

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

**BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR SİMBİYOTİK İŞ ORTAĞI SEÇİMİ:
KABLO SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞBA ÖKTEM

DENİZLİ, OCAK - 2024

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



**BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR SİMBİYOTİK İŞ ORTAĞI SEÇİMİ:
KABLO SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞBA ÖKTEM

DENİZLİ, OCAK - 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.

Tuğba ÖKTEM

ÖZET

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR SİMBİYOTİK İŞ ORTAĞI SEÇİMİ: KABLO SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TUĞBA ÖKTEM

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ALİYE AYÇA SUPÇİLLER)

DENİZLİ, OCAK - 2024

Üretim sanayi, geçmişten günümüze toplumun en önemli yapıtaşlarından biridir. Kullanılan hammaddeler ve işlemler, yaşamsal faktörler üzerinde hayati bir rol oynamaktadır. Ancak, sektörlerin büyümesi ve gelişmesi ile birlikte artan üretim talebi, doğal kaynakların tükenmesi ve atık üretiminde artışa neden olmaktadır. Bu durum, birçok büyük ve önemli bir sektörün, endüstriyel simbiyoz ağına uygun hale getirilmesini ve simbiyotik iş ortaklıklarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada sürdürülebilir simbiyoz ağı kriterleri için önem ağırlıkları hesaplanmış ve farklı sektörlerde yer alan potansiyel iş ortakları değerlendirilmiştir. Değerlendirme kriterleri literatür ve uzman görüşlerine bağlı olarak belirlenmiş, genel bir simbiyoz çerçevesi sunulmuştur. Listelenen beş ana kriter ve 36 alt kriter, aralık değerli küresel bulanık kümede tanımlı dilsel ifadeler kullanılarak uzmanlar tarafından değerlendirilmiş ve Bulanık LOPCOW yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Değerlendirmeler neticesinde Bulanık LOPCOW yöntemi ile kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan kriter ağırlıkları sektör değerlendirme aşamasında kullanılan aralık değerli küresel bulanık sayılar ile entegre Bulanık COBRA, Bulanık MAIRCA, Bulanık WASPAS ve Bulanık TOPSIS yönteminde girdi olarak kullanılarak sektör sıralaması yapılmıştır. Çalışma sonucunda, tüm yöntemlerin sonuçları ele alınarak Borda Sayım yöntemi ile uzlaşık sıralama elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Endüstriyel simbiyoz, Çok kriterli karar verme, Aralık değerli küresel bulanık küme, LOPCOW, COBRA

ABSTRACT

SUSTAINABLE SYMBIOTIC PARTNER SELECTION WITH FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS: A CASE STUDY IN THE CABLE INDUSTRY

**MSC THESIS
TUĞBA ÖKTEM**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING
(SUPERVISOR:ASSOC. DR. ALIYE AYÇA SUPCILLER)**

DENİZLİ, JANUARY 2024

The manufacturing industry has been one of the cornerstone elements of society from the past to the present. The raw materials and processes used play a vital role in shaping essential factors of life. However, the growing demand for production that comes with the expansion and development of industries leads to the depletion of natural resources and an increase in waste production. This situation highlights the necessity for many significant industries to be adapted to an industrial symbiosis network and underscores the importance of symbiotic partnerships. In this study, the importance weights for sustainable symbiosis network criteria were calculated, and potential business partners in various industries were evaluated. Evaluation criteria were determined based on the literature and expert opinions, presenting a general symbiotic framework. The listed five main criteria and 36 sub-criteria were assessed by experts using linguistic expressions defined in a fuzzy global set with interval values, and they were weighted using the Fuzzy LOPCOW method. As a result of the evaluations, the importance weights of the criteria were calculated using the Fuzzy LOPCOW method. The calculated criteria weights were integrated as inputs in the sector ranking phase using interval-valued fuzzy numbers in the Fuzzy COBRA, Fuzzy MAIRCA, Fuzzy WASPAS, and Fuzzy TOPSIS methods. At the end of the study, taking into consideration the results of all methods, a consensus ranking was obtained using the Borda methods.

KEYWORDS: Industrial symbiosis, Multi-criteria decision making, Interval-valued spherical fuzzy set, LOPCOW, COBRA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
2.1 Endüstriyel Simbiyoz Alanında Yapılan Çalışmalar.....	6
2.2 Aralık Değerli Küresel Bulanık Kümelerin Kullanıldığı Çalışmalar ..	16
2.3 LOPCOW ve Bulanık LOPCOW Yöntemlerinin Kullanıldığı Çalışmalar.....	17
2.4 COBRA ve Bulanık COBRA Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar ..	18
3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	19
3.1 Endüstriyel Simbiyoz	19
3.1.1 Endüstriyel Simbiyoz Uygulamalarının Önündeki Engeller	24
3.1.2 Başarılı Bir Endüstriyel Simbiyoz Nasıl Şekillenir?	25
3.1.3 Sürdürülebilir Endüstriyel Simbiyoz için Değerlendirme Kriterleri	26
3.1.4 Endüstriyel Simbiyoz Çalışmalarında Kullanılan Yöntemler	29
3.1.5 Endüstriyel Simbiyoz Örnekleri	32
3.2 Kablo Sektörü.....	36
3.2.1 Dünya’da ve Ülkemizde Kablo Sektörünün Gelişimi	36
3.2.2 Kablo Sektörü ile Etkileşimde Olan Sektörler.....	38
3.2.3 Kablo Sektöründe Başlıca Hammadde ve Atıklar	38
4. YÖNTEM	40
4.1 Bulanık Küme Teorisi	40
4.1.1 Küresel Bulanık Küme (SFS)	41
4.1.2 Aralık Değerli Küresel Bulanık Küme (IVSFS).....	42
4.2 Aralık Değerli Küresel Bulanık LOPCOW (BLOPCOW).....	46
4.3 Aralık Değerli Küresel Bulanık COBRA (BCOBRA).....	48
4.4 Aralık Değerli Küresel Bulanık MAIRCA (BMAIRCA)	52
4.5 Aralık Değerli Küresel Bulanık WASPAS (BWASPAS).....	55
4.6 Aralık Değerli Küresel Bulanık TOPSIS (BTOPSIS).....	57
4.7 Uzlaşma Yöntemleri.....	59
4.7.1 Borda Sayım Yöntemi	59
5. UYGULAMA	61
5.1 Kriterlerin Belirlenmesi.....	61
5.2 Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	65
5.2.1 BLOPCOW Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	65
5.3 Alternatiflerin Değerlendirilmesi	69
5.3.1 BCOBRA Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi	69
5.3.2 BMAIRCA Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi	73
5.3.3 BWASPAS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi.....	78

5.3.4	BTOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi.....	80
5.4	Uzlaşık Sıralamanın Elde Edilmesi	81
6.	DUYARLILIK ANALİZİ.....	82
6.1	Senaryo 1	82
6.2	Senaryo 2	84
6.3	Senaryo 3	85
6.4	Senaryo 4	88
6.5	Tüm Senaryolar için Sıralama Değişimlerinin Değerlendirilmesi	91
7.	BULGULAR VE SONUÇ.....	93
8.	KATKI VE ÖNERİLER.....	97
9.	KAYNAKLAR.....	99
10.	EKLER.....	111
	EK A	111
11.	ÖZGEÇMİŞ.....	112

