}_{11}^{(1)} + \tilde{A}_{11}^{(2)} + \dots + \tilde{A}_{11}^{(k)}}{k}$ şeklinde hesaplanır.

Adım 4: Karar vericinin bir alternatifin seçimi konusunda tarafsız olduğu anlamına gelen adımda, P_{A_i} alternatiflerinin seçimine göre tercihler tanımlanır. Yani herhangi bir alternatif eşit olasılıkla seçilebildiğinden, tercihler alternatiflerin her biri için (3.31) eşitliğindeki gibi ifade edilebilir.

$$P_{A_i} = \frac{1}{m}; \sum_{i=1}^m P_{A_i} = 1 \quad (3.31)$$

Adım 5: Bulanık teorik değerlendirme matrisini ifade eden $\tilde{T}PA$, alternatiflere göre yapılan tercihler (P_{A_i}) ile tanımlanan ağırlıkların çarpılması ile eşitlik (3.32)'deki gibi hesaplanır.

$$(\tilde{T}_{PA}) = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} \tilde{w}_1 & \frac{1}{m} \tilde{w}_2 & \dots & \frac{1}{m} \tilde{w}_n \\ \frac{1}{m} \tilde{w}_1 & \frac{1}{m} \tilde{w}_2 & \dots & \frac{1}{m} \tilde{w}_n \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{m} \tilde{w}_1 & \frac{1}{m} \tilde{w}_2 & \dots & \frac{1}{m} \tilde{w}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{t}_{p11} & \tilde{t}_{p12} & \dots & \tilde{t}_{pn1} \\ \tilde{t}_{p21} & \tilde{t}_{p22} & \dots & \tilde{t}_{pn2} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{pm1} & \tilde{t}_{pm2} & \dots & \tilde{t}_{pmn} \end{pmatrix} \quad (3.32)$$

Adım 6: Yöntemde zor hesaplamaların karmaşıklığını azaltmak ve sayısal gösterimin doğruluğunu arttırmak için, (3.33) eşitliğindeki gibi yeni tip normalizasyon tekniği kullanılır.

$$n_{ij}^l = \frac{a_{ij}^l}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^u)^2]}} \quad (3.33)$$

$$n_{ij}^m = \frac{a_{ij}^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^u)^2]}} \quad (3.34)$$

$$n_{ij}^u = \frac{a_{ij}^u}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^u)^2]}} \quad (3.35)$$

Adım 7: Bu adımda normalize karar matrisi öğeleri ile teorik hesaplama matrisi öğeleri çarpılarak, teorik hesaplama matrisinin ($\tilde{T}_{r_A}$) bulanık öğeleri Eşitlik (3.36)'daki gibi hesaplanır.

$$\tilde{T}_{r_A} = \begin{pmatrix} \tilde{t}_{r11} & \tilde{t}_{r12} & \dots & \tilde{t}_{rn1} \\ \tilde{t}_{r21} & \tilde{t}_{r22} & \dots & \tilde{t}_{rn2} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{rm1} & \tilde{t}_{rm2} & \dots & \tilde{t}_{rmn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{n}_{11} \otimes \tilde{t}_{p11} & \tilde{n}_{11} \otimes \tilde{t}_{p12} & \dots & \tilde{n}_{11} \otimes \tilde{t}_{pn1} \\ \tilde{n}_{21} \otimes \tilde{t}_{p21} & \tilde{n}_{22} \otimes \tilde{t}_{p22} & \dots & \tilde{n}_{n2} \otimes \tilde{t}_{pn2} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{n}_{m1} \otimes \tilde{t}_{pm1} & \tilde{n}_{m2} \otimes \tilde{t}_{p22} & \dots & \tilde{n}_{nm} \otimes \tilde{t}_{pn2} \end{pmatrix} \quad (3.36)$$

Adım 8: Bu aşamada, her alternatifiñ fiili ve teorik değeriñdirmesi arasındaki boşluk değeri her bir kritere göre yapılır ve toplam boşluk matrisi (3.37) eşitliği yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$g_{ij} = \sqrt{\frac{1}{3} [(\tilde{t}_{pij_l} - \tilde{t}_{rij_l})^2 + (\tilde{t}_{pij_m} - \tilde{t}_{rij_m})^2 + (\tilde{t}_{pij_u} - \tilde{t}_{rij_u})^2]} \quad (3.37)$$

Adım 9: Yöntemin son adımında ise, tüm alternatiflerin boşluk değeriñleri toplanarak kriter fonksiyonlarının nihai değeriñleri Eşitlik (3.38)'e göre hesaplanır, bu işlem her bir kriter için yapılır. Elde edilen değeriñler sıralanır ve en düşük boşluk değeriñine sahip alternatif, en iyi alternatif olarak belirlenir.

$$Q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (3.38)$$

4. LİTERATÜR

Çalışmanın bu bölümünde konuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Tedarikçi seçimi literatürü oldukça fazla çalışmayı içermesi sebebiyle bu bölümde tedarikçi seçimi problemini tez çalışmasında kullanılan yöntemler (Bulanık FUCOM, Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA) ile ele alan çalışmalar üzerine odaklanılmıştır.

4.1 Bulanık FUCOM Yöntemini Kullanan Çalışmalar

Kriter ağırlıklandırmada kullanılan ve ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemlerinden biri olan tam tutarlılık yöntemi Bulanık FUCOM, Pamučar ve diğ. (2020) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Literatürde Bulanık FUCOM (Tam Tutarlılık Yöntemi) farklı çalışmalara entegre edilmiştir ve yapılan çalışmalarda diğer kriter ağırlıklandırma yöntemlerine göre daha tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Tedarikçi seçimi konusunda literatürde Bulanık FUCOM yöntemi ile ilgili oldukça az sayıda çalışma vardır genel olarak bu yöntem ile yapılan çalışmalar arasında; Pamučar ve Ecer (2020)'in yeşil tedarikçilerin değerlendirilmesi, Pamučar ve diğ. (2020)'nin Bulanık FUCOM ve D'Bonferroni yöntemiyle İstanbul'un kentsel hareketlilik sistemi üzerine bir vaka çalışması, Xu ve diğ. (2020)'nin TOPSIS ve Bulanık FUCOM yöntemleri kullanılarak portföy seçimi üzerine bir çalışması, Simic ve diğ. (2020)'nin CRITIC (Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önemi), DEA (Veri Zarflama Analizi), Bulanık FUCOM ve Bulanık MARCOS (Alternatiflerin Ölçülmesi ve Uzlaşma Çözümüne göre Sıralanması) yöntemlerini kullanarak iki şeritli yolların belirli bölümünün güvenlik seviyesinin belirlenmesi üzerine çalışması, Vukasovic ve diğ. (2021)'nin Bulanık FUCOM ve Bulanık EDAS (Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme) yöntemlerini kullanarak envanter sıralaması üzerine çalışması, Pamučar ve diğ. (2021)'nin Bulanık FUCOM ve Bulanık MARCOS yöntemlerini kullanarak alternatif yakıtlı araçların değerlendirilmesi, Taşkent ve Delice (2021)'nin Dekoratif taş sağlayıcısı bir firmanın mevcut tedarikçilerinin değerlendirilmesi için Bulanık FUCOM yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi, Atçı ve Atalay (2021)'in internet sitesi tasarlama çalışması için Bulanık FUCOM

yöntemi ile belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması, Demir ve diğ. (2022)'nin sürdürülebilir kentsel hareketlilik planları kapsamında kentsel ulaşımın neden olduğu kirliliği azalmaya yönelik ele aldıkları problemde önlemlerin ve politikaların Bulanık FUCOM ve Bulanık CoCoSo (Birleşik Uzlaşma Çözümü) yöntemleri ile belirlenmesi, Saha ve diğ. (2022)'nin sağlık hizmeti atığı (HCW) yönetimini optimum seviyede yaparak, sağlık çalışanının yapacağı verimli tedaviyi belirlemek üzere ele aldıkları problemde, tam tutarlılık yöntemi (FUCOM) ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve q-ROFI ile çift normalleştirme tabanlı çoklu toplama (DNMA) yöntemi ile alternatiflerin sıralanması, Khosravi ve diğ. (2022)'nin hastaneler için en uygun organizasyon yapısının seçilmesi üzerine ele aldığı problemde kriter ağırlıklarının Bulanık FUCOM ve alternatif sıralamalarının MARCOS yöntemi ile entegre olarak belirlenmesi, Khan ve diğ. (2022)'nin Pakistan'ın HC sektörü üzerine dayanıklılığa dayalı ele aldığı problemde esnek niteliklerin önceliklendirilmesi için Bulanık FUCOM, Bulanık QFD yöntemi ile esnek stratejilerin sıralanması,

Majumder (2023)'in Trapezoidal Bulanık-Tam Tutarlılık Yaklaşımı-Tek Değerli Nötrozofik Bulanık-Ölçüm Alternatiflerini ve Uzlaşma Çözümü-Grup Veri İşleme (TrF-FUCOM-SVNF-MARCOS GMDH) yöntemine göre sıralamayı yeni bir sübjektif ağırlıklandırma hibrit yöntemi olarak tanıtmayı amaçlayan modelinde kriter ağırlıklarını belirlemek için TrF-FUCOM yöntemi, SVNF-MARCOS yöntemleri ile alternatiflerin sıralaması yapılarak su arıtma tesisinin verimlilik analizinde çok önemli olan unsurunu belirlemeye yönelik çalışması, Gölcük ve diğ. (2023)'nin bir risk değerlendirme modeli için Bulanık FUCOM ve grafik teori-matris yaklaşımını bulanık ortamda birleştirerek risk faktörlerinin ağırlıklarının belirlenmesi çalışmaları örnek olarak gösterilebilir.

4.2 Bulanık EDAS Yöntemini Kullanan Çalışmalar

ÇKKV yöntemlerinden biri olan EDAS yöntemi, Ghorabae ve arkadaşları tarafından çok kriterli envanter sınıflandırması problemi için geliştirilen bir metodolojidir (Ghorabae ve diğ. 2015). Bulanık EDAS yöntemi ise ilk kez Ghorabae ve diğ. (2016) tarafından deterjan üreticisi bir firmanın tedarikçi seçim probleminde kullanılmıştır. Bulanık EDAS yöntemi literatüre yakın zamanda kazandırılmasına

rağmen farklı yöntemlerle bütünleşik kullanılarak çeşitli çalışmalara entegre edilmiştir. Bulanık EDAS yöntemi kullanılarak literatüre kazandırılan çalışmalar şu şekildedir;

Kahraman ve diğ. (2017), sezgisel bulanık sayıları kullanarak katı atık bertaraf sahası için belirlenen alternatifleri Bulanık EDAS yöntemine göre değerlendirmişlerdir. Ghorabae ve diğ. (2017), çevresel etkenlerin de gözetilmesiyle uygulanan bir tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemini, aralık değerli tip-2 bulanık sayılara entegre ederek EDAS yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Stanujkic ve diğ. (2017), bir inşaat projesi için en uygun müteahhit seçim probleminde Bulanık EDAS yöntemini Gri Sistem teorisi ile genişleterek modeli uygulamışlardır. Bayhan (2018), yeşil binalarda ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri için yamuk bulanık sayılar kullandığı tedarikçi seçim problemini Bulanık EDAS modeli ile değerlendirmiş ve çalışmadaki altı alternatif yöntem sonuçlarına göre sıralamıştır. Ilieva ve diğ. (2018), EDAS ve Bulanık EDAS yöntemlerini bütünleşik kullanarak stok analizi problemini ele almışlardır. Stevic ve diğ. (2018), çalışmalarında Bulanık EDAS yöntemini yamuk bulanık sayılar ile kullanarak, uygun pvc doğrama üreticisinin 7 alternatif üzerinden seçimini yapmıştır. Kahraman ve diğ. (2018), tereddütlü bulanık EDAS yöntemini kullanarak hastane seçim problemini ele almışlardır. Ghorabae ve diğ. (2018), farklı zaman periyotlarında değişen karar matrisleri üzerinden modelledikleri Bulanık EDAS yöntemini üçgen bulanık sayılar ile kullanarak alternatiflerin değerlendirmesini Bulanık EDAS yöntemi ve TOPSIS yöntemi ile yapmışlardır. Sonuçları ve zaman periyotları için korelasyon katsayılarını her iki yöntem için kıyaslamışlardır. Zhao ve diğ. (2018), bir altın madeninde daha temiz üretim yöntemi için durumsal bulanık EDAS ve ELECTRE yöntemlerini birlikte kullandıkları çalışmalarında alternatiflerin değerlendirmesini yapmışlardır. Liu ve diğ. (2018), bir işletmenin beş yıllık dönem planlaması problemi için proje alternatiflerinin değerlendirilmesinde tereddütlü bulanık küme teorisi ile EDAS yöntemini beraber kullandıkları bir çalışma ortaya koymuşlardır. Demircan ve Tunç (2019), toplu taşımada müşteri memnuniyeti verisine bağlı olarak verilen hizmeti geliştirmeye dayalı çalışmalarında aralık değerli tip-2 bulanık EDAS yöntemini kullanmışlardır.