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Sürdürülebilir atık yönetimi hiyerarşisi	1
Şekil 1.2: Önerilen bütünleşik yöntem adımları	5
Şekil 2.1: Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında kullanılan yöntemlerin yıllara göre dağılımı	14
Şekil 3.1: Endüstriyel simbiyoz tipolojileri	22
Şekil 3.2: 2016-2022 yıllarında endüstriyel simbiyoz çalışmaları için kullanılan ÇKKV yöntemleri	31
Şekil 3.3: Malzeme akış analizi şematik gösterimi	32
Şekil 3.4: Kalundborg simbiyoz ağı	33
Şekil 3.5: Dünya'da kablo gelişimi	37
Şekil 3.6: Türkiye'de kablo gelişimi	37
Şekil 3.7: Kablo üretiminde oluşan plastik atık	379
Şekil 4.1: Bulanık kümelerin uzantısı	41
Şekil 4.2: BLOPCOW yöntemi metodolojisi	47
Şekil 4.3: BCOBRA yöntemi metodolojisi	52
Şekil 4.4: BMAIRCA yöntemi metodolojisi	55
Şekil 4.5 : BWASPAS yöntemi metodolojisi	57
Şekil 4.6: BTOPSIS yöntemi metodolojisi	59
Şekil 5.1: Kriterlere ait hiyerarşik yapı	63
Şekil 6.1: BCOBRA ve senaryo 1 için duyarlılık analizi sonucu	82
Şekil 6.2: BMAIRCA ve senaryo 1 için duyarlılık analizi sonucu	83
Şekil 6.3 BWASPAS ve senaryo 1 için duyarlılık analizi sonucu	83
Şekil 6.4: BTOPSIS ve senaryo 1 için duyarlılık analizi sonucu	83
Şekil 6.5: BCOBRA ve senaryo 2 için duyarlılık analizi sonucu	84
Şekil 6.6 BMAIRCA ve senaryo 2 için duyarlılık analizi sonucu	84
Şekil 6.7 BWASPAS ve senaryo 2 için duyarlılık analizi sonucu	85
Şekil 6.8 BTOPSIS ve senaryo 2 için duyarlılık analizi sonucu	85
Şekil 6.9: BCOBRA ve senaryo 3 için duyarlılık analizi sonucu	87
Şekil 6.10: BMAIRCA ve senaryo 3 için duyarlılık analizi sonucu	88
Şekil 6.11: BWASPAS ve senaryo 3 için duyarlılık analizi sonucu	88
Şekil 6.12 : BTOPSIS ve senaryo 3 için duyarlılık analizi sonucu	88
Şekil 6.13: BCOBRA ve senaryo 4 için duyarlılık analizi sonucu	90
Şekil 6.14: BMAIRCA ve senaryo 4 için duyarlılık analizi sonucu	90
Şekil 6.15: BWASPAS ve senaryo 4 için duyarlılık analizi sonucu	90
Şekil 6.16: BTOPSIS ve senaryo 4 için duyarlılık analizi sonucu	90
Şekil 6.17: BCOBRA yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları	91
Şekil 6.18: BMAIRCA yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları	91
Şekil 6.19: BWASPAS yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları	92
Şekil 6.20: BTOPSIS yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları	92
Şekil 7.1: BLOPCOW yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları	94
Şekil 7.2: Sıralama yöntemlerine ait alternatif konumları	95
Şekil 7.3: Borda yöntemi ve ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılması	95

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: 2020-2023 yılları arasında yapılan simbiyoz çalışmalarında kullanılan çözüm yöntemleri	15
Tablo 2.2: Aralık değerli küresel bulanık kümelerin kullanıldığı ÇKKV yöntemleri.....	16
Tablo 2.3: LOPCOW yönteminin hibrit kullanıldığı çalışmalar.....	17
Tablo 2.4: COBRA yönteminin hibrit kullanıldığı çalışmalar.....	17
Tablo 3.1: Sürdürülebilir endüstriyel simbiyoz ağı için değerlendirme kriterleri	27
Tablo 3.1 (devam): Sürdürülebilir endüstriyel simbiyoz ağı için değerlendirme kriterleri	28
Tablo 3.1 (devam): Sürdürülebilir endüstriyel simbiyoz ağı için değerlendirme kriterleri	29
Tablo 3.2: İskenderun Körfezi'nde endüstriyel simbiyoz projesi kazanımları.	36
Tablo 4.1: IVSFS için dilsel terimler ve bulanık sayı karşılıkları.....	45
Tablo 5.1: Karar verici grubu dilsel değerlendirme sonuçları	65
Tablo 5.2: BLOPCOW yöntemi skor matrisi değerleri	67
Tablo 5.3: Kriterlere ait yüzde değerleri ve önem ağırlıkları.....	68
Tablo 5.4: BCOBRA için dilsel değerlendirme matrisi	70
Tablo 5.5: BCOBRA için skor matrisi değerleri.....	71
Tablo 5.6: BCOBRA sıralama değerleri	72
Tablo 5.7: Teorik değerlendirme matrisi	73
Tablo 5.7 (devam): Teorik değerlendirme matrisi	74
Tablo 5.8: Skor fonksiyon değerleri.....	74
Tablo 5.8 (devam):Skor fonksiyon değerleri	75
Tablo 5.9: Gerçek değerlendirme matrisi.....	76
Tablo 5.10: Toplam boşluk matrisi ve toplam boşluk değerleri	77
Tablo 5.11: BWASPAS yönteminde skor fonksiyonu ve sıralama değerleri ...	79
Tablo 5.12: BTOPSIS yöntemi sonuçları.....	80
Tablo 5.13: BÇKKV yöntemleri ile elde edilen alternatif sıralamaları	81
Tablo 5.14: Borda skor sonucuna göre alternatif sıralamaları	81
Tablo 6.1: Senaryo 3 için hesaplanan kriter ağırlıkları	87
Tablo 6.2: Senaryo 4 için hesaplanan kriter ağırlıkları	89

ÖNSÖZ

Çalışma kapsamında değerli katkı ve tavsiyeleriyle beni yönlendiren ve sürekli destekleyen başta tez danışmanım Doç. Dr. Aliye Ayça Supçiller'e, yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen müdürüm Orhan Kanut'a, her kararında beni destekleyen ve yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Atık kavramına Türkiye mevzuatında ilk olarak 1983 yılında yayımlanan 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda "Herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeler" olarak rastlanmaktadır (Çevre Kanunu 1983). Geçmişten günümüze gelişen teknoloji, sürekli olarak artış gösteren tüketim ihtiyacı, doğal kaynakların kullanımını kaçınılmaz kılarken, insani faaliyetlerin ekolojik sistem üzerindeki baskısını yadsınamaz hale getirmektedir. Atıklar, oluştukları yere göre yedi farklı alana ayrılmaktadır. Bunlar; evsel atıklar, endüstriyel atıklar, tehlikeli atıklar, özel atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal atıklar ve moloz atıkları olarak adlandırılmaktadır (Gündüzalp ve Güven 2016). Oluşan her atık sınıfı için uygun atık yönetim stratejisi doğrultusunda uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Önleme, azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve bertaraf bu stratejiler arasında yer almaktadır (Gündüzalp ve Güven 2016; Öktem 2016; Pekküçükşen ve Solak 2018). Atık yönetiminin benimsenmesi ve sürdürülebilir stratejiler ile bir yol haritası belirlenmesi, ekolojik dengenin korunması için kaçınılmaz görülmektedir. Sürdürülebilir bir atık yönetimi için tercih edilmesi gereken sıralama Şekil 1.1'deki gibi önerilmektedir.



Şekil 1.1. Sürdürülebilir atık yönetimi hiyerarşisi(Tezel ve Yıldız 2020).

Yapılan bir araştırmada, 2030 yılında dünya geneli atık oluşunu miktarının 2,59 milyar tona çıkacağı öngörülmektedir. 2050 yılında ise bu miktarın 3,40 milyar tona kadar yükseleceği belirtilmektedir. 20 yıllık süreçte 810 milyon tonluk bir atık artışı söz konusu olmaktadır (Kaza ve diğ. 2018). Bu durum sürdürülebilirlik amacı ile yola çıkılan ve atık yönetimi modelini benimseyen uygulamaların; ekolojik dengeyi korumak, doğal kaynakların tüketimini minimize etmek aynı zamanda ekonomik kalkınmanın gelişerek devamını sağlamak adına sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin ortaya konması gerektiğini göstermektedir (Tezel ve zgr 2020; Kaza ve diğ. 2018).

Sürdürülebilir atık yönetimi hiyerarşisini temel alan örnekleri gün geçtikçe artan en önemli uygulama ‘Endüstriyel Simbiyoz’dur. Simbiyoz kavramının ortaya ıkışı Frosch ve Gallopoulos (1989) tarafından kullanılan ‘*Endüstriyel Ekoloji*’ ve ‘*Endüstriyel Ekosistem*’ kavramları ile birlikte endüstriyel faaliyetlerin doğal yaşam ile benzerliğinden yola çıkılarak oluşturulmuştur (Lawal ve diğ. 2021; Frosh ve Gallopoulos 1989; Yazıcı ve diğ. 2023). Ekoloji ve ekosistem kavramlarının çalışmalara konu olduğu ilk zamanlarda temel prensip endüstriyel ekosistem içinde yer alan işletmelerin atığının bir diğer için girdi olarak tanımlanması ve bu döngü ile çevresel etkilerin azaltılmasıdır (zkan ve diğ. 2018). Endüstriyel faaliyetlerin ekolojik sistemlere uyumlu bir şekilde entegre edilmesinin hedeflendiği, endüstriyel sistemlerin daha etkin ve sürdürülebilir olan doğal sistemlere benzetilmesinin amaçlandığı çalışmalar endüstriyel simbiyozun temelini oluşurmaktadır. Endüstriyel simbiyoz, geleneksel olarak ayrılmış endüstrileri, malzeme, enerji, su ve yan ürünlerin fiziksel değişimini içeren rekabet avantajı için kolektif bir yaklaşıma dâhil eder (Chertow 2000; Fraccascia ve diğ. 2017). Simbiyoz ağında, simbiyotik bir tedarikçi, tedarik zincirinde yer alan diğer bir simbiyotik kuruluşa atık ya da yan ürün sağlamaktadır. Geleneksel tedarikçinin aksine, simbiyotik tedarikçi alıcının üretimi için üretim yapmaz, ancak geleneksel alıcılarının talebini karşılamak için üretim yapar ve bu üretimden atık ve yan ürünler satar. Simbiyotik atık ve malzeme dağıtıcısı geleneksel dağıtıcının simbiyotik karşıtıdır. Özetle, simbiyotik bir müşteri, atık ve yan ürünleri kısmen üretim için hammadde olarak satın alan bir tesistir (Turken ve Geda 2020). Özetle simbiyoz uygulamalarında, atık yönetimi stratejilerinden tekrar kullanım, geri dönüşüm, enerjiye dönüştürme seçenekleri

sıklıkla kullanılmakta çevresel faydanın yanı sıra, istihdam ve ekonomik faydalar da sağlanabilmektedir.

Simbiyoz uygulamalarında karşılaşılan zorluklar teknolojik, sosyal, ekonomik ve kurumsal olmak üzere dört ana başlık altında incelenmektedir (Taqi ve diğ. 2022; Malek ve Desai 2022). Bu başlıklar altında yer alan birçok kriter simbiyoz ağına aday sektörler için ayırt edici niteliktedir. Bu nedenle simbiyoz uygulamalarında alışveriş taraflarının, iş ortaklarının belirlenmesi, sektörlerin önceliklendirilmesi gerekmektedir. Hedefler doğrultusunda analitik çözümler karar vericiler için oldukça zorludur. Birçok alternatif ve çelişen kriterlere sahip olan simbiyoz ağları dikkat ve nitelikli analiz gerektiren karar verme problemi olarak nitelendirilebilmektedir (Bacudio ve diğ. 2016). Literatürde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin endüstriyel simbiyoz uygulamalarında kullanıldığı görülmektedir (Yazıcı ve diğ. 2023). Bu yöntemlere literatürde yer alan, ulusal simbiyoz ağı projelerinin performans değerlendirmesi, simbiyotik ağ ilişkilerinde sürdürülebilirlik kriterlerinin ağırlıklandırılması, simbiyoz ağına uygun yer seçim problemleri çalışmalarında rastlanmaktadır (Akar ve diğ. 2022; Sonel ve diğ. 2022; Alakaş ve diğ. 2020; Susur ve diğ. 2019).

Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında, karar vericilerin kriter değerlendirmelerinde kesin değerler sağlamaları nispeten güç olmaktadır. Bu problemlerde kriterler birbirinden farklı ölçü birimlerine sahiptir. Bunun yanı sıra çelişen kriterlerin kullanılması problemin karmaşıklığını da ortaya koymaktadır. Daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi adına kriterlerin ölçü birimine bağlı olmaksızın ifade edilmesi avantaj sağlamaktadır. Bahsedilen zorlukların üstesinden gelinmesi ve sağlıklı sonuçlara ulaşılabilmesi adına dilsel terimlerden (bulanık sayı) faydalanılması gerekmektedir. Bulanık sayılar; öznel yargılardan, bilgi yetersizliğinden kaynaklanan belirsizliklerin önüne geçemeyen kesin değerlerin kullanıldığı ÇKKV yöntemlerinin aksine, mevcut belirsizliklerin üstesinden gelmek için kullanılmaktadır. İnsani, günlük ifadelerin kullanıldığı değerlendirmelerde farklı bulanık sayı kümelerine rastlanmaktadır (Zhao ve diğ. 2017). Aralık değerli küresel bulanık sayılar, pisagor bulanık kümelerin ve nütrosifik kümelerin avantajlarını da bir araya getirmektedir. Aynı zamanda karar vericilerin parametreler için aralık atamasına izin verdiğiinden ve geniş bir değerlendirme skalası sunduğundan sıklıkla

tercih edilen bulanık sayı kümesidir (Aydoğdu ve Gül 2021; Gündoğdu ve Kahraman 2019b).

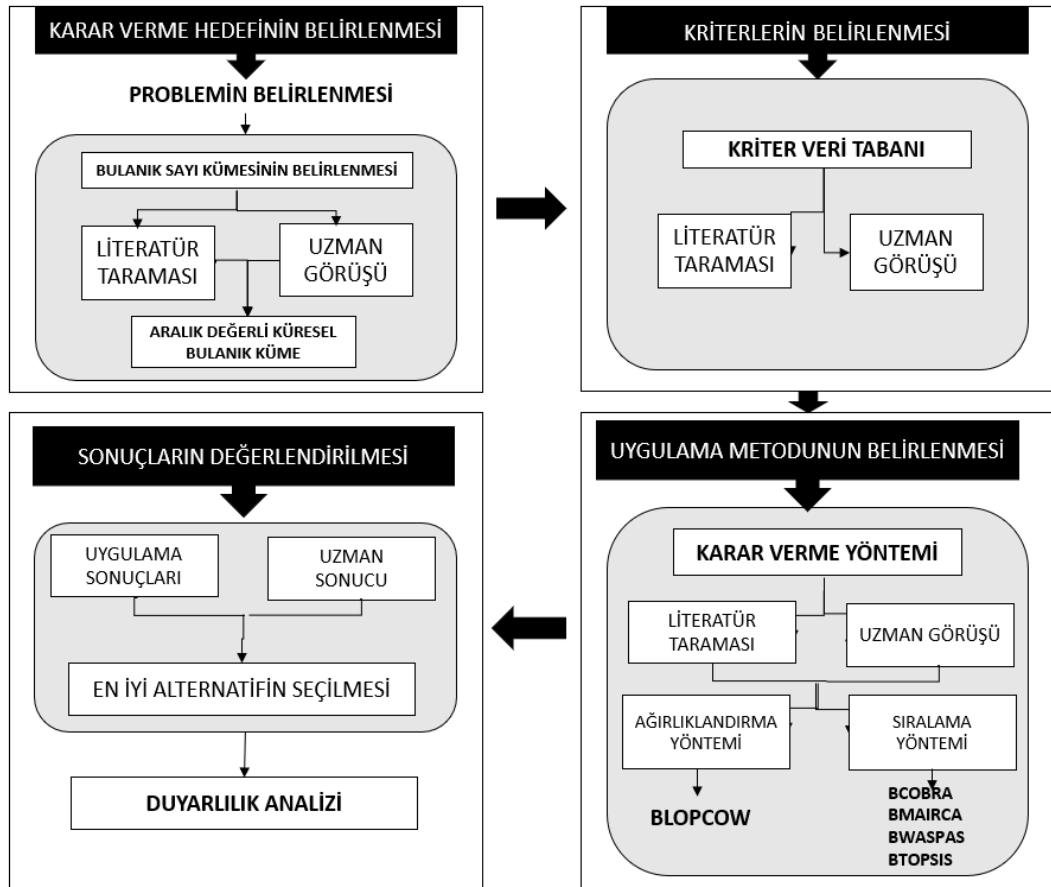
Bu çalışmada, endüstriyel simbiyoz ağı kurulumu öncesinde değerlendirme kriterlerinin objektif olarak ağırlıklandırılması ve bu kriterler ışığında kablo sektöründe faaliyet gösteren bir firma için simbiyotik ağ kurulumunda öncelikli sektörün belirlenmesini amaçlanmaktadır. Literatür taraması sonucunda elde edilen değerlendirme kriterlerinin, uzman kişilerce değerlendirilmesinin ardından Bulanık LOPCOW (Logaritmik Yüzde Değişime Dayalı Amaç Ağırlıklandırma) yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar Bulanık COBRA (Kapsamlı Mesafe Tabanlı Sıralama) yöntemi ile sıralanmıştır. Yöntemlerin bulanıklaştırılma aşamasında, ilk kez bu çalışma ile yönteme entegre edilecek olan aralık değerli küresel bulanık küme kullanılmıştır. Sıralama yöntemlerinde daha önce aralık değerli küresel bulanık küme ile entegre edilmiş olan Bulanık MAIRCA(ok Nitelikli İdeal-Gerçek Karşılaştırmalı Analiz) , Bulanık WASPAS(Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam arpım Değerlendirmesi) ve Bulanık TOPSIS(İdeal özüme Benzerliğe Göre Sipariş Tercihi Tekniği) yöntemleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bulanık LOPCOW yönteminin tercih edilme nedeni, değerlendirme işlemleri aşamasında ham verilerin negatif değerlerinden etkilenmemesidir. Aynı zamanda yöntemde, veri serisinin ortalama kare değerini standart sapmaların yüzdesi olarak ifade edildiğinden veri büyüklüğünden kaynaklı boşluk değerleri ortadan kaldırılabilecektir (Ecer ve Pamucar 2022). Bulanık COBRA yönteminde ise büyük boyutlu problemlerde işlem karmaşıklığından kaynaklı bir dezavantajı bulunsada her alternatif için dört grup kapsamlı mesafe hesaplamasına dayandığından elde edilen sonuçların daha güvenilir olduğu bilinmektedir. ÇKKV tutarlılığı için yapılan testler doğrultusunda, yöntemin tutarlılığı kanıtlanmaktadır (Kristi'c ve diğ. 2022).Literatür taraması sonucunda elde edilen verilere göre, Klasik LOPCOW yöntemi henüz yeni bir yöntem olduğundan çalışma alanı henüz genişletilmemiştir. Aynı zamanda bulanık sayılarla entegrasyonuna son yıllarda rastlanmaktadır. Çalışma metodolojisi Şekil 1.2 ile sunulmuştur. Çalışmanın özgünlüğünü ortaya koyan, literatürde ilk kez yer verilen durumlar aşağıdaki gibidir.