Stević ve diğ. (2019), Bulanık EDAS ve Bulanık AHP yöntemlerini kullanarak plastik torba ve folyo üretimi yapan bir işletme için uygun tedarikçi seçim problemini

ele almışlardır. Hasheminasab ve diğ. (2019), çalışmalarında Bulanık EDAS ve Bulanık DELPHI yöntemlerini kullanarak patlamaya dayanıklı cephe malzemeleri üzerine ele aldıkları problemde, cephe malzemelerinin değerlendirilmesini yapmışlardır. Bayrakdaroğlu ve Kundakcı (2019), Denizli ilinde faaliyet gösteren bir firmanın Ar-Ge merkezinde proje seçim problemini için Bulanık EDAS yöntemi kullanılarak belirlenen alternatifler üzerinden uygun proje seçimi için çözüm geliştirilmeye çalışılmıştır.

Zhang ve diğ. (2019), yeşil tedarikçi seçim problemi için EDAS yöntemini durumsal bulanık sayılar ile modelleyerek alternatiflerin değerlendirilmesini yapmışlardır. Vesković ve diğ. (2020), çalışmalarında demiryolu operatörün ve yolcu iş dengesi problemi için en iyi çözümün belirlenmesinde Bulanık EDAS ve Bulanık PIPRECIA yöntemlerini kullanmışlardır. Ulutaş ve Yürüyen (2020), askeri araç&gereç üretimi yapan bir fabrikada üçüncü parti lojistik (3PL) firması seçim problemi için, kriter ağırlıklandırmada Bulanık AHP ve uygun lojistik firmasının seçiminin yapılması için Bulanık EDAS yöntemlerini kullanmışlardır. Li ve Wang (2020), kablosuz algılayıcı ağların hizmet kalitesinin değerlendirilmesi probleminde aralık değerli sezgisel bulanık kümeler ile genişleterek Bulanık EDAS ve CRITIC yöntemlerini kullanmış ve algoritmayı göstermek için kablosuz sensör ağlarının hizmet kalitesini değerlendirmek için karşılaştırmalı analizler yapmışlardır. Demirtaş ve diğ. (2021), politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, yasal ve çevresel (PESTLE) boyutları dikkate alınarak en verimli yenilenebilir enerji tüketimini Bulanık EDAS yöntemi ile sıralamışlardır.

Jana ve Pal (2021), yol yapım şirketinin projesinde verimliliği sağlamak üzere ele aldıkları modelde Bulanık EDAS yöntemini iki kutuplu bulanık sayılarla entegre kullanarak gelişmiş sistemleri bazı operatörlerle karşılaştırmayı hedeflemişlerdir. Liu ve diğ. (2021), Pisagor Bulanık EDAS yaklaşımı kullanarak bir imalat sektöründe sürdürülebilir döngüsel tedarikçi seçimi ve değerlendirmesini ele almışlardır. Le ve Nhieu (2022), Vietnam imalat endüstrisinde Covid-19 Sonrası üretim stratejilerinin etkilerini araştırmak için iki aşamalı bir çerçeve geliştirmeyi amaçladıkları modelde Sıralı Öncelik Yaklaşımı (OPA) ile Bulanık EDAS yöntemlerini ilk kez birleştirerek kullanmışlardır. Çalışmada OPA yöntemi ile pandeminin olumsuz etkileri tespit edilmiş ve ağırlıklandırılmış, daha sonra üretim stratejileri Fuzzy EDAS yöntemi

kullanılarak kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Deveci ve diğ. (2022), yük akışkanlığı ölçüm alternatiflerine öncelik vermek için önerdikleri entegre karar modelinde, kriterlerin ağırlıklarını bulmak için Dombi normlarına dayalı Toplama Ağırlıklarının Logaritmik Metodolojisi (LMAW) yöntemini kullanılmıştır, akışkanlığı ölçmek için nakliye faaliyetlerini Metaverse'e entegre etmek ve mevcut veriler aracılığıyla akışkanlığı ölçmek için belirlenen üç alternatifin değerlendirilmesi Bulanık EDAS yöntemi ile yapılmıştır. Güneri ve Deveci (2023), savunma sanayinde tedarikçi seçimi probleminde Delphi yöntemi ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Uzmanlarca belirlenen dört alternatifin değerlendirilmesi için ise q-rung orthopair bulanık küme tabanlı EDAS yaklaşımı uygulanmıştır. Halder ve diğ. (2023), C-ortalama kümeleme ve bulanık EDAS yöntemleri ile bir hidrojeolojik havzada tarımsal gelişme için yeraltı suyu sulama uygunluğunu ve önceliklendirmeyi değerlendirmişlerdir.

4.3 Bulanık MAIRCA Yöntemini Kullanan Çalışmalar

MAIRCA yöntemi 2014 yılında Pamučar tarafından geliştirilmiştir. Bu metodoloji ideal ve deneysel oranlar arasındaki boşluğun hesaplanmasına dayanmaktadır. Elde edilen sonuçlardan, en düşük boşluk değerine sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak belirlenmektedir (Gigović ve diğ. 2016). Literatürde sıkça kullanılan diğer yöntemlere nazaran daha yüksek tutarlılık sunmakta ve oldukça kolay işlem hesaplamaları vardır (Pamuçar ve diğ. 2017^a, Pamučar ve diğ. 2018^b). Yöntemin diğer yöntemlerle birleştirilebilir olması ve kolay bir matematiksel algoritmaya sahip olması nedeniyle bulanık sayılara entegre edilerek Bulanık MAIRCA yöntemi olarak literatüre kazandırılmıştır (Boral ve diğ. 2020). Bulanık MAIRCA yöntemi ile ilgili literatüre kazandırılan çalışmalar oldukça azdır ve günümüze doğru yapılan çalışmalara örnek olarak;

Pamuçar ve diğ. (2019)'nin su engellerini aşmak için ideal iniş operasyon noktası seçimi üzerine ele aldıkları problemde Aralık-Tip Bulanık kaba küme tabanlı MAIRCA model önerisi, Adar ve Delice (2019)'nin medikal atık yönetimi için gerekli olan teknoloji seçiminde uyguladıkları tereddütlü bulanık dilsel değerlendirme kriterli MAIRCA ve tereddütlü bulanık dilsel değerlendirme kriterli MAIRCA melez model

önerisi, Gül ve Ak (2020)'ın Bulanık AHS, Bulanık MAIRCA ve Bulanık FMEA'nın birlikte kullanıldığı bir model önerisi ile risk değerlendirme problemi için ele aldıkları sayısal uygulama, Boral ve diğ. (2020)'nin Bulanık MAIRCA ve Bulanık BWM yöntemleri ile insan sağlığı ve çevre açısından mesleki risklerin değerlendirilmesi üzerine ele aldıkları karar modeli, Pamučar ve diğ. (2020)'nin enerji depolama termolojilerinin önceliklendirilmesi için ele aldıkları Dombi ağırlıklı geometrik ortalama tabanlı Hibrid yamuksal nütrosifik bulanık sayılar ile entegre edilmiş MAIRCA model önerisi, Boral ve diğ. (2020)'nin Risk tabanlı sürdürülebilir üretim stratejilerinin önceliklendirilmesi için Aralıklı Tip-2, DEMATEL ve değiştirilmiş Bulanık MAIRCA model önerisi, Gül ve diğ. (2021)'nin Bulanık BWM ve Bulanık MAIRCA yöntemleri ile Fine-Kinney tabanlı risk değerlendirmesi çalışması, Ayadi ve diğ. (2021)'nin sürdürülebilir lojistik platformu konum seçimi problemi için Melez Bulanık FUCOM, Bulanık MAIRCA ve Bulanık PROMETHEE model önerisi, Mestanza ve Bakhat (2021)'in covid 19 salgını sonrası İspanyol turizmini durma noktasına getirmesini doğrulayan ve aşırı turizmin yerel halk üzerindeki etkisini nicel olarak ölçmeyi hedefleyen çalışmasında kullandıkları Bulanık AHP ve Bulanık MAIRCA model önerisi, Zhu ve diğ. (2021)'nin biyolojiden ilham alan tasarım için biyolojik ilhamın değerlendirilmesi için bulanık kaba sayılara dayalı entegre bir DEMATEL-MAIRCA model önerisi, Ecer ve diğ. (2022)'nin endüstri 4.0 çağında yatırım kararları için kripto para birimlerinin değerlendirilmesi için Borda sayım tabanlı sezgisel bir Bulanık küme uzantılarının EDAS-MAIRCA-MARCOS yöntemleri ile entegre olarak kullanıldığı çalışmada, yatırım açısından en uygun ve en yüksek piyasa değerine sahip on beş kripto para birimlerini belirlemek üzere geliştirdikleri çalışma, Ecer (2022)'in dünyanın önde gelen otoriterleri tarafından onaylanan beş covid aşısının değerlendirilmesi için sezgisel bulanık MAIRCA (IF-MAIRCA) yöntemi ile ele aldığı uygulama önerisi, Bozanic ve diğ. (2023)'nin Savunma sisteminde optimal strateji seçim sürecinin iyileştirilmesi problemi için sıralanmış kriterler arasındaki ilişki (DIBR) yöntemi ve bulanık sayılara entegre edilmiş MAIRCA model önerisi, Wieckovski ve diğ. (2023)'nin bir pil tedarikçisi seçim problemi için belirlenen alternatiflerin değerlendirilmesinde bulanık ortama entegre edilerek kullanılan ARAS,EDAS, MAIRCA,TOPSIS,VIKOR yöntemleri ile uygulama önerisi, Narayanamoorthy ve diğ. (2023)'nin LDHF-SOWIA-MAIRCA

yöntemleri ile sürdürülebilir enerji depolama sistemlerinin değerlendirilmesi için önerdikleri bir bulanık karar verme yaklaşımı, çalışmalara örnek olarak verilebilir.

4.4 Literatür Değerlendirmesi

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Bulanık FUCOM yönteminin diğer kriter ağırlıklandırma yöntemlerine göre daha tutarlı sonuçlar vermesi ve bu yöntem ile ilgili oldukça az sayıda çalışma olması sebebiyle, bu çalışmada kriter ağırlıklandırma için bu yöntem tercih edilmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesi için de, literatürde oldukça yaygın kullanılan Bulanık EDAS yöntemi ile literatürde oldukça az çalışmaya sahip olan ve büyük işlem kolaylığı sağlayan Bulanık MAIRCA yöntemleri bu yönleri ile çalışmada tercih sebebi olmuştur. Hesaplama yöntemleri birbirinden oldukça farklı olan bu iki yöntem bütünleşik kullanılarak ve sonuçları kıyaslanarak literatüre farklı ve yeni bir çalışma kazandırılması hedeflenmiştir.

5. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde, Denizli’de bakır tel üretim sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin, alacağı trafo bakım hizmetine dair tedarikçi seçim problemine çözüm bulunması amaçlanmaktadır. Müşteri taleplerine göre çok farklı özellik ve çaplarda bakır tel üretiminin yapıldığı işletmede makine parkuru oldukça geniştir. Enerjinin verimliliği ve sürdürülebilirliği için şirkette planlı ve periyodik bakım kapsamında her yıl 16 adet güç trafolarının bakımları yapılmaktadır. İşletmedeki trafo sayısının oldukça fazla olması ve trafoların kapsam itibarıyla risk arz eden kritik bir elektriksel ekipman olması efektif bakım ihtiyacını doğurmaktadır. Bu nedenle şirket yönetim grubu, bakım hizmeti alacağı ideal tedarikçinin seçimine büyük özen göstermektedir. Ürün, ekipman ve hizmet alımlarında farklı tedarikçilerle çalışmakta olan işletme, uzun yıllar boyunca sektörde bulunmasıyla çoğu tedarikçisinin ana müşterisi konumunda yer almaktadır. Ayrıca hem yurt içi hem de yurt dışı pazarında önemli bir konuma sahiptir.