- BLOPCOW ve BCOBRA yöntemlerinin ilk kez aralık değerli bulanık sayılar ile entegre edilmesi

- Yöntemlerin ilk kez endüstriyel simbiyoz çalışmasında kullanılması
- BLOPCOW ve BCOBRA yöntemlerinin ilk kez hibrit kullanılması
- BCOBRA, BMAIRCA, BWASPAS ve BTOPSIS yöntemleri ilk kez bir arada kullanılmıştır.
- Sektör özelinde simbiyotik iş ortağı seçiminin ilk kez bir problem olarak ele alınması

Çalışmanın devam eden bölümlerinde, konuyla ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çözülmesi beklenen probleme dair kavramsal çerçeve yer almaktadır. Dördüncü bölümde kullanılan yöntem adımları ve beşinci bölümde ele alınan problemin uygulaması anlatılmıştır. Altıncı bölümde duyarlılık analizi ile yöntem sonuçlarının kararlılığı kontrol edilmiş, yedinci bölümde bulgulara yer verilerek sonuçlardan bahsedilmiş, sekizinci bölümde ise katkı ve öneriler sunulmuştur.



Şekil 1.2. Önerilen bütünleşik yöntem adımları

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde çalışmada ele alınan konu ve yöntemlere ait literatür sonuçlarına yer verilmiştir.

2.1 Endüstriyel Simbiyoz Alanında Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde endüstriyel simbiyoz kavramının ele alındığı çalışmalar incelenmiştir. Uygulama alanlarının, ele alınan problem ve kullanılan yöntemlerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma için 2020-2023 yılları arasında gerçekleştirilen 33 çalışma incelenmiştir.

Türken ve Geda, (2020), yaptığı çalışma ile endüstriyel simbiyoz uygulamalarının tedarik zinciri üzerine etkisini incelemiş ve simbiyotik tedarik zinciri kavramını tanımlamışlardır.

Maranesi ve Giovanni (2020), seçilen dört İtalyan firması için performans ile ilişkilerini tespit etmeye olanak tanımıştır. Çalışma bulgularında, simbiyoz uygulamasının, kurumsal stratejinin gelişimini tamamlayıp desteklediğinde gerçek bir iş kolu olduğunu vurgulanmaktadır.

Yeşilkaya ve diğ. (2020), orman endüstrisini baz alan kâğıt hamuru ve kâğıt üreticileri arasında simbiyotik ağı uygulaması gerçekleştirmiştir. Bu ağ içine su arıtma ve gübre tesislerine de yer vererek organik bir simbiyoz örneği oluşturmuşlardır. Bu çalışmada aynı zamanda matematiksel model kullanılmış ve ağda yer alan iş ortakları için CO_2 ve üretim maliyetlerini minimuma indirmeyi amaçlamışlardır.

Huang ve diğ. (2020), atık enerjisi ve atık suyu üzerine yapılan birçok endüstriyel simbiyoz optimizasyonu literatürüne kıyasla, çalışmalarında atık malzeme geri dönüşümü ve takas ağlarına dayalı bir endüstriyel simbiyoz optimizasyon modeli önermişlerdir. Üretim sürecindeki yan ürünler, atık malzeme akışlarının ana bileşenleri olarak ele alınmıştır. Optimizasyon modelini formüle

etmek için karışık-tam sayılı programlama yöntemi kullanılmış ve etkili bir yanıt almak için model, epsilon-sınır teknolojisi ile desteklenmiştir.

Wu ve Jin (2020), çalışmalarında demir ve çelik endüstrisindeki demir ve karbon metabolizması simbiyoz ağı için dört senaryo ile topolojik kavramsal model oluşturmuş ve endüstrinin dış çevresiyle ve sistemdeki aktörler arasındaki malzeme ve enerji akışını hesaplamıştır. Gerçekleştirdikleri çalışmayla demir ve çelik endüstrisindeki potansiyel simbiyoz ağı için bilimsel yönlendirme sağlamış, aynı zamanda gelecekteki düşük karbonlu tasarım ve yönetimi teşvik etmiştir.

Cao ve diğ. (2020), genellikle mikro düzeyde ki ulusal olarak ele alınan, endüstriyel parklar veya bölgelerle sınırlı olan enerji tasarrufu ve emisyon azaltma etkilerini ölçen çalışmaların dışına çıkarak, Çin'deki demir-çelik endüstrisi, termal enerji endüstrisi, çimento endüstrisi ve sosyal sektör tarafından oluşturulan simbiyoz sistemine odaklanmışlardır. Ulusal endüstriyel simbiyoz sisteminin Çin'in toplam simbiyoz potansiyeline etkisini açıklayarak, 2020-2030 yılları arasında vurgulanması gereken optimal simbiyotik teknolojileri belirlemişlerdir. Çalışmalarında yaşam döngüsü teorisinden faydalanmışlardır.

Zhu ve Hu (2021), karmaşık çoklu sanayi bölgesi için etkileşimli bir simbiyoz ağı yapısı sunmayı hedeflemişlerdir. Öncelikle mal grubu indirgeme yöntemi tanıtılmış ve çoklu-endüstriyel adım oluşturma süreci kurulmuş ve önerilen yaklaşım deney bölgesine uygulanmıştır. Çalışma neticesinde dört endüstriyi kapsayan 79 düğüm içeren çoklu simbiyoz ağı kurulmuş ve hangi endüstrilerin ek ayar ve tamamlama için manuel iş yükünü azaltacağına işaret edilmiştir.

Misrol ve diğ. (2021), seçilen atık su bölgelerinden su rejenerasyonu ve yeniden kullanım ağını ve biyogaz üretimini optimize edebilecek doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmanın temel amacı, kurulan simbiyotik ağın kârını maksimize etmektir. Neticede atık suların simbiyotik olarak merkezi bir tesise entegrasyonunu sunmuşlardır.

Foong ve diğ. (2021), palmiye yağı endüstrisinde palmiye yağı fabrikası, entegre biyogaz ve atık su arıtma sistemi, palmiye bazlı biyo-refineri ve birleşik ısı ve güç sistemi içeren bir endüstriyel simbiyoz örneği sunmuşlardır. Vaka

çözümünde, birden fazla sürecin entegrasyonu için yeni bir karmaşık tam sayılı doğrusal programlama modeli sunmuşlardır.

Wu ve diğ. (2021), endüstriyel simbiyoz ağının optimizasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Simbiyoz ağına, simbiyotik önlemler eklenmiştir ve uygulanan göstergeler, farklı senaryolarda iki metabolizmanın yapı, fonksiyon ve performanslarını kapsamlı olarak değerlendirmek ve karakterize etmek için kullanılmıştır.

Castiglione ve diğ. (2021), ürün, süreç ve organizasyon boyutlarını aynı anda ele alarak üretim sistemlerinde kaynak verimliliğini arttırmak adına bütünsel bir metodoloji önermişlerdir. Önerilen metodoloji etkinliğini gözlemlemek amacıyla bir İtalyan firmasında vaka olarak ele alınmıştır. Şirketin tüm gereksinimlerini belirlemek için eylem araştırma metodu kullanılmıştır. Test ve tasarım aşamaları yinelemeli olarak devam etmiştir. İşletme verimliliklerinin artırılması, yeni ve atık-yan ürünlerin yeniden kullanımı, endüstriyel simbiyozun önündeki engellerde dikkate alınarak kaynak verimliliğine etkisi değerlendirilmiştir. Tüm boyutların aynı anda ele alınması daha iyi ekonomik-çevresel performansa yol açabileceğini göstermektedir. Ayrıca, endüstriyel simbiyozun entegrasyonu kaynak verimliliği iyileştirme stratejisi ile eko-inovasyon eylemlerinin koordinasyonunu arttırmış ve daha iyi yatırım tahsisine yol açabileceği görülmüştür.

Foong ve Ng (2021), eko-endüstriyel parkların çok süreçli (enerji kazanımı, tesis için malzeme geri kazanımı, endüstriyel simbiyoz vs.) tasarımı için bir karmaşık tam sayılı doğrusal model önermişlerdir. Sentezleme ve süreç entegrasyon teknikleri sürdürülebilir bir eko-park için etkili stratejiler olarak kabul edilmiştir. Önerilen modelin, palmye yağı fabrikasında uygulaması gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel biyogaz ve atık sudan oluşan endüstride arıtma sistemi ve kombine ısı-güç sistemi kurulmuştur.

Sellitto ve diğ. (2021), Brezilya'da faaliyet gösteren imalatçı işletmeler için endüstriyel simbiyoz önündeki engelleri ve ilişkileri incelemişlerdir. İşletmeler arasında toplam sekiz ilişki ele alınmıştır. İşletmeler aralarında yaklaşık 300.000 ton yan ürün alışverişinde bulunmaktadır. Çalışma sonucunda işletmeler arasında aşırı

işleme maliyetlerinin, atık süreksizliği ve dengesizlik engellerinin ön plana çıktığı görülmüştür. İlişki yapılarında üç tek yönlü, beş kapalı döngü bulunmaktadır.

Akar ve diğ. (2022), yapmış olduğu endüstriyel simbiyoz girişimleri için uygun bölgelerin belirlenmesinde haritalama-tabanlı bir metodoloji oluşturma çalışmasında bir ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, Türkiye genelinde üretilen zeytin çekirdeği, mermer işleme atıkları ve plastik atıkları verileri için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile bütünleşik Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) kullanılmıştır. Sonuç olarak çalışmada ilgili atık türlerinde ağ oluşturma potansiyeli yüksek olan bölgeler belirlenmiştir.

Yazıcı ve diğ. (2022), toplamda 80 çalışmayı inceleyerek, endüstriyel simbiyoz kavramına dayalı çalışmalarda kullanılan yöntemleri derlemişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda, kesin yöntemler, sezgisel yöntemler, simülasyon ve ÇKKV yöntemleri olmak üzere dört ana başlık altında toplamışlardır. ÇKKV yöntemlerinin en az sıklığa sahip olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda bugünkü rekabet ortamında ve teknolojik gelişmelerle birlikte, işletmelerde yalnızca malzeme ve enerji değişimine odaklanılmasının yeterli olmadığını, işletmelerin lojistik, finansal ve makine-ekipmanı gibi üretim kaynaklarında da değişiklikler olabileceğini belirterek, simbiyoz ağındaki işletmeler arasında operasyonel süreçler için bu unsurların paylaşımının düşünülmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

C´arcano ve Peñabarena-Niebles (2022), literatür taraması yoluyla gelişmekte olan ve sınırda olan ülkelerin endüstriyel simbiyoz yaklaşımıyla atık kullanımı için sahip oldukları fırsatları ve zorlukları belirlemişlerdir.

Sonel ve diğ. (2022), endüstriyel simbiyoz iş ortaklığını etkileyen faktörleri, literatür taraması yaparak belirlenmiş ve bu faktörleri analiz ederek, verimsizlikleri ortadan kaldırmayı ve kurulan ilişkilerin sürdürülebilirliğini sağlamayı amaçlamıştır. Belirlenen kriterler, Analitik Ağ Prosesi (ANP) yöntemiyle ağırlıklandırılmış, önem derecesi ve öncelik hesaplanmıştır.

Khan ve Ali (2022), simbiyoz sürecinde atık yönetiminin belirlenmesinde kritik kolaylaştırıcıların uygulanması için Pakistan’da bir örnek vaka çözümlenmiştir. Çalışmada 16 kritik kolaylaştırıcı, beş ayrı kriter belirlenerek

değerlendirilmiştir. Belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması için SWARA yönteminden faydalanılırken, kritik kolaylaştırıcıların sıralanması için bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır.

Taqi ve diğ. (2022), döngüsel ekonomiye geçişte endüstriyel simbiyoz kavramını benimsemeye yaşanan zorlukları değerlendirmişlerdir. Belirlenen zorluklar için değerlendirmeyi DEMATEL yöntemini kullanarak gerçekleştirmiş ve kurumsal zorlukların en önemli zorluk olduğunu vurgulamışlardır.

Wang ve diğ. (2022), endüstriyel simbiyozun oluşumu için önemli faktörlerin ve ortaya çıkma mekanizmalarını incelemiştir. Çalışmalarında belirlenen sosyal, kurumsal ve teknolojik boyutlara göre elde edilmiş 37 faktörün doğrusal olmayan etkilerini 201 işletmenin katıldığı anket verilerinden yola çıkarak, makine öğrenmesi yolu ile analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, sosyal boyuttaki faktörlerin, işletmelerin temiz üretim ihtiyacından doğduğu ortaya konmuştur. Aynı zamanda yeniden kullanılan hammadde ve ürünlerin değişen kalitesi simbiyoz önündeki engelleri aşmada anahtar olarak tanımlanmıştır.

Zhang ve diğ. (2022), Çin’de aşırı tüketim ile öne çıkan kimya endüstrisinde, ekonomik büyüme ve kaynak tüketimi arasında bir denge kurmak adına yola çıktıkları çalışmalarında Akış Analizi, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Yaşam Döngüsü Maliyeti ve Veri Geliştirme Analizi yöntemlerini kullanmıştır. Endüstriyel parkta yer alan klor-alkali işletmeleri için üç farklı senaryo kurulan çalışmada, her senaryo için verimlilik hesaplanmıştır. Olumlu sonuç gösteren simbiyoz senaryolarının optimizasyonu ile klorun verimliliği, dönüşüm oranı ve üretimi iyileştirilmiştir.