Söz konusu trafoların bakımı için şirketin satınalma, enerji ve bakım departmanlarında çalışan, yetkili ve üst düzey yöneticilerden oluşan uzman bir ekip, görüşleri ile sürece yön vermiştir. Bakım çalışmaları için alınacak hizmet tedarikçisinin kapsamı, kriterlerin tespiti ve derecelerini belirlemek adına, alanında uzman bu ekibin ortak görüşleri çalışmada karar verici olarak yer almaktadır. Problemin modellenmesi ve daha efektif sonuçlara ulaşılabilmesi için, bulanık küme teorisi uygulanarak yöntemlerde üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Problemin amacı tanımlandıktan sonra ana kriterler belirlenmiştir. Bahsi geçen uzman ekip tarafından bakım çalışmaları, tedarikçi seçimi ve şirketin çalışma şartları göz önünde bulundurularak yüksek öneme sahip kriterler belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterler önem derecesine göre sıralanarak sözel değerlendirmeleri yapılmıştır. Sözel değerlendirmelerin üçgen bulanık sayı karşılıkları belirlenerek sayısallaştırılması yapılmıştır (Tablo 4.2).

İşletme, bakım hizmetini üstenecek olan 5 firmadan (A1, A2, A3, A4, A5) teklif almıştır. Gerek hizmet, gerek ürün alımlarında bu tedarikçilerden bazıları ile şirket, önceden çalışmıştır. Tedarikçi seçimi için, uzman ekip tarafından belirlenen 8

kriterin ağırlıklarının elde edilmesi için Bulanık FUCOM yöntemi uygulanmıştır. Alternatiflerin karşılaştırılması için Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemleri kullanılarak tedarikçi sıralaması yapılmış ve yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır. Bulanık FUCOM yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlenmesi Lingo 18 programı ile, Bulanık MAIRCA ve Bulanık EDAS yöntem çözümleri için Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

5.1 Kriterlerin Belirlenmesi

Uzman ekip tarafından, tedarikçi seçiminde sık kullanılan kriterler, bakım için önem arz eden kriterler şirketin çalışma koşulları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Kriterler belirlendikten sonra satınalma, bakım ve enerji departmanlarına mensup uzman ekip üyeleri ile bir dizi görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmeler sonucunda geçmiş bakım çalışmaları da referans alınarak kriterler ve açıklamaları aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

Tecrübeli teknik ekip (C_1): İşyeri tehlikeli sınıf grubunda olduğu ve yapılacak bakım risk arz ettiği için, bakımı yapacak teknik personellerin yeterli bilgi ve donanıma sahip olması temel beklentilerdendir.

İş Teslim Süresi (C_2): İşletmede trafo bakımları her sene yılbaşı tatili ve takip eden günlerde yapıldığı için, bakımın olabildiğince kısa sürede tamamlanıp (1-3 gün) sisteme tekrar enerji verilmesi gerekmektedir.

Tedarikçinin Güvenilirliği (C_3): Tedarikçinin hizmet geçmişinde geri bildirimleri iyi olan referanslarının olması. İlave olarak şartnamede belirtilen bütün hususlara bağlı kalarak bakımın en iyi şekilde yapılması.

Bakım Sonrası Destek (C_4): Yapılan bakım sonrasında yıl içerisinde trafo ve hücrelerde oluşabilecek sorunlara dair çözüm ve gerektiğinde saha servis hizmeti temel beklentiler arasındadır.

Ödeme Yöntemleri (C_5): Hizmet bedeli için ödeme kolaylığının olması tercih sebebidir.

Hizmet Bedeli (C₆): Bu bedel fabrika sınırları içerisinde bulunan 16 adet trafonun bakımı ve temizliği ile OG hücrelerinin analiz ve testleri için ödenen bedeldir.

Yılbaşı Tatilinde Çalışabilme Esnekliği (C₇): Bahsi geçen trafo bakımları fabrikanın üretim planını etkilememek adına yılbaşı tatili (yılbaşı öncesi ve sonrası günler de dahil) esas alınarak planlanmaktadır. Bu nedenle tedarikçi firmanın teknik bakım personellerin belirtilen günlerde çalışabilmesi temel beklentilerdendir.

Hizmet Sonrası Raporlama (C₈): Yapılan bakım sonrası detaylı test-analiz raporlarının şirkete gönderilmesi.

Tablo 5.1: Karar Vericinin Belirlediği Kriterler

Kod	Kriterler
C ₁	Tecrübeli teknik ekip
C ₂	İş Teslim Süresi
C ₃	Tedarikçinin Güvenilirliği
C ₄	Bakım Sonrası Destek
C ₅	Ödeme Yöntemleri
C ₆	Hizmet Bedeli
C ₇	Yılbaşı Tatilinde Çalışabilme
C ₈	Hizmet Sonrası Raporlama

5.2 Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde Tablo 5.1’de belirlenen kriterler karar verici tarafından değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkların elde edilebilmesi için Bulanık FUCOM yöntemi uygulanmıştır.

5.2.1 Bulanık FUCOM Yöntemi ile Ağırlıkların Belirlenmesi

Adım 1: Kriterlerin sıralanması

Bu çalışma için kullanılan karar kriterleri, tedarikçi seçimi için kapsamlı bir literatür taraması, efektif bakım gereklilikleri ve şirketin çalışma koşullarının dikkate alınmasıyla belirlenmiştir. Birden fazla uzmanın karar sürecine dahil edilmesindeki

amaç; alanında uzman kişilerin deneyimlerinden yararlanmak, çıkar çatışmalarını ve kişisel önyargıları en aza indirmektir. Seçilen uzmanların tümü YG (Yüksek Gerilim), trafo ve bakım alanında yeterli bilgi ve tecrübeye sahip yetkin kişilerdir. Uzmanlar karar kriterlerini kişisel düşünce ve tecrübeleri doğrultusunda fikir birliği ile önem düzeylerine göre sıralamışlardır. Kriterlerin en önemliden en az önemliye sıralanması aşağıdaki gibidir;

$$C_1 > C_2 > C_7 > C_3 > C_8 > C_4 > C_6 > C_5$$

Yukarıdaki sıralamaya göre, karar vericiler için en önemli kriterin “ (C1) Tecrübeli Teknik Ekip” kriteri olduğu görülmektedir.

Adım 2: Kriterlerin Karşılaştırılması

Kriterler sıralandıktan sonra ardışık olarak karşılaştırmaları yapılır. Karşılaştırma, en önemli kriteri ifade eden birinci sıradaki kriterle yapılır. Tablo 5.1 referans alınarak karar vericinin, kriterlerin önem derecelerine göre dilsel olarak değerlendirmesi ve bu değerlendirmelerin üçgen bulanık sayı karşılıkları Tablo 5.2’deki gibidir;

Tablo 5.2: Kriterlerin Dilsel Değerlendirilmeleri ve Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Dilsel Değişkenler	EÖ	DAÖ	OÖ	OÖ	OÖ	ÇÖ	KÖ	KÖ
Üçgen Bulanık Sayı	(1,1,1)	(2/3,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(5/2,3,7/2)	(7/2,4,9/2)	(7/2,4,9/2)

Kriterlerin birbirleriyle ardışık karşılaştırılmasından sonra, tüm kriterler için bulanık kriter anlamlılığını ifade eden $\varpi_{C_j(k)}$ değerleri belirlenir. Daha sonra Eşitlik 3.8’e göre kriterlerin karşılaştırmalı önceliği hesaplanır:

$$\varphi_{C_1/C_2} = \varpi_{C_2}/\varpi_{C_1} = (2/3, 1, 3/2)/(1,1,1) = (0.67,1,1.5)$$

$$\varphi_{C_2/C_7} = \varpi_{C_7}/\varpi_{C_2} = (3/2, 2, 5/2)/(2/3, 1, 3/2) = (1,2,3.75)$$

$$\varphi_{C_7/C_3} = \varpi_{C_3}/\varpi_{C_7} = (3/2, 2, 5/2)/(3/2, 2, 5/2) = (0.6,1,1.67)$$

$$\varphi_{C_3/C_8} = \varpi_{C_8}/\varpi_{C_3} = (3/2, 2, 5/2)/(3/2, 2, 5/2) = (0.6,1,1.67)$$

$$\varphi_{C8/C4} = \varpi_{C4}/\varpi_{C8} = (5/2, 3, 7/2)/(3/2, 2, 5/2) = (1, 1.5, 2.33)$$

$$\varphi_{C4/C6} = \varpi_{C6}/\varpi_{C4} = (7/2, 4, 9/2)/(5/2, 3, 7/2) = (1, 1.33, 1.8)$$

$$\varphi_{C6/C5} = \varpi_{C5}/\varpi_{C6} = (7/2, 4, 9/2)/(7/2, 4, 9/2) = (0.78, 1, 1.29)$$

Kriterlerin karşılaştırmalı önemine dayalı olarak, karşılaştırmalı anlamlılık vektörü Eşitlik 3.9'a göre şu şekilde oluşturulur:

$$\Phi = \begin{pmatrix} (0.67, 1, 1.5), (1, 2, 3.75), (0.6, 1, 1.67), (0.6, 1, 1.67), (1, 1.5, 2.33), (1, 1.33, 1.8), \\ (0.78, 1, 1.29) \end{pmatrix}$$

Adım 3: Optimum Nihai Ağırlıkların Belirlenmesi ve Matematiksel Modelin Kurulması

Kriterlerin bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerleri (3.10) ve (3.11) eşitliklerinde ifade edilen her iki koşulu sağlamalıdır. Buna göre nihai değerlerin birinci koşulu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w_{C1}/w_{C2} = (0.67, 1, 1.5), w_{K2}/w_{K7} = (1, 2, 3.75),$$

$$w_{C7}/w_{C3} = (0.6, 1, 1.67), w_{K3}/w_{K8} = (0.6, 1, 1.67),$$

$$w_{C8}/w_{C4} = (1, 1.5, 2.33), w_{K4}/w_{K6} = (1, 1.33, 1.8),$$

$$w_{C6}/w_{C5} = (0.78, 1, 1.29)$$

Daha sonra Eşitlik (3.11) uygulanarak, bulanık lineer modelin ikinci koşulu şu şekilde oluşturulur:

$$w_{C1}/w_{C7} = (0.67, 1, 1.5) \otimes (1, 2, 3.75) = (0.67, 2, 5.63)$$

$$w_{C2}/w_{C3} = (1, 2, 3.75) \otimes (0.6, 1, 1.67) = (0.6, 2, 6.25)$$

$$w_{C7}/w_{C8} = (0.6, 1, 1.67) \otimes (0.6, 1, 1.67) = (0.36, 1, 2.78)$$

$$w_{C3}/w_{C4} = (0.6, 1, 1.67) \otimes (1, 1.5, 2.33) = (0.66, 1.5, 3.89)$$

$$w_{C8}/w_{C6} = (1, 1.5, 2.33) \otimes (1, 1.33, 1.8) = (1, 2, 4.2)$$

$$w_{C4}/w_{C5} = (1, 1.33, 1.8) \otimes (0.78, 1, 1.29) = (0.78, 1.33, 2.31)$$

Tanımlanan kısıtlamalara dayalı olarak ağırlık katsayılarının bulanık optimal değerini belirlemek üzere aşağıdaki matematiksel model oluşturulur:

$\min \chi$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{\omega_2^l}{\omega_1^u} - 0.67 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_2^m}{\omega_1^m} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_2^u}{\omega_1^l} - 1.5 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_7^l}{\omega_2^u} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_7^m}{\omega_2^m} - 2 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_7^u}{\omega_2^l} - 3.75 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_3^l}{\omega_7^u} - 0.6 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_3^m}{\omega_7^m} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_3^u}{\omega_7^l} - 1.67 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_8^l}{\omega_3^u} - 0.6 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_8^m}{\omega_3^m} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_8^u}{\omega_3^l} - 1.67 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_4^l}{\omega_8^u} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_4^m}{\omega_8^m} - 1.5 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_4^u}{\omega_8^l} - 2.33 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_6^l}{\omega_4^u} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_6^m}{\omega_4^m} - 1.33 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_6^u}{\omega_4^l} - 1.8 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_5^l}{\omega_6^u} - 0.78 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_5^m}{\omega_6^m} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_5^u}{\omega_6^l} - 1.29 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_1^l}{\omega_7^u} - 0.67 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_1^m}{\omega_7^m} - 2 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_1^u}{\omega_7^l} - 5.63 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_2^l}{\omega_3^u} - 0.6 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_2^m}{\omega_3^m} - 2 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_2^u}{\omega_3^l} - 6.25 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_7^l}{\omega_8^u} - 0.36 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_7^m}{\omega_8^m} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_7^u}{\omega_8^l} - 2.78 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_3^l}{\omega_4^u} - 0.6 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_3^m}{\omega_4^m} - 1.5 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_3^u}{\omega_4^l} - 3.89 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_8^l}{\omega_6^u} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_8^m}{\omega_6^m} - 2 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_8^u}{\omega_6^l} - 4.2 \right| \leq \chi; \\ \left| \frac{\omega_4^l}{\omega_5^u} - 0.79 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_4^m}{\omega_5^m} - 1.33 \right| \leq \chi; \left| \frac{\omega_4^u}{\omega_5^l} - 2.31 \right| \leq \chi; \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} & (\omega_1^l + 4\omega_1^m + \omega_1^u)/6 + (\omega_2^l + 4\omega_2^m + \omega_2^u)/6 + (\omega_3^l + 4\omega_3^m + \omega_3^u)/6 + \\ & (\omega_4^l + 4\omega_4^m + \omega_4^u)/6 + (\omega_5^l + 4\omega_5^m + \omega_5^u)/6 + (\omega_6^l + 4\omega_6^m + \omega_6^u)/6 + \\ & (\omega_7^l + 4\omega_7^m + \omega_7^u)/6 + (\omega_8^l + 4\omega_8^m + \omega_8^u)/6 = 1; \end{aligned}$$

$$\omega_1^l \leq \omega_1^m \leq \omega_1^u; \omega_2^l \leq \omega_2^m \leq \omega_2^u; \omega_3^l \leq \omega_3^m \leq \omega_3^u; \omega_4^l \leq \omega_4^m \leq \omega_4^u;$$

$$\omega_5^l \leq \omega_5^m \leq \omega_5^u; \omega_6^l \leq \omega_6^m \leq \omega_6^u; \omega_7^l \leq \omega_7^m \leq \omega_7^u; \omega_8^l \leq \omega_8^m \leq \omega_8^u$$

$$\omega_1^l, \omega_2^l, \omega_3^l, \omega_4^l, \omega_5^l, \omega_6^l, \omega_7^l, \omega_8^l \geq 0$$

Bulanık doğrusal model, Lingo programı ile çözülerek maksimum tutarlılıktan sapma ile kriterlerin optimum değerleri elde edilmiştir. Bulanık ağırlık katsayıları ($\tilde{w}_j$) aşağıda verilmiştir.

$$\tilde{w}_j = \begin{pmatrix} 0.1144 & 0.2209 & 0.2209 \\ 0.1199 & 0.2155 & 0.2155 \\ 0.0410 & 0.1282 & 0.1315 \\ 0.0443 & 0.0952 & 0.0952 \\ 0.0589 & 0.1024 & 0.1068 \\ 0.0423 & 0.0853 & 0.0853 \\ 0.0465 & 0.1095 & 0.1095 \\ 0.0541 & 0.1367 & 0.1367 \end{pmatrix}$$

Kriterler sıralandıktan sonra ardışık olarak karşılaştırmaları yapılır. Karşılaştırma, en önemli kriteri ifade eden birinci sıradaki kritere göre yapılır. Bulanık ağırlık katsayılarına durulaştırma uygulanarak net ağırlıklar,

$w_j = (0.2031, 0.1995, 0.1142, 0.0867, 0.0959, 0.0782, 0.0990, 0.1230)$ olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler sırasıyla kriterlerin net ağırlık katsayılarını ifade etmektedir. En büyük net ağırlık değeri olan ‘0.2031’ değeri ile C_1 kriteri en önemli kriterdir.

5.3 Alternatiflerin Belirlenmesi

Tedarikçi seçiminde alternatiflerin değerlendirilmesi için Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemleri de kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Alınacak olan bakım hizmeti için 5 tedarikçi değerlendirilmiştir. Kriterler içinde C_6 maliyet kriteri, diğer kriterler ise fayda kriterleridir. Alternatiflerin değerlendirilmesi, alanında uzman bir ekipten oluşan karar verici tarafından gerçekleştirilmiştir. Alternatiflerin belirlenmesinde kullanılan her iki yöntemde de üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Yöntemlerde, alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılan sözel değişkenler ve üçgen bulanık sayı karşılıkları Tablo 5.3’te gösterilmiştir. Her bir kriter için alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler Tablo 5.4, bu değişkenlerin üçgen bulanık sayı karşılıklarını gösteren tablo, Tablo 5.5’deki gibidir.

Tablo 5.3: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel Değişkenler ve Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları (Chen 2000)

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları
Çok Düşük (ÇD)	(0,0,1)
Düşük (D)	(0,1,3)
Orta Düşük (OD)	(1,3,5)
Orta (O)	(3,5,7)
Orta Yüksek (OY)	(5,7,9)
Yüksek (Y)	(7,9,10)
Çok Yüksek (ÇY)	(9,10,11)

Tablo 5.4: Alternatiflerin Kriterlere Göre Sözel Değişkenler ile Değerlendirilmesi

		Alternatifler				
		A1	A2	A3	A4	A5
Kriterler	C1	ÇY	Y	Y	Y	ÇY
	C2	ÇY	ÇY	Y	Y	Y
	C3	ÇY	ÇY	Y	ÇY	ÇY
	C4	OY	Y	OY	O	Y
	C5	OY	Y	OY	Y	Y
	C6	ÇY	ÇY	Y	Y	Y
	C7	OY	OY	Y	OY	Y
	C8	Y	OD	OY	OY	Y

Tablo 5.5: Alternatiflerin Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları

		Alternatifler				
		A1	A2	A3	A4	A5
Kriterler	C1	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
	C2	(9,10,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)
	C3	(9,10,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)
	C4	(5,7,9)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,10)
	C5	(3,5,7)	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)
	C6	(9,10,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)
	C7	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)
	C8	(7,9,10)	(1,3,5)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,10)

Tedarikçi seçiminde alternatiflerin değerlendirilmesi için Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemleri de kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.3.1 Bulanık EDAS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Uygulamada kullanılan kriterler Bölüm 5.1’de belirlenmiş, alternatifler ise Bölüm 5.3’te tanımlanmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan üçgen

bulanık sayı ve karşılıkları ile kriterlerin sözel değişkenler ile değerlendirilmesi için Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 kullanılmıştır. Tablo 5.6’de gösterilen kriterlerin ağırlıkları ise Bulanık FUCOM yöntemi ile elde edilmiştir. Karar verici tarafından değerlendirilen alternatiflerin bulanık değerlerinin olduğu birleştirilmiş karar matrisi Tablo 5.7’deki gibidir. Birleştirilmiş karar matrisi kullanılarak her kriter için alternatiflerin ortalama çözüm matrisi ve matris değerleri Eşitlik (3.17) ve (3.18) yardımıyla elde edilmiştir. Daha sonra, ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) Eşitlik (3.19) ve Eşitlik (3.20), matrisin ortalama değere olan pozitif ve negatif uzaklık değerleri, tüm alternatifler için (3.21) ve (3.22) eşitlikleri yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler Tablo 5.8 ve Tablo 5.9’da görülmektedir. Ardından, Eşitlik (3.23) ve (3.24)’ten referansla, uzaklık değerleri kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış pozitif ve negatif uzaklıklar hesaplanmıştır. (3.25) ve (3.26) eşitlikleri kullanılarak uzaklık değerleri normalize edilmiştir. Son aşamada ise, Eşitlik (3.27) yardımıyla normalize ağırlıklı uzaklık değerleri oluşturularak, her alternatif için değerlendirme skoru hesaplanmıştır. Elde edilen tüm bu değerler Tablo 5.10’da sunulmuştur. Tablo 5.10’un son sütunundaki durulaştırılmış değerlere bakıldığında alternatifler $A5 > A1 > A2 > A4 > A3$ şeklinde sıralanmaktadır. Bu sıralamaya göre, A5 alternatifi tedarikçi olarak seçilecek en uygun alternatiftir.

Tablo 5.6: Bulanık Fucom Yöntemi ile Elde Edilen Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlıkları		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	0.114	0.221	0.221
C2	0.120	0.216	0.216
C3	0.041	0.128	0.132
C4	0.044	0.095	0.095
C5	0.059	0.102	0.107
C6	0.042	0.085	0.085
C7	0.047	0.110	0.110
C8	0.054	0.137	0.137

Tablo 5.7: Birleştirilmiş Karar Matrisi

	C1			C2			C3			C4			C5			C6			C7			C8		
A1	9	10	10	9	10	10	9	10	10	5	7	9	3	5	7	9	10	10	5	7	9	7	9	10
A2	7	9	10	9	10	10	9	10	10	7	9	10	7	9	10	9	10	10	5	7	9	1	3	5
A3	7	9	10	7	9	10	7	9	10	5	7	9	5	7	9	7	9	10	7	9	10	5	7	9
A4	7	9	10	7	9	10	9	10	10	3	5	7	7	9	10	7	9	10	5	7	9	5	7	9
A5	9	10	10	7	9	10	9	10	10	7	9	10	7	9	10	7	9	10	7	9	10	7	9	10

Tablo 5.8: Tüm Alternatifler için Ortalamaya Pozitif Uzaklık Değerleri (PDA)

	C1			C2			C3			C4		
A1	-0.11	0.06	0.24	-0.11	0.06	0.24	-0.10	0.02	0.15	0.00	0.00	0.00
A2	0.00	0.00	0.00	-0.11	0.06	0.24	-0.10	0.02	0.15	-0.27	0.22	0.63
A3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.02	0.15	0.00	0.00	0.00
A5	-0.11	0.06	0.24	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.02	0.15	-0.27	0.22	0.63
	C5			C6			C7			C8		
A1	0.00	0.00	0.00	0.86	1.01	1.06	0.00	0.00	0.00	-0.23	0.29	0.72
A2	-0.29	0.16	0.55	0.86	1.01	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A3	0.00	0.00	0.00	0.84	1.02	1.08	-0.31	0.16	0.54	-0.52	0.00	0.58
A4	-0.29	0.16	0.55	0.84	1.02	1.08	0.00	0.00	0.00	-0.52	0.00	0.58
A5	-0.29	0.16	0.55	0.84	1.02	1.08	-0.31	0.16	0.54	-0.23	0.29	0.72

Tablo 5.9: Tüm Alternatifler için Ortalamaya Negatif Uzaklık Değerleri (NDA)

	C1			C2			C3			C4		
A1	0.86	1.01	1.06	0.86	1.01	1.06	0.90	1.02	1.02	0.74	1.01	1.23
A2	0.84	1.02	1.08	0.86	1.01	1.06	0.90	1.02	1.02	0.77	0.98	1.14
A3	0.84	1.02	1.08	0.84	1.02	1.08	0.89	1.02	1.04	0.74	1.01	1.23
A4	0.84	1.02	1.08	0.84	1.02	1.08	0.90	1.02	1.02	0.74	1.01	1.23
A5	0.86	1.01	1.06	0.84	1.02	1.08	0.90	1.02	1.02	0.77	0.98	1.14
	C5			C6			C7			C8		
A1	0.75	1.01	1.19	-0.11	0.75	1.01	1.19	-0.11	0.75	1.01	1.19	-0.11
A2	0.79	0.99	1.12	-0.11	0.79	0.99	1.12	-0.11	0.79	0.99	1.12	-0.11
A3	0.75	1.01	1.19	0.00	0.75	1.01	1.19	0.00	0.75	1.01	1.19	0.00
A4	0.79	0.99	1.12	0.00	0.79	0.99	1.12	0.00	0.79	0.99	1.12	0.00
A5	0.79	0.99	1.12	0.00	0.79	0.99	1.12	0.00	0.79	0.99	1.12	0.00