Schlüter ve diğ. (2022), endüstriyel simbiyoz uygulamalarındaki kolaylaştırıcı faktörler üzerine ekonomik, sosyal ve çevresel etkilere dayalı bir çerçeve sunmuşlardır. Bağlantıların geliştirilmesi, koordinasyon, kapasite ve bilgi yönetim, değer değerlendirme ve dağıtım ve faydalı koşulların geliştirilmesi ve ölçeklendirilmesi olmak üzere beş kolaylaştırıcı faktör üzerinde görev tanımlamışlardır.

Chen ve diğ. (2022), endüstriyel simbiyoz faydaları için birleştirerek kapsamlı bir değerlendirme yöntemi önermeyi amaçladıkları kaynak verimliliğini temel alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada derinlemesine bir analiz yapabilmek adına malzeme, su ve enerji alışverişine bağlı olarak simbiyozu değerlendirmişlerdir. Çin’ de yer alan bir eko-parkta incelenen vaka neticesinde su ve enerji verimliliği artırılmış, emisyon etkisi azaltılmıştır. Endüstriyel park yöneticilerine simbiyoz ağlarını oluşturmak ve sürdürülebilir endüstriyel politikalar kurmak için değerlendirme aracı sunmuşlardır.

Uusikartano ve diğ. (2022), kamu ve özel sektör etkileşimi olarak endüstriyel simbiyozu ele almışlardır. İki vakanın simbiyoz sürecini nasıl planladıkları ve yönlendirdikleri incelenmiştir.

Agudo ve diğ. (2022), endüstriyel simbiyoz için özgün bir değerlendirme aracı sunmayı hedeflemişlerdir. Çalışmalarında iki boyut tanımlamışlardır: Değişim kaynakları, şirketin gerekli değişim yeteneğine sahip olma durumunu teşhis eder; değişim kapasitesi, güven, bilgi, erişim koşulları ve alt yapının değerlendirilmesidir. Boyutlar ve ilgili değişkenlerin tanımlanmasının ardından simbiyozla hazır olma durumu değerlendirilmektedir. Çalışmada değerlendirme aracı bir kontrol listesi olarak sunulmaktadır. Liste altı farklı endüstriye uygulanmıştır. İşletmelerin simbiyozla hazır olma durumları, tedarik zincirinde üretilen atıkların ölçülmesi ve mekanizmaların geliştirilmesine yardımcı olurken, kaynakların döngüsellikini değerlendirme fırsatı sunulmuştur.

Wang ve diğ. (2022), endüstriyel simbiyoz uygulamalarında yasal politikaların etkinliğini kurumsal operasyon perspektifinden araştırmıştır. Bir vaka çalışması üzerinde politika etkisi için, kurumsal girdi-çıkıtı modeli ve politika önlemleri (sübvansiyon ve cezalar) açısından bir çerçeve sunulmuştur. Sonuçlar, politikaların her durumda olumlu etkileri olduğunu ancak marjinal faydayı azalttığını göstermiştir. Politikanın varlığının atık arz ve talebi üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür. Atık arzı talepten daha küçük olduğunda, bir ceza politikası işletmeleri simbiyoz iş birliğine teşvik edebilmektedir.

Fahmy ve diğ. (2022), genel ve sistematik bir karar destek metodolojisi ile endüstriyel kümelerin simbiyotik gelişimini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında

teknolojik-ekonomik üstyapı optimizasyonu ve Monte-Carlo simülasyonu kullanarak ahşap işleme endüstrisinde üç vaka için simbiyotik fırsatları belirlemiş ve değerlendirmişlerdir. Kullanılan metodolojide modüler formülasyonun esnekliği ve endüstriyel tesisler için talep odaklı bir model olması avantaj sağlamaktadır.

Filimonau ve Ermolaev (2022), Rusya gıda endüstrisinde, gıda atıklarını geri kazanma potansiyelini araştırmıştır. Geri kazanım politikası kaynak verimliliği temelinde endüstriyel simbiyozla dayandırılmıştır. Gıda atıklarının toplanarak, daha sonra hayvan yemi ve gübre yapılması konusunda, gıda dağıtıcıları ve çiftçiler ile yapılan görüşmeler neticesinde, çalışma için seçilen paydaşların simbiyoz ilişkilerine açık olduğu görülmüştür. Gıda atığı geri kazanım aracı olmasının yanı sıra sosyal ve ağ sermayesini pekiştirme fırsatı olarak sürdürülebilir tedarik zinciri kurulması fırsatını da göstermektedir.

Yu ve diğ. (2023), Moğolistan özerk bölgesinde yer alan Ulah Buh çölünde simbiyotik ilişkilerin optimizasyonuna odaklanmıştır. Bölgedeki çevresel, ekonomik ve sosyal hedefleri optimize edebilmek adına karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada ele alınan bölgede üzüm yetiştirme, şarap işleme ve inek yetiştiriciliği alanlarında simbiyotik ilişkiler ele alınmış ve çevresel faktörler % 36 iyileştirme sağlanmıştır.

Neri ve diğ. (2023), sanayide yeterince kullanılmayan enerjiden daha iyi yararlanmak için bölgelerde, enerji simbiyozunu yani endüstriyel simbiyozun enerji temelli bir perspektifini keşfetmek için karmaşık tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Önerilen model eş zamanlı olarak ekonomik ve çevresel etkilerin optimizasyonunu amaçlamaktadır. Yapılan çalışmada pil desteği olan ve olmayan iki vaka karşılaştırması yapılmıştır, sonuçlarda enerji maliyetlerinde %43,46 oranında tasarruf sağlanırken, sera gazı emisyonlarının %84,59 azaldığı hesaplanmıştır. Model sanayide yeşil ve geri kazanılmış enerji kullanımını teşvik ederek, simbiyoz örneği sunmaktadır.

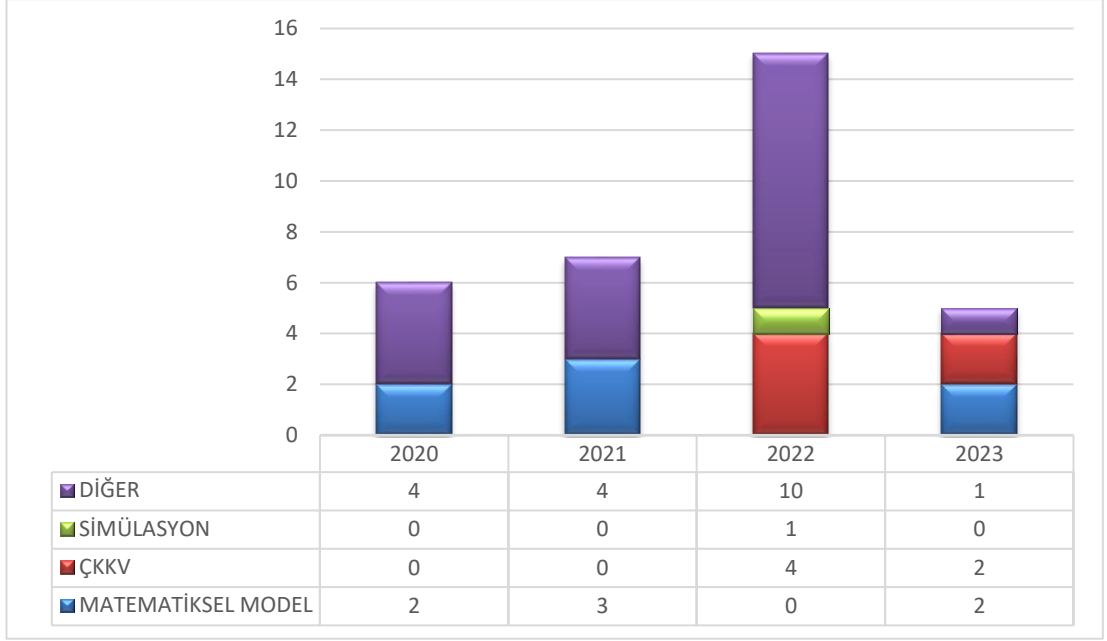
Zolfani ve diğ. (2023), endüstriyel simbiyoz kavramının da içinde yer aldığı kaynak kurtarma iş modelini ele almıştır. Çalışmalarında orta ve küçük ölçekli işletmelerin karşılaştığı engelleri değerlendirmişlerdir. Kapsamlı bir literatür taraması sonucunda 25 engel listelenmiştir. Bu engellerin önem ağırlıklarının

hesaplanmasında ÇKKV yöntemlerinden Kademeli bulanık SWARA (Adım Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi) kullanılmıştır. Belirlenen sekiz strateji için ağırlıklandırılan engelleri ne ölçüde aşabileceğini sıralayabilmek adına Bulanık MARCOS (Uzlaşma Çözümüne Göre Alternatiflerin Ölçülmesi ve Sıralaması) yöntemini kullanmışlardır. Değerlendirmeler neticesinde en kritik engellerin iş birliği ve ikincil malzeme tedarik zinciri olduğu belirlenmiştir.