Tablo 5.10: Ağırlıklandırılmış Toplam Uzaklıklar, Normalize Değerleri ve Değerlendirme Skorlar

	spj			snj			nspj			nsnj			asj			Kasj
A1	-0.01	0.16	0.31	0.39	1.02	1.15	-0.03	0.79	1.57	0.59	-0.09	-0.23	0.28	0.35	0.67	0.43
A2	-0.01	0.14	0.28	0.39	1.02	1.15	-0.05	0.70	1.40	0.59	-0.09	-0.23	0.27	0.31	0.59	0.39
A3	-0.01	0.10	0.23	0.39	1.02	1.14	-0.03	0.52	1.16	0.58	-0.09	-0.21	0.27	0.22	0.47	0.32
A4	-0.01	0.11	0.25	0.39	1.02	1.14	-0.07	0.53	1.25	0.58	-0.09	-0.21	0.26	0.22	0.52	0.33
A5	-0.04	0.20	0.44	0.39	1.01	1.11	-0.19	0.99	2.22	0.58	-0.08	-0.18	0.20	0.46	1.02	0.56

5.3.2 Bulanık MAIRCA Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Uygulamada kullanılan kriterler Bölüm 5.1’de belirlenmiş, alternatifler ise Bölüm 5.3’te tanımlanmıştır. Alternatiflerin her bir kriter için değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler ve bunların üçgen bulanık sayı karşılıkları Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’deki gibi tanımlanmıştır. İlk aşamada, dilsel değerlendirmelerin üçgen bulanık sayı karşılıklarına göre karar matrisi Tablo 5.11’deki gibi oluşturulmuştur. Alternatiflerin her biri için tercihler Eşitlik (3.31) yardımıyla elde edilir; bu durumda uygulamada alternatif sayısı beş olduğu için $PA_i = 0.20$ ’dir. Daha sonra kriter ağırlıkları ve alternatiflerin tercih değerleri çarpılarak teorik hesaplama matrisi oluşturulur. Bulanık teorik değerlendirme matrisi Eşitlik 3.32 kullanılarak Tablo

5.12'deki gibi elde edilir. Sonraki adımda, normalize edilmiş karar matrisi Eşitlik (3.33) kullanılarak Tablo 5.13'teki gibi, Bulanık gerçek değer matrisi ise Eşitlik (3.35) yardımıyla Tablo 5.14'deki gibi elde edilir. (3.35) ve (3.36) eşitliklerinden referansla, Tablo 5.15'de kriter fonksiyonlarının toplam boşluk değerleri elde edilmiştir. Mairca yönteminde Qi değerine yani en düşük boşluk değerine sahip olan alternatif en iyi alternatif olduğundan, alternatif sıralaması $A5 > A1 > A3 > A2 > A4$ olarak Tablo 5.16'daki gibi elde edilmiştir. Yöntem sonuçlarına göre en iyi alternatif A5 alternatifidir.

Tablo 5.11: Dilsel Değerlendirmelerin Üçgen Bulanık Sayı Karşılıklarına göre oluşturulan Karar Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	9 10 10	9 10 10	9 10 10	5 7 9	3 5 7	9 10 10	5 7 9	7 9 10
A2	7 9 10	9 10 10	9 10 10	7 9 10	7 9 10	9 10 10	5 7 9	1 3 5
A3	7 9 10	7 9 10	7 9 10	5 7 9	5 7 9	7 9 10	7 9 10	5 7 9
A4	7 9 10	7 9 10	9 10 10	3 5 7	7 9 10	7 9 10	5 7 9	5 7 9
A5	9 10 10	7 9 10	9 10 10	7 9 10	7 9 10	7 9 10	7 9 10	7 9 10

Tablo 5.12: Bulanık Teorik Değerlendirme Matrisi

	C1	C2	C3	C4
A1	0.041 0.041 0.041	0.040 0.040 0.040	0.023 0.023 0.023	0.017 0.017 0.017
A2	0.041 0.041 0.041	0.040 0.040 0.040	0.023 0.023 0.023	0.017 0.017 0.017
A3	0.041 0.041 0.041	0.040 0.040 0.040	0.023 0.023 0.023	0.017 0.017 0.017
A4	0.041 0.041 0.041	0.040 0.040 0.040	0.023 0.023 0.023	0.017 0.017 0.017
A5	0.041 0.041 0.041	0.040 0.040 0.040	0.023 0.023 0.023	0.017 0.017 0.017
wj	0,199	0,192	0,129	0,110
	C5	C6	C7	C8
A1	0.019 0.019 0.019	0.016 0.019 0.019	0.019 0.016 0.019	0.019 0.019 0.016
A2	0.019 0.019 0.019	0.016 0.019 0.019	0.019 0.016 0.019	0.019 0.019 0.016
A3	0.019 0.019 0.019	0.016 0.019 0.019	0.019 0.016 0.019	0.019 0.019 0.016
A4	0.019 0.019 0.019	0.016 0.019 0.019	0.019 0.016 0.019	0.019 0.019 0.016
A5	0.019 0.019 0.019	0.016 0.019 0.019	0.019 0.016 0.019	0.019 0.019 0.016
wj	0,091	0,059	0,130	0,086

Tablo 5.13: Bulanık Normalizasyon Karar Matrisi

	C1	C2	C3	C4
A1	0.254 0.283 0.283	0.254 0.283 0.283	0.245 0.272 0.272	0.171 0.240 0.308
A2	0.198 0.254 0.283	0.254 0.283 0.283	0.245 0.272 0.272	0.240 0.308 0.342
A3	0.198 0.254 0.283	0.198 0.254 0.283	0.190 0.245 0.272	0.171 0.240 0.308
A4	0.198 0.254 0.283	0.198 0.254 0.283	0.245 0.272 0.272	0.103 0.171 0.240
A5	0.254 0.283 0.283	0.198 0.254 0.283	0.245 0.272 0.272	0.240 0.308 0.342
	C5	C6	C7	C8
A1	0.098 0.164 0.230	0.254 0.098 0.164	0.230 0.254 0.098	0.164 0.230 0.254
A2	0.230 0.295 0.328	0.254 0.230 0.295	0.328 0.254 0.230	0.295 0.328 0.254
A3	0.164 0.230 0.295	0.198 0.164 0.230	0.295 0.198 0.164	0.230 0.295 0.198
A4	0.230 0.295 0.328	0.198 0.230 0.295	0.328 0.198 0.230	0.295 0.328 0.198
A5	0.230 0.295 0.328	0.198 0.230 0.295	0.328 0.198 0.230	0.295 0.328 0.198

Tablo 5.14: Bulanık Gerçek Değer Matrisi

	C1			C2			C3			C4		
A1	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011	0.011	0.006	0.006	0.006	0.003	0.004	0.005
A2	0.008	0.010	0.011	0.010	0.011	0.011	0.006	0.006	0.006	0.004	0.005	0.006
A3	0.008	0.010	0.011	0.008	0.010	0.011	0.004	0.006	0.006	0.003	0.004	0.005
A4	0.008	0.010	0.011	0.008	0.010	0.011	0.006	0.006	0.006	0.002	0.003	0.004
A5	0.010	0.011	0.011	0.008	0.010	0.011	0.006	0.006	0.006	0.004	0.005	0.006
	C5			C6			C7			C8		
A1	0.002	0.003	0.004	0.004	0.002	0.003	0.004	0.004	0.002	0.003	0.004	0.004
A2	0.004	0.006	0.006	0.004	0.004	0.006	0.006	0.004	0.004	0.006	0.006	0.004
A3	0.003	0.004	0.006	0.003	0.003	0.004	0.006	0.003	0.003	0.004	0.006	0.003
A4	0.004	0.006	0.006	0.003	0.004	0.006	0.006	0.003	0.004	0.006	0.006	0.003
A5	0.004	0.006	0.006	0.003	0.004	0.006	0.006	0.003	0.004	0.006	0.006	0.003

Tablo 5.15: Boşluk Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	0.030	0.029	0.017	0.013	0.016	0.011	0.015	0.017
A2	0.031	0.029	0.017	0.012	0.014	0.011	0.015	0.022
A3	0.031	0.030	0.017	0.013	0.015	0.012	0.014	0.019
A4	0.031	0.030	0.017	0.014	0.014	0.012	0.015	0.019
A5	0.030	0.030	0.017	0.012	0.014	0.012	0.014	0.017

Tablo 5.16: Nihai Değerler ve Sıralama

	Toplam	Sıralama
A1	0.14849	2
A2	0.15127	4
A3	0.15102	3
A4	0.15160	5
A5	0.14567	1

Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemlerine göre alternatiflerin sıralamaları yapıldığında her iki yöntemde de A5 en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Tablo 5.10 ve Tablo 5.16'daki alternatif değerleri referans alınarak her iki yöntemden elde edilen alternatif sıralamaları karşılaştırıldığında Tablo 5.17'deki gibi karşılaştırma tablosu elde edilmiştir.

Tablo 5.17: Alternatif Sıralamalarının Yöntem Sonuçlarına Göre Karşılaştırılması

	Bulanık Edas	Bulanık Mairca
A1	2	2
A2	3	4
A3	5	3
A4	4	5
A5	1	1

5.4 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi seçim ya da sıralama temelli uygulamalarda alternatiflere göre farklı durum varsayımlarının yapılması ile kapsamlı sonuçlara olanak sağlamaktadır. Kriterlerin değerlendirilmesi ve ağırlıklarının belirlenmesi alternatiflerin sıralamasını önemli ölçüde etkilediği için, farklı durumlar için ağırlıkların değişimi gözlemlenmelidir (Lee ve Chang 2018). Bu çalışmada, kriterlerdeki değişkenlikten dolayı alternatiflerin sıralamasının nasıl değiştiğini ortaya koymak için duyarlılık analizi yapılmıştır. Kriterlerin değişkenlikleri hesaplanırken sadece ana kriterlerin ağırlık değerleri değiştirilerek duyarlılık analizi yapılmıştır. Uygulanan duyarlılık analizi kapsamında kriter ağırlıkları Tablo 5.18'deki gibi 10 farklı durum için değerlendirilmiştir. İlk sekiz durum için sadece ilgili kriterin ağırlığı bir olup diğerleri sıfır olmuştur. Dokuzuncu durumda alternatif sayıları üzerinden eşit değerler atanacak şekilde kriter ağırlıkları eşit olarak alınmıştır. Son durumda ise işletme için en önemli iki ana kriter olan Tecrübeli teknik ekip ve İş teslim süresi için ağırlıklar yarı yarıya dağıtılıp diğer kriterler sıfır yapılmıştır.

Tablo 5.18: Duyarlılık Analizi Durum Tablosu

Kriterler	Kriter Ağırlıkları	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Tecrübeli Teknik Ekip (C1)	0.203	1	0	0	0	0	0	0	0	0.125	0.5
İş Teslim Süresi (C2)	0.200	0	1	0	0	0	0	0	0	0.125	0.5
Tedarikçi Güvenilirliği (C3)	0.114	0	0	1	0	0	0	0	0	0.125	0
Bakım Sonrası Destek (C4)	0.087	0	0	0	1	0	0	0	0	0.125	0
Ödeme Yöntemleri (C5)	0.096	0	0	0	0	1	0	0	0	0.125	0
Hizmet Bedeli (C6)	0.078	0	0	0	0	0	1	0	0	0.125	0
Bakım Ekibinin Yılbaşında Çalışabilmesi(C7)	0.099	0	0	0	0	0	0	1	0	0.125	0
Hizmet Sonrası Raporlama (C8)	0.123	0	0	0	0	0	0	0	1	0.125	0

Bu on durum altında alternatiflerin değerlendirilmesi her iki alternatif değerlendirme yöntemine entegre edilerek sonuçlar Bölüm 5.4.1 ve 5.4.2'deki gibi elde edilmiştir. Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemleri ile tüm durumlar için hesaplamalar yapılarak, elde edilen sonuçlar üzerinden alternatiflerin sıralaması yapılmıştır.

5.4.1 Bulanık EDAS Yöntemi ile Duyarlılık Analizi

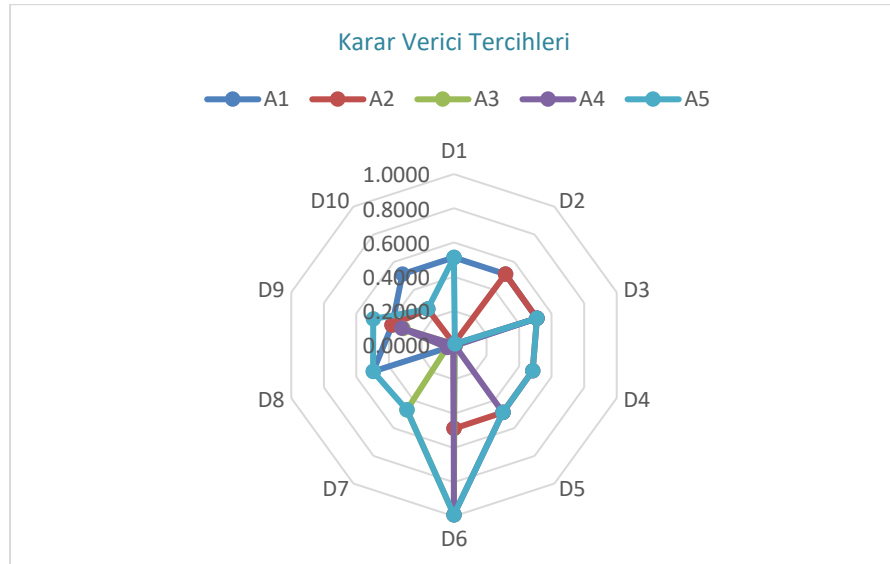
Bulanık EDAS yönteminde Tablo 5.18'deki kriter ağırlık oranları on durum için uygulandığında oluşan değerler, her bir durum ve her bir alternatif için Tablo 5.19'daki gibi elde edilmiştir ve Tablo 5.20 ise bu değerlere göre alternatiflerin sıralamasını ifade etmektedir. Tablo 5.19'daki tüm durum verileri üzerinden Şekil 5.1'deki radar grafiği oluşturulmuştur.

Tablo 5.19: Durumlara göre Bulanık EDAS ile elde edilen alternatif değerler

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
A1	0.5125	0.5125	0.5097	0.0045	0.0065	0.4875	0.0043	0.4972	0.3802	0.5125
A2	0.0090	0.5125	0.5097	0.4842	0.4861	0.4875	0.0043	0.0048	0.3814	0.2608
A3	0.0090	0.0090	0.0087	0.0045	0.0065	0.9910	0.4672	0.0413	0.3137	0.0090
A4	0.0090	0.0090	0.5097	0.0045	0.4861	0.9910	0.0043	0.0413	0.3220	0.0090
A5	0.5125	0.0090	0.5097	0.4842	0.4861	0.9910	0.4672	0.4972	0.4967	0.2608

Tablo 5.20: Duyarlılık Analizine göre elde edilen alternatif sıralamaları

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
A1	1	1	1	1	2	2	2	1	3	1
A2	2	1	1	2	1	2	2	3	2	2
A3	2	2	2	1	2	1	1	2	5	3
A4	2	2	1	1	1	1	2	2	4	3
A5	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2



Şekil 5.1: Bulanık EDAS Yöntemi Qi Değeri Duyarlılık Radar Grafiği

Bulanık EDAS yöntemine ait duyarlılık analizi incelendiğinde on durumun yedisinde Alternatif beş şirketi tedarik yapılması gereken en ideal şirket olarak

gözükmektedir. Alternatif 5'i takip eden en iyi tedarikçi Alternatif 1'dir. ve Alternatif 2 ise en iyi tedarikçinin ardından gelen tercih edilebilir tedarikçi firmalardır. Diğer alternatifler arasında belirgin fark gözlemlenmemiş, bu alternatifler on durumun hepsinde birbirleri arasında sıralamaları yer değiştirmektedir. Tüm durumlar neticesinde sıralamalar değerlendirildiğinde Alternatif 3, tedarikçiler içerisinde seçilmemesi gereken tedarikçi olarak yorumlanabilir.

5.4.2 Bulanık MAIRCA Yöntemi ile Duyarlılık Analizi

Bulanık MAIRCA yönteminde Tablo 5.18'deki kriter ağırlık oranları on durum için uygulandığında oluşan değerler, her bir durum ve her bir alternatif için Tablo 5.21'deki gibi elde edilmiştir. Bu verilere göre alternatif sıralamalarını ifade eden tablo da Tablo 5.22'deki gibidir;

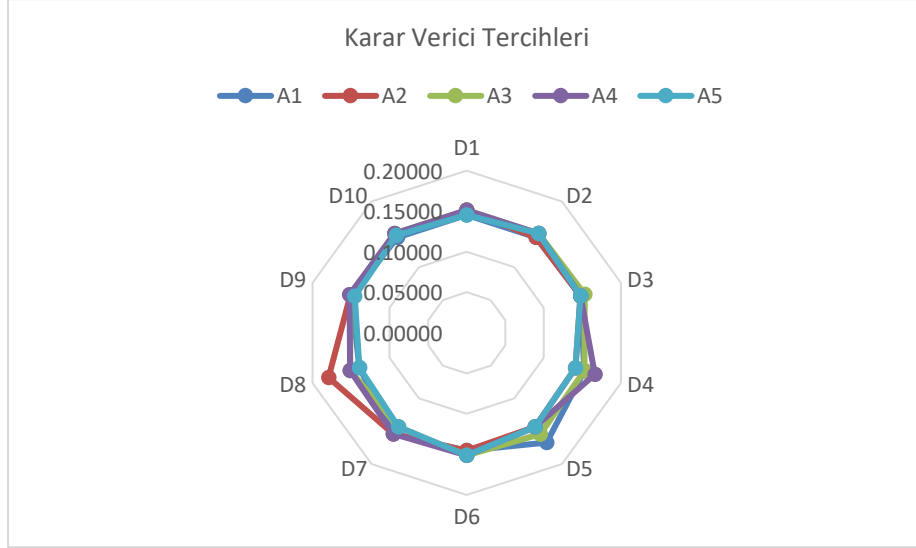
Tablo 5.21: Durumlara göre Bulanık MAIRCA ile elde edilen alternatif değerleri

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
A1	0.14539	0.14539	0.14748	0.15248	0.16752	0.14539	0.15434	0.13919	0.14964	0.14539
A2	0.15118	0.14539	0.14748	0.14091	0.14333	0.14539	0.15434	0.17922	0.15090	0.14828
A3	0.15118	0.15118	0.15304	0.15248	0.15442	0.15118	0.14324	0.15110	0.15098	0.15118
A4	0.15118	0.15118	0.14748	0.16614	0.14333	0.15118	0.15434	0.15110	0.15199	0.15118
A5	0.14539	0.15118	0.14748	0.14091	0.14333	0.15118	0.14324	0.13919	0.14524	0.14828

Tablo 5.22: Duyarlılık Analizine göre elde edilen alternatif sıralamaları

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
A1	1	1	1	1	2	2	2	1	3	1
A2	2	1	1	2	1	2	2	3	2	2
A3	2	2	2	1	2	1	1	2	5	3
A4	2	2	1	1	1	1	2	2	4	3
A5	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2

Tablo 5.21'de her bir durum için elde edilen alternatif değerleri üzerinden, yapılan duyarlılık analizi Şekil 5.2'deki gibi radar grafiğine aktarılmıştır.



Şekil 5.2: Bulanık MAIRCA Yöntemi Qi Değeri Duyarlılık Radar Grafiği

Bulanık MAIRCA yöntemi duyarlılık tablosu ve radar grafiğine bakıldığında sekiz durumda, Alternatif 5 en iyi tedarikçi konumundadır. Alternatif 1 ve Alternatif 2 ise en iyi tedarikçinin ardından gelen tercih edilebilir tedarikçi firmalardır. Bütün durumlar değerlendirildiğinde Alternatif 3 ve Alternatif 4 arasında büyük bir fark gözlemlenmemiştir. Bu alternatifler tercih edilmemesi gereken tedarikçiler olarak yorumlanabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde kaliteli ve sürdürülebilir bir üretim, artan piyasa rekabeti de göz önüne alındığında tesislerin ve makinelerin bakımının efektif bir şekilde yapılması konusunda işletmeleri zorlamaktadır. İşletmelerde, artan müşteri talepleri, teknolojik gelişmeler ve verimli bir üretimin hedefi neticesinde makine ve ekipmanların sürekliliği ile kaliteli enerji büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle üretim sisteminin aksamadan dinamik bir şekilde devam edebilmesi için makine ve ekipman bakımlarının yapılması gerekmektedir. Plansız duruşları önlemek ve makine ömrünü uzatmak için bakım kapsamı dahilinde planlı ve periyodik bakımlar kritik öneme sahiptir. Yapılan önleyici (proaktif), planlı ve periyodik bakımlar sayesinde işletmelerin bakım maliyeti azalır, üretim süreci desteklenerek belirlenen zamanlarda yapılır böylece arıza oluşmadan önüne geçilmiş olur. Tesislerde ve işletmelerde sürdürülebilir bir elektrik alt yapısı için trafolar, kritik öneme sahip temel enerji ekipmanlarıdır. Kapsamı ve niteliği nedeniyle sürekli faal halde olması ve sürekli bakımlarının yapılması zorunludur. Trafoların kapsam ve nitelikleri dolayısıyla uzman bir ekip tarafından iş güvenliği kapsamında detaylı bir şekilde bakıma alınması gerekmektedir. İşletmelerdeki bakım ekibi kendi bünyesinde trafoların aylık kontrollerini yapsa da, yıllık bakımın detaylı bir şekilde, üretim durdurularak ve enerji kesilerek yapılması gerekmektedir. Trafoların bakımını yapacak teknik ekibin alanında uzman olması ve işletmenin beklentilerini karşılayarak güvenli bir şekilde bakımı yapması en önemli kriterdir. Bu nedenle, işletme yetkilileri için bakımı üstlenecek tedarikçi firmanın seçimi kritik öneme sahiptir.

Çalışmada öncelikle tedarikçi seçim problemine yönelik literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca planlı bakım çalışmaları, iş güvenliği önlemleri, efektif trafo bakımı için yapılması gereken faaliyetler detaylıca araştırılmış, işletmenin bakım konusundaki geçmiş tecrübeleri de göz önünde bulundurularak uzman kişilerce kriterler ve çalışmayı öngördükleri tedarikçiler alternatifler olarak ortaya koyulmuştur. Alanında uzman ekibin ortak görüşü karar verici olarak belirlenmiştir. Bakımı üstlenecek ideal tedarikçinin seçimi çok kriterli bir karar verme problemi olduğu için bulanık yöntemler uygulanarak daha reel sonuçlara ulaşmak istenmiştir. Bunun için çalışmada, üçgen bulanık sayılar kullanılarak Bulanık FUCOM, Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemleri uygulanmıştır ve tedarikçi seçimi bulanık ortamda farklı

yöntemlerle yapılarak literatüre yeni bir çalışma kazandırılmıştır. Kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesi için Bulanık FUCOM yöntemi uygulanmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesinde karar verici, belirlediği her bir kriter için alternatifleri sözel değişkenlerle ifade ederek üçgen bulanık sayı karşılıklarını belirlemiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemlerinin her ikisinde bu sözel değişkenler ve üçgen bulanık sayı karşılıkları kullanılmıştır. İdeal alternatifin belirlenmesi ve sıralanması öncelikle Bulanık EDAS yöntemi ile yapılmış, daha sonra Bulanık MAIRCA yöntemiyle yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada, bakır tel üretim sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın alacağı bakım hizmeti için, beş alternatif arasından ideal olan tedarikçi seçiminin yapılması hedeflenmiştir. Bulanık FUCOM yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarına göre, en önemli kriter “Tecrübeli Teknik Ekip” olan C_1 kriteridir. Elde edilen kriter ağırlıkları, Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemlerinin hesaplamalarında kullanılmıştır. Son aşamada, alternatiflerin sıralaması yapılarak, her iki yöntemden elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Kıyaslama neticesinde, her iki yöntemde de A5 alternatifinin tedarikçi seçimi için en ideal tedarikçi olduğu sonucuna varılmıştır. A5 alternatifini takip eden diğer en iyi alternatif olan A2 alternatifi de her iki yöntemde aynı olup geriye kalan alternatiflerin sıralamaları farklılık göstermektedir. Bulanık MAIRCA yönteminde kriterler fayda ve maliyet şeklinde gruplandırılarak işleme alınır ama bulanık EDAS yönteminde kriterler için böyle bir ayırım yoktur. Yöntem hesaplamalarındaki bu farklılık, kriter ağırlıkları düşük olan ve nihai değerleri birbirine çok yakın olan bu alternatiflerin farklı sıralamaya sahip olmasına etken olarak açıklanabilir. Nihayetinde, her iki yöntem sonucunda elde edilen ideal tedarikçinin aynı olması, bu iki yöntemin uygulanabilirliği konusunda olumlu bir çalışma ortaya konulduğunu göstermektedir. Bu yöntemlerin yanı sıra, on alternatif duruma karşı ana kriter ağırlıkları değiştiğinde işletmenin alternatif tedarikçi seçiminde değişikliğe yol açıp açmadığı da çalışmanın uygulama kısmının sonunda duyarlılık analizi kapsamında hesaplanmıştır. Duyarlılık analizi hesaplamalarının sonucunda ise en iyi tedarikçinin Alternatif 5 olduğu belirlenmiştir. Alternatif değerlendirme yöntemleri ve duyarlılık analizi ile elde edilen sonuçlara bakıldığında ideal alternatifin aynı olması, karar vericilerin kriter

ağırlıklarını optimum bir şekilde belirlediği ve beraberinde tedarikçi seçimi için kapsamlı ve doğru bir sonuca varıldığı yorumu yapılabilir.