Agudo ve diğ. (2023), endüstriyel simbiyoz ile ilgili olmasına rağmen koşullara hazır olup olmadığını değerlendirmekte güçlük çeken firmalar için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma işletmelerin simbiyozla hazır olma durumuna engel teşkil eden faktörleri değerlendirmektedir. Teorik olarak “Simbiyotik Hazırlık Değerlendirme Aracı” geliştirmişlerdir. Ampirik düzeyde endüstriyel parklarda yer alan 201 firmaya anket uygulanmıştır. Anket verileri ile istatistiksel olarak faktör analizi yapılmıştır. Yapılan değerlendirme ve çalışmalar neticesinde; simbiyozla hazır olma durumunda işletmelerin sahip olması gereken faktörler şu şekildedir: su ve enerji kaynaklarının mevcudiyeti, atık ve yan ürünlere gibi kaynakların alışveriş imkânı ve bilgi erişim kolaylığı.

Yazıcı ve diğ. (2023), endüstriyel parklarda yer alan sektörlerin çeşitliliğinden yola çıkarak çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sürdürülebilirlik ve simbiyotik ilişkileri ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Endüstriyel parklarda simbiyotik ağ çalışmaları için sektör önceliklendirme problemini bir bulanık ÇKKV problemi olarak ele almış ve Bulanık AHP (Analytic Hierarchy Process) ve Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri ile çözümlenmiştir. Sonuçlarda döküm sektörüne öncelik verilmesi görülürken, petrol ve kimya endüstrilerinin döküm sektörünü takip ettiği görülmüştür.

Simbiyoz çalışmalarında birçok yöntemin kullanıldığı incelemeler sonucunda görülmektedir. Yöntemlerin yıllara göre dağılımı Şekil 2.1’de sunulmuştur. 2020 ve 2021 yıllarında malzeme akış analizi gibi diğer olarak tanımlanan yöntemlerle yapılan çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. Ancak 2021 yılından başlayarak ÇKKV yöntemleri artarak simbiyoz çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.1: Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında kullanılan yöntemlerin yıllara göre dağılımı

Simbiyoz çalışmalarında problem yapısı ve çözümüne ilişkin detaylara Tablo 2.1’de yer verilmiştir. 2021 yılında görülen simbiyoz probleminin ÇKKV ile çözümünde operasyonel karar problemi ile karşılaşılmaktadır. İlerleyen zamanlarda stratejik karar problemleri ve kavramsal çalışmalarda da ÇKKV yöntemlerinden faydalandığı görülmüştür.

Tablo 2.1: 2020-2023 yılları arasında yapılan simbiyoz çalışmalarında kullanılan çözüm yöntemleri

Yıl	Yazar	Karar Problemi			Çözüm Yöntemi			
		OK	SK	KK	DP	ÇKKV	SY	DİĞER
2023	Yu ve diğ.	✓			✓			
2023	Neri ve diğ.	✓			✓			
2023	Zolfani ve diğ.			✓		✓		
2023	Agudo ve diğ.		✓					✓
2023	Yazıcı ve diğ.	✓				✓		
2022	Yazıcı ve diğ.			✓				✓
2022	C'arcano ve Peñabaena-Niebles		✓					✓
2022	Sonel ve diğ.		✓			✓		
2022	Khan ve Ali	✓				✓		
2022	Taqi ve diğ.		✓			✓		
2022	Wang ve diğ.		✓				✓	
2022	Zhang ve diğ.		✓					✓
2022	Schlüter ve diğ.		✓					✓
2022	Chen ve diğ.	✓						
2022	Uusikartano ve diğ.			✓				
2022	Agudo ve diğ.		✓					
2022	Wang ve diğ.			✓				
2022	Fahmy ve diğ.		✓					
2022	Filimonau ve Ermolaev			✓				
2021	Zhu ve Hu	✓						
2021	Misrol ve diğ.	✓						
2021	Foong ve diğ.	✓			✓			
2021	Wu ve diğ.		✓					
2021	Akar ve diğ.	✓				✓		✓
2021	Castiglione ve diğ.		✓					✓
2021	Foong ve Ng		✓					✓
2021	Sellitto ve diğ.			✓				✓
2020	Türken ve Geda			✓				✓
2020	Maranessi ve diğ.			✓				✓
2020	Yeşilkaya ve diğ.	✓						✓
2020	Huang ve diğ.		✓		✓			
2020	Wu ve Jin		✓					✓
2020	Cao ve diğ.		✓					✓

OP: Operasyonel Karar, **SK:** Stratejik Karar, **KÇ:** Kavramsal Çalışmalar, **DP:** Doğrusal Programlama, **ÇKKV:** Çok kriterli karar verme, **SY:** Simülasyon Yöntemleri, **Diğer:** Anket, Yaşam Döngüsü Analizi vb.

2.2 Aralık Değerli Küresel Bulanık Kümelerin Kullanıldığı Çalışmalar

Aralık Değerli Küresel Bulanık Kümeler Gündoğdu ve Kahraman tarafından (2019b) literatüre kazandırılmıştır. Günümüze dek IVSFS ile birlikte sunulan klasik yöntemlere ait BÇKKV çalışmaları Tablo 2.2’de sunulmuştur.

Tablo 2.2: Aralık değerli küresel bulanık kümelerin kullanıldığı ÇKKV yöntemleri

Yıl	Yazar	Yöntem	Amaç
2019	Gündoğdu Kahraman	ve TOPSIS	3D yazıcı seçimi
2020	Gündoğdu Yörükoğlu	ve SAW&WPM	Sigorta seçimi
2021	Gül ve Yücesan	TOPSIS	Hastanelerin pandemiye karşı hazır olma durumu değerlendirilmesi
2021	Jin ve diğ.	ORESTE	Temel ürün kalite özelliklerinin sıralaması
2021	Aydoğdu ve Gül	ENTROPİ&ARAS	3D yazıcı seçimi
2021	Farrokhzadeh ve diğ.	TOPSIS	Reklam stratejisi seçimi
2022	Erdoğan	SWARA&MAIRCA	Tarım 4.0 teknolojilerini değerlendirme & sıralama
2022	Menekşe ve Akdağ	CODAS	COVID-19 döneminde akademik birimlerin hazır bulunma durumlarının değerlendirilmesi
2022	Menekşe ve Akdağ	ELECTRE	İç Denetim Planlaması
2023	Atak ve diğ.	AHP&TOPSIS	Ticari gemi için motor seçimi
2023	Zarei ve diğ.	BWM	Kimyasal tesis bakım fonksiyonları değerlendirme
2023	Jiang ve diğ.	DEMATEL&BWM	Yenilenebilir enerji önündeki engellerin değerlendirilmesi
2023	Bouraima ve diğ.	SWARA&TOPSIS	Toplu taşıma strateji planı değerlendirme
2023	Otay	AHP&MULTIMOORA	Teknoloji merkezi konum seçimi
2023	Menekşe ve Akdağ	EDAS	Bilgi Teknolojileri alanında denetçi seçimi
2023	Menekşe ve Akdağ	CRITIC&WASPAS	Tıbbi atık planlaması

2.3 LOPCOW ve Bulanık LOPCOW Yöntemlerinin Kullanıldığı Çalışmalar

LOPCOW yöntemi Ecer ve Pamucar tarafından (2022) literatüre kazandırılmıştır. Günümüzde önerilen yöntem diğer ÇKKV yöntemleri ile hibrit olarak ve bulanık sayı kümelerine entegre edilerek gelişmeye, kullanılmaya devam etmektedir. Yöntemi ele alan çalışmalar Tablo 2.3’de sunulmuştur.