Bu çalışmada üçgen bulanık sayılar kullanılarak, kriter ağırlıklandırma için tutarlı sonuçlar veren ve literatürde çok yaygın olmayan Bulanık FUCOM yöntemi kullanılmış, alternatiflerin değerlendirilmesi için Bulanık EDAS ve Bulanık MAIRCA yöntemleri bütünleşik kullanılarak sonuçlar elde edilmiş ve sonrasında birbiriyle kıyaslanmıştır. Ayrıca farklı durumlar altında olabilecek farklı seçimleri göstermek için de duyarlılık analizi uygulanmıştır.

Literatür incelendiğinde, işletmelerde bakım konusunda tedarikçi seçimine yönelik çalışmaların oldukça az olması ve Bulanık FUCOM, Bulanık MAIRCA ve Bulanık EDAS yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanıldığı çalışmalara hiç rastlanmaması sebebiyle, bu çalışmanın literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın yanı sıra işletmelerde bakım için tedarikçi seçim problemi sektördeki farklı işletmelerde, bakım kapsamı, beklenti ve tesis şartları göz önüne alınarak, farklı karar verme yöntemleri ile uygulanabileceği gibi yöntemlerin sayısının artırılmasıyla da yapılacak derin çalışmalar için araştırmacılara yol gösterebilir.

Gelecek çalışmalarda, işletmeler için tedarikçi seçiminde diğer bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılabilir veya farklı yöntemler çalışmada kullanılan yöntemlere entegre edilerek zenginleştirilebilir. Ayrıca, her işletmenin üretim düzeyi, kapsam ve koşullarının farklılık göstermesinden dolayı, farklı sektörler ve farklı işletmeler için yeni kriterler ve alternatifler eklenerek yeni sonuçların elde edilmesiyle çalışmaya yeni bir boyut kazandırılabilir. Ek olarak çalışmada bütünleşik olarak kullanılan yöntemler, bulanık ortamda farklı tedarikçi seçiminin yanısıra işletmelerde farklı ekipman veya personel seçimi problemlerinde de kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

Adar, T. ve Delice, E. K., “New integrated approaches based on MC-HFLTS for healthcare waste treatment technology selection”, *Journal of Enterprise Information Management*, 32(4), 688-711, (2019).

Akman, G. ve Alkan, A., “Tedarik Zinciri Yönetiminde Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama“, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, No: 9, 23 -46, (2006).

Atçı, S. H., ve Atalay, K. D., “Web sitesi tasarım aşamasındaki kriterlerin önem derecelerinin GB-FUCOM ile belirlenmesi”, *Journal of Turkish Operations Management (JTOM)*, 6(1), (2022).

Ayadi, H., Hamani, N., Kermad, L. ve Benaissa, M., “Novel fuzzy composite indicators for locating a logistics platform under sustainability perspectives”, *Sustainability*, 13(7), 3891, . (2021).

Ayadi, H., Hamani, N., Kermad, L. ve Benaissa, M., “Novel fuzzy composite indicators for locating a logistics platform under sustainability perspectives”, *Sustainability*, 13(7), 3891, (2021).

Badi, I. ve Ballem, M., “Supplier selection using the rough BWM-MAIRCA model: A case study in pharmaceutical supplying in Libya”, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(2), 16-33, (2018).

Bayhan, H., G., “Selection of Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC) Suppliers for Green Buildings with Fuzzy-Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS) Method”, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2018).

Bayrakdaroglu, F. K. ve Kundakci, N., “Bulanık EDAS Yöntemi ile AR-GE Projesi Seçimi”, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (24), 151-170, (2019).

Bayrakdaroglu, F. K. ve Kundakci, N., “Bulanık EDAS Yöntemi ile Ar-Ge Projesi Seçimi”, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (24), 151-170, (2019).

Boral, S., Howard, I., Chaturvedi, S. K., McKee, K. ve Naikan, V. N. A., “An integrated approach for fuzzy failure modes and effects analysis using fuzzy AHP and fuzzy MAIRCA”, *Engineering Failure Analysis*, 108, 104195, (2020).

Cedimoğlu, İ. H. ve Tunacan, T., “Örüntü Tanıma Sistemiyle Tedarikçi Seçimi”, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV Ulusal Kongresi*, 15-18 Haziran, Gaziantep–Adana, (http://yaem2004.cukurova.edu.tr/pages/XXIV_YAEM_2004), (2004).

Chen Chen-Tung, “Extensions Of The Topsis For Group Decision- Making Under Fuzzy Environmen”, Fuzzy Sets And Systems, (114), 1-9, (2000).

Chen, C.T., “Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment”, Fuzzy Sets and Systems, 114(1), 1–9, (2000).

Chen, C. T., Lin, C. T., Huang, S. F., “A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management”, *International Journal of Production Economics*, (102), 289-301, (2006).

Cheng, C. H., Cheng, G. W. ve Wang,J. W., “Multi-attribute fuzzy time series method based on fuzzy clustering”, *Expert Systems with Applications*, 34(2), 1235-1242, (2008).

Çalık, A., “Bulanık AHP-Bulanık ARAS Yöntemlerine Dayalı Dayanıklı Tedarikçi Seçimi”, *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9 (2), 275-296, (2022).

Dağdeviren, M ., Erarslan, E., “PROMETHEE Sıralama Yöntemi İle tedarikçi seçimi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Ankara,23(1), 69-75, (2008).

Dağdeviren, M., Eraslan, E., Koç, M.,Dizdar, N. E.,(2005), “Tedarikçi Seçim Problemine Analitik Ağ Süreci ile Alternatif Bir Yaklaşım”, *Teknoloji*, 8(2), 115-122, (2005).

Davoudabadi, R., Mousavi, S. M. ve Sharifi, E., “An integrated weighting and ranking model based on entropy, DEA and PCA considering two aggregation approaches for resilient supplier selection problem”, *Journal of Computational Science*, 40, 101074, (2020).

De Boer, L., Labro, E. ve Morlacchi, P., “A review of methods supporting supplier selection”, *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, 75–89, (2001).

Demir, G., “E-Devlet Sitelerinin Bulanık FUCOM ile Değerlendirilmesi”, *International Journal of Economic and Administrative Academic Research*, (E-ISSN: 2757-959X), 1(2), 41-53, (2021).

Demir, G., Damjanović, M., Matović, B., ve Vujadinović, R., “Toward Sustainable Urban Mobility by Using Fuzzy-FUCOM and Fuzzy-CoCoSo Methods: The Case of the SUMP Podgorica”. *Sustainability*, 14(9), 1–27, (2022).

Demir, H., H., İmalat sektöründe bulanık TOPSIS yöntemiyle tedarikçi seçimi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, (2010).

Demircan, M. L. ve Tunc, S., “A proposed service level improvement methodology for public transportation using Interval Type-2 Fuzzy EDAS based on customer satisfaction data”, *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (1351-1359), (2019).

Demirtas, O., Derindag, O. F., Zarali, F., Ocal, O. ve Aslan, A. “Which renewable energy consumption is more efficient by fuzzy EDAS method based on PESTLE dimensions”, *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 36274-36287, (2021).

Demirtaş, Ö. ve Akdoğan, A., “Bulanık Ortamda Tedarikçi Seçimi: Savunma Sanayii’ne Yönelik Bir Uygulama”. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (43), 203-222, (2014).

Deveci, M., Gokasar, I., Castillo, O. ve Daim, T., “Evaluation of Metaverse integration of freight fluidity measurement alternatives using fuzzy Dombi EDAS model”, *Computers & Industrial Engineering*. 174, 108773, (2022).

Dickson, G. W., An analysis of vender selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(4), 563–588, (1966).

Dobler, D.W. ve Burt, D.N., “Purchasing and Supply Management. Sixth Edition”, The McGraw-Hill Companies Inc., International Editions, Singapur (1996).

Ecer, F., “An extended MAIRCA method using intuitionistic fuzzy sets for coronavirus vaccine selection in the age of COVID-19”, *Neural Computing and Applications*, 34(7), 5603-5623, (2022).

Ecer, F., “Bulanık FUCOM (FUCOM-F) ile Hastane Yeri Seçimi”, İçinde P. D. M. Kabak & D. D. B. Erdebili (Ed.), *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri - MS Excel® ve Software Çözümlü Uygulamalar* (1. basım, ss. 455–458), Nobel Akademik Yayıncılık, (2021^a).

Ecer, F., Büyükaslan, A. ve Hashemkhani Zolfani, S., “Evaluation of cryptocurrencies for investment decisions in the era of Industry 4.0: A borda count-based intuitionistic fuzzy set extensions EDAS-MAIRCA-MARCOS multi-criteria methodology”, *Axioms*, 11(8), 404, (2022).

Ellram, L. M., “The Supplier Selection Decision in Strategic Partnerships”, *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26 (4), 8–14, (1990).

Feng, X. Q., Wei, C. P. ve Liu, Q. “EDAS method for extended hesitant fuzzy linguistic multicriteria decision making”, *International Journal of Fuzzy Systems*, 20, 2470-2483, (2018).

García Mestanza, J. ve Bakhat, R., “A fuzzy ahp-mairca model for overtourism assessment: The case of Malaga province”, *Sustainability*, 13(11), 6394, (2021).

Ghodsypour, S.H. ve O’Brien, C., “A Decision Support System for Supplier Selection Using An Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming”, *Int. J. Production Economics* 56-57,199-212, (1998).

Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M. ve Turskis, Z., “Extended EDAS method for fuzzy multi-criteria decision-making: an application to supplier selection”, *International journal of computers communications & control*, 11(3), 358-371, (2016).

Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z. ve Milićević, M., “The combination of expert judgment and GIS-MAIRCA analysis for the selection of sites for ammunition depots”, *Sustainability*, 8(4), 1-30, (2016).

Golcuk, I., Durmaz, E. ve Şahin, R., “Prioritizing occupational safety risks with fuzzy FUCOM and fuzzy graph theory-matrix approach”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 57-69, (2022).

Gölcük, İ., Durmaz, E. D. ve Şahin, R., “Bulanık FUCOM ve bulanık çizge teorisi-matris yaklaşımı ile iş güvenliği risklerinin önceliklendirilmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1), 57-70, (2023).

Gul, M. ve Ak, M. F., “Assessment of occupational risks from human health and environmental perspectives: a new integrated approach and its application using fuzzy BWM and fuzzy MAIRCA”, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(8), 1231-1262, (2020).

Gul, M., Mete, S., Serin, F., Celik, E., Gul, M., Mete, S., ... ve Celik, E., “Fine–Kinney-based occupational risk assessment using fuzzy best and worst method (F-BWM) and fuzzy MAIRCA”, *Fine–Kinney-Based Fuzzy Multi-criteria Occupational Risk Assessment: Approaches, Case Studies and Python Applications*, 13-30, (2021).

Guo, S. ve Zhao, H., “Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications”, *Knowledge-Based Systems*, 121, 23-31, (2017).

Güneri, B. ve Deveci, M., “Evaluation of supplier selection in the defense industry using q-rung orthopair fuzzy set based EDAS approach”, *Expert Systems with Applications*, 222, 119846, (2023).

Halder, S., Bhattacharya, S., Roy, M. B. ve Roy, P. K., “Application of fuzzy C-means clustering and fuzzy EDAS to assess groundwater irrigation suitability and prioritization for agricultural development in a complex hydrogeological basin”, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(20), 57529-57557, (2023).

Hasheminasab, H., Hashemkhani Zolfani, S., Bitarafan, M., Chatterjee, P. ve Abhaji Ezabadi, A., “The role of façade materials in blast-resistant buildings: an evaluation based on fuzzy Delphi and fuzzy EDAS”, *Algorithms*, 12(6), 119, (2019).

Ilieva, G., “Group Decision Analysis Algorithms with EDAS for Interval Fuzzy Sets”, *Cybernetics and Information Technologies*, 18, 51-64, (2018).

Jana, C. ve Pal, M., “Extended bipolar fuzzy EDAS approach for multi-criteria group decision-making process”, *Computational and Applied Mathematics*, 40, 1-15, (2021).

Kabadayı, N. ve Çırpın, B., (2020), “ Gri ilişkisel temelli Topsis Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi ve Tedarikçi Risk Değerlendirmesi”, *Araştırma*, 25(2) , 767–788, (2020).

Kahraman C., Cebeci U., Ulukan Z. “Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP“, *Logistic Information Management*, 16, 382–394, (2003).

Kahraman, C., Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Cevik Onar, S., Yazdani, M., ve Oztaysi, B., “Intuitionistic fuzzy EDAS method: an application to solid waste disposal site selection”, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(1), 1-12, (2017).

Kahraman, C., Ruan, D. ve Doğan, İ., “ Fuzzy Group Decision Making for Facility Location Selection”, *Information Sciences*, (157), 135–153, (2003).

Kaya, S. K., “Evaluation of the Effect of COVID-19 on Countries’ Sustainable Development Level: A comparative MCDM framework”, *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(3), 101-122, (2020).

Keshavarz Ghorabae M, Amiri M, Zavadskas EK, Turskis Z ve Antucheviciene J., “Stochastic EDAS method for multi-criteria decision-making with normally distributed data”, *J Intell Fuzzy Syst* 33:1627–1638, (2017^b).

Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.

Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., ve Antucheviciene, J., “A dynamic fuzzy approach based on the EDAS method for multi-criteria subcontractor evaluation”, *Information*, 9(3), 68, (2018).

Khan, F., Ali, Y. ve Pamucar, D., “A new fuzzy FUCOM-QFD approach for evaluating strategies to enhance the resilience of the healthcare sector to combat the COVID-19 pandemic”, *Kybernetes*, 51(4), 1429-1451, (2022).

Khosravi, M., Haqbin, A., Zare, Z. ve Shojaei, P., “Selecting the most suitable organizational structure for hospitals: an integrated fuzzy FUCOM-MARCOS method”, *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 20(1), 1-16, (2022).

Kutlu Gündoğdu, F., Kahraman, C. ve Civan, H. N., “A novel hesitant fuzzy EDAS method and its application to hospital selection”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(6), 6353-6365, (2018).

Küçük, O. ve Ecer, F., “İmalatçı İşletmelerde Uygun Tedarikçi Seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Bir Kobi Uygulaması ”, *Atatürk Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 22 (2), 435 -450,(2008).

Le, M. T. ve Nhieu, N. L., “A novel multi-criteria assessment approach for post-COVID-19 production strategies in Vietnam manufacturing industry: OPA–fuzzy EDAS model”, *Sustainability*, 14(8), 4732, (2022).

Lee, H. C., ve Chang, C. Ter., “Comparative Analysis Of MCDM Methods for Ranking Renewable Energy Sources in Taiwan”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 883–896, (2018).

Liang, W. Z., Zhao, G. Y. ve Luo, S. Z., “An integrated EDAS-ELECTRE method with picture fuzzy information for cleaner production evaluation in gold mines”, *Ieee Access*, 6, 65747-65759, (2018).

Liu, F. F. ve Hai, H.L. “The Voting Analytic Hierarchy Process Method for Selecting Supplier ”, *International Journal of Production Economics*, 97 (3), 308-317, (2005).

Majumder, P., “An integrated trapezoidal fuzzy FUCOM-TOPSIS method to determine alternatives' ranking and utilization in the water treatment plant”, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, e14096, (2023).

Mao, L. X., Liu, R., Mou, X. ve Liu, H. C., “New approach for quality function deployment using linguistic Z-numbers and EDAS method”, *Informatica*, 32(3), 565-582, (2021).

Marvin, E.G., Gioconda, Q. ve Carlo, A.M.M., “Article Information: Determining the Importance of the Supplier Selection Process in Manufacturing: A Case Study”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 34(6), 492-504, (2003).

Mendoza, A., Santiago, E., Ravindran, A.R., “A three-phase multicriteria method to the supplier selection problem”, *International Journal of Industrial Engineering*, 15(2), 195-210, (2008).

Mitrović Simić, J., Stević, Ž., Zavadskas, E. K., Bogdanović, V., Subotić, M., ve Mardani, A., “A novel CRITIC-Fuzzy FUCOM-DEA-Fuzzy MARCOS model for

safety evaluation of road sections based on geometric parameters of road”, *Symmetry*, 12(12), (2020).

Mukherjee, K., “Supplier selection criteria and methods: past, present and future”, *International Journal of Operational Research*, 27 (1/2), 356-373, (2016).

Narayanamoorthy, S., Brainy, J. V., Shalwala, R. A., Alsenani, T. R., Ahmadian, A. ve Kang, D., “An enhanced fuzzy decision making approach for the assessment of sustainable energy storage systems”, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 33, 100962, (2023).

Pamučar, D. S., Ćirović, G. ve Božanić, D., “Application of interval valued fuzzy-rough numbers in multi-criteria decision making: The IVFRN-MAIRCA model”, *Yugoslav Journal of Operations Research*, 29(2), 221-247, (2019).

Pamučar, D. ve Ecer, F., “Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method–FUCOM-F”, *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419-437, (2020).

Pamučar, D., Deveci, M., Camitez, F., & Božanić, D., “A fuzzy Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni model for prioritizing transportation demand management measures”, *Applied Soft Computing*, 87, (2020a).

Pamučar, D., Deveci, M., Schitea, D., Erişkin, L., Iordache, M. ve Iordache, I., “Developing a novel fuzzy neutrosophic numbers based decision making analysis for prioritizing the energy storage technologies”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(43), 23027-23047, (2020b).

Pamučar, D., Ecer, F. ve Deveci, M., “Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology”, *Science of the Total Environment*, 788, 147763, (2021).

Pamučar, D., Gigovic, L., Bajic, Z. ve Janosevic, M., “Location selection for wind farms using GIS multi-criteria hybrid model: an approach based on fuzzy and rough numbers”, *Sustainability*, 9(8), 1315, (2017a).

Pamučar, D., Lukovac, V., Božanić, D. ve Komazec, N., “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, (2018).

Pamučar, D., Mihajlović, M., Obradović, R. ve Atanasković, P., “Novel approach to group multi-criteria decision making based on interval rough numbers: Hybrid DEMATEL-ANP-MAIRCA model”, *Expert systems with applications*, 88, 58-80, (2017b).

Pamućar, D., ve Ecer, F., “Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method–FUCOM-F”, *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419-437, (2020).

Peker, B. N. ve Görener, A., “Tesis Yeri Seçiminde Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Bulanık FUCOM Yöntemiyle”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(45), 1512-1536, (2022).

Rezaei, J. ve Ortt, R., “Multi-criteria Supplier Segmentation Using a Fuzzy Preference Relations Based AHP”, *European Journal of Operational Research*, 225(1), 75-84, (2013).

Saha, A., Mishra, A. R., Rani, P., Hezam, I. M., & Cavallaro, F., “A q-rung orthopair fuzzy FUCOM double normalization-based multi-aggregation method for healthcare waste treatment method selection”, *Sustainability*, 14(7), 4171, (2022).

Schitea, D., Deveci, M., Iordache, M., Bilgili, K., Akyurt İ.Z. ve Iordache I., “Hydrogen Mobility Roll-up Site Selection Using Intuitionistic Fuzzy Sets Based WASPAS, COPRAS and EDAS”, *International Journal of Hydrogen Energy* 44 (16), 8585-8600, (2019).

Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Ghorabae, M. K. ve Turskis, Z., “An extension of the EDAS method based on the use of interval grey numbers”, *Studies in Informatics and Control*, 26(1), 5-12, (2017).

Stević, Ž., Vasiljević, M., Puška, A., Tanackov, I., Junevičius, R. ve Vesković, S., “Evaluation of suppliers under uncertainty: a multiphase approach based on fuzzy AHP and fuzzy EDAS”, *Transport*, 34(1), 52-66, (2019).

Stević, Ž., Vasiljević, M., Zavadskas, E. K., Sremac, S. ve Turskis, Z., “Selection of carpenter manufacturer using fuzzy EDAS method”, *Engineering Economics*, 29(3), 281-290, (2018).

Taherdoosta, H., Brard, A., “Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods”, *Procedia Manufacturing*, (32), 1024–1034, (2019).

Tang, C., Xu, D. ve Chen, N., “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”, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5548-5565, (2021).

Taşkent, M. C., ve Kılıç Delice, E., “Bulanık FUCOM Metodu ile Tedarikçi Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi”, *European Journal of Science and Technology*, Special Issue 28, 863–868, (2021).

Tešić, D., Božanić, D., Stojković, D., Puška, A. ve Stojanović, I., “DIBR–DOMBI–FUZZY MAIRCA Model for Strategy Selection in the System of Defense”, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, (2023).

Türer, S., Ayvaz B., Bayraktar, D., Bolat, B., “Tedarikçi De erlendirme Süreci için Bir Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı: Gıda Sektöründe Bir Uygulama“, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, XX(2), 31 -40, (2008).

Vesković, S., Stević, Ž., Karabašević, D., Rajilić, S., Milinković, S. ve Stojić, G., “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), 743, (2020).

Vukasović, D., Gligović, D., Terzić, S., Stević, Ž., ve Macura, P., “A Novel Fuzzy MCDM Model for Inventory Management in order to Increase Business Efficiency”, *Technological and Economic Development of Economy*, 27(2), 386–401, (2021).

Wang, J. W., Cheng, C. H. ve Kun-Cheng, H., “Fuzzy Hierarchical TOPSIS for Supplier Selection”, *Applied Soft Computing*, 377-386, (2009).

Więckowski, J., Kizielewicz, B., Shekhovtsov, A. ve Sałabun, W., “How do the criteria affect sustainable supplier evaluation: A case study using multi-criteria decision analysis methods in a fuzzy environment”, *Journal of Engineering Management and Systems Engineering*, 2(1), 37-52, (2023).

Xu, D., Ren, J., Dong, L. ve Yang, Y., “Portfolio selection of renewable energy-powered desalination systems with sustainability perspective: A novel MADM-based framework under data uncertainties”, *Journal of Cleaner Production*, 275, 124114, (2020).

Yazgan, A. E. ve Agamyradova, H., “SWARA ve MAIRCA Yöntemleri ile Bankacılık Sektöründe Personel Seçimi”, *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 16(2), 281-290, (2021).

Yürüyen, A. A. ve Ulutaş, A., “Bulanık AHP ve bulanık EDAS yöntemleri ile üçüncü parti lojistik firması seçimi”, *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(İktisadi ve İdari Bilimler), 283-294, (2020).

Zhang, S., Guiwu, W., Gao, H., Wei, C. ve Wei, Y., “Edas Method For Multiple Criteria Group Decision Making With Picture Fuzzy Information And Its Application To Green Suppliers Selections”, *Technological And Economic Development Of Economy*, 25(6), 1123-1138, (2019).

Zhu, G. N., Ma, J. ve Hu, J., “Evaluating biological inspiration for biologically inspired design: An integrated DEMATEL-MAIRCA based on fuzzy rough numbers”, *International Journal of Intelligent Systems*, 36(10), 6032-6065, (2021).

Zimmer K., Frohling M., Schultmann F., “Sustainable supplier management—a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development”, *Int J Prod Res*, 54(5), 1412–42, (2016).