Tablo 2.3: LOPCOW yönteminin hibrit kullanıldığı çalışmalar

Yıl	Yazar	Yöntem	Bulanık Sayı Kümesi			Amaç
			QBS	FBS	NBS	
2022	Ecer ve Pamucar	LOPCOW & DOBI				Banka için sürdürülebilirlik performansı değerlendirme
2022	Biswas ve diğ.	LOPCOW & EDAS				Gelişmekte olan piyasalar için Satış & Operasyonel performans değerlendirme
2022	Bektaş	LOPCOW&MEREK & COCOSO&EDAS				Türk Sigorta sektöründe performans değerlendirme
2022	Niu ve diğ.	LOPCOW & EDAS		✓	✓	Demiryolu hat yönetimi için yer seçimi
2023	Ulutaş ve diğ.	LOPCOW&PSI & MEREK&MCRAT				Bina yalıtımı için uygun malzeme seçimi
2023	Ecer ve diğ.	LOPCOW & VIKOR	✓			İnsansız hava araçlarının tarımdaki yerini değerlendirme
2023	Simic ve diğ.	LOPCOW & ARAS			✓	Endüstri 4.0 tabanlı taşıma araçlarını önceliklendirme
2023	Ecer ve diğ.	LOPCOW & COCOSO			✓	Kentsel ulaşımında mikro mobilite çözümlerinin sürdürülebilirlik analizi

QBS: Q-Rung Bulanık Set, **FBS:** Fermetean Bulanık Set, **NBS:** Nötrosifik Bulanık Set

2.4 COBRA ve Bulanık COBRA Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar

COBRA yöntemi Krstić ve diğ. (2022) tarafından endüstri 4.0 teknolojilerinin değerlendirildiği bir çalışma ile literatüre sunulmuştur. Yöntem çok yeni olduğu için hibrit ve entegre edilmiş çalışmalar sınırlıdır. Yöntemden faydalanılan çalışmalar Tablo 2.4 ile sunulmuştur.

Tablo 2.4: COBRA yönteminin hibrit kullanıldığı çalışmalar

Yıl	Yazar	Yöntem	Bulanık Sayı Kümesi	Amaç
2022	Gabrijela ve diğ.	MEREC & COBRA		E-Ticaret geliştirme stratejisi seçimi
2023	Krstić ve diğ.	BWM & COBRA		Inter-model terminal operasyonlarında yönetim modellerinin değerlendirilmesi
2023	Tadić ve diğ.	AHP & COBRA	Üçgen Bulanık Sayı	Şehir lojistik sistemleri için akıllı malzeme taşıma çözümleri seçimi

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde problemde ele alınan konular ve uygulamanın gerçekleştirileceği sektör tanımlanacaktır. Endüstriyel simbiyoz kavramının ardından, kablo sektörünün simbiyotik ilişki potansiyeli ve ihtiyacına yer verilecektir.

3.1 Endüstriyel Simbiyoz

İlk olarak Frosch ve Gallopoulos (1989) tarafından ortaya atılan ‘Endüstriyel Ekoloji’ ve ‘Endüstriyel Ekosistem’ kavramları ile birlikte endüstriyel faaliyetlerin doğal yaşam ile benzerliği ortaya konmuştur. Bu kavramların çalışmalara konu olduğu ilk zamanlarda temel prensip endüstriyel ekosistem içinde yer alan işletmelerin atığının bir diğeri için girdi olarak tanımlanması ve bu döngü ile çevresel etkilerin azaltılmasıdır (Özkan ve diğ. 2018). Endüstriyel üretim ile birlikte; su ve toprak kaynaklarının tükenmesi, sera gazlarında artış ve doğal kaynakların tükenmesi gibi sorunların oluşması doğrultusunda ‘Endüstriyel Ekoloji’ kavramı ile çevreye duyarlı bir üretim ve tüketim anlayışı geliştirilmesi için dengeli ve sürdürülebilir stratejilere yaklaşma söz konusu olmuştur (Demircioğlu ve Ever 2020). ‘Endüstriyel metabolizma’ kavramı ise ilk olarak Ayres (1989) tarafından ortaya atılmıştır. Ayres’i, Frosch ve Gallopoulos’tan ayıran nokta madde ve enerjinin yanı sıra insan gücünü de döngüye dâhil etmesi ve prosesler bütünü olarak tanımlamasıdır (Özkan ve diğ. 2018). Garner (1995) yılına kadar yapılmış olan tanımları derleyerek endüstriyel ekoloji kavramını kapsamlı ele almıştır. Garner’a göre endüstriyel ekoloji; endüstriyel ve ekolojik sistemler arasındaki etkileşimleri sistematik bir şekilde inceleyerek, madde ve enerji akışları dönüşümleri üzerine çalışmaktadır. Aynı zamanda birden fazla disiplini ilgilendiren multidisipliner bir yaklaşım içermektedir. Bu yaklaşım, doğrusal (açık) prosesler sisteminden döngüsel (kapalı) sisteme doğru bir değişimi ifade etmekte ve bu sayede bir işletmenin atığı diğer bir işletmenin girdisi olarak kullanılabilir hale gelmektedir. Endüstriyel ekoloji, endüstriyel sistemlerin ekolojik sistemler üzerindeki çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik bir uygulama olarak da görülebilir. Ayrıca, endüstriyel faaliyetlerin ekolojik sistemlere uyumlu bir şekilde entegre edilmesi hedeflenir.

Endüstriyel sistemlerin daha etkin ve sürdürülebilir olan doğal sistemlere benzemesinin sağlanması da endüstriyel ekolojinin bir amacı olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, endüstriyel ve doğal sistemlerdeki hiyerarşilerin belirlenmesi ve karşılaştırılması yoluyla potansiyel çalışma ve eylem alanlarının tespit edilmesi de önemli bir bileşendir (Özkan ve diğ. 2018).

Frosch ve Gallopoulos (1989) yayınladıkları makalede, endüstriyel atıkların başka proseslerde hammadde olarak kullanılmasına ilk kez değinmiştir (Temiz Üretim Teknolojileri 2023). 'Endüstriyel Simbiyoz' terimi ise ilk olarak Lowe ve Evans tarafından (1995) kullanılmıştır (Demircioğlu ve Ever 2020). Fransızca *symbiose*, "Birlikte ve birbirine bağımlı olarak yaşama.", kelimesinden doğan simbiyoz kavramı biyolojide birden fazla türün, farklı yaşam gruplarının bir arada veya birbirinin lehine bir döngü kurdukları ortak yaşam alanı anlamına gelmektedir. Birçok farklı disipline konu olan simbiyotik ilişkiler işletme alanında 'Endüstriyel Simbiyoz' olarak karşımıza çıkmaktadır (Mücevher 2021). Danimarka'nın Kalundborg şehrindeki bir endüstri parkındaki başlangıcından bu yana 1972'den bu yana uygulayıcılar ve araştırmacıların dikkatini çekmiş ve Kalundborg Simbiyoz Birliği'nin kurulmasıyla birlikte endüstriyel simbiyoz kavramı daha da yaygınlaşmıştır (Turken ve Geda 2020). Sonrasında 2005 yılında İngiltere Ulusal Endüstriyel Simbiyoz Programı ve 2013 yılında Avrupa Endüstriyel Simbiyoz Derneği gibi diğer ülkelerde de benzer programlar başlatılmıştır (Temiz Üretim Teknolojileri 2023).

2015 yılında Cambridge Üniversitesinde sunulan bir raporda simbiyoz malzeme ve enerjiyi içeren beş farklı tipolojide olduğu belirtilmiş ve tipolojiler şekilde tanımlanmış ve Şekil 3.1'de gösterilmiştir:

Merkez (Hubs): bir merkez, endüstriyel simbiyoz literatüründe "çekirdek kiracı" olarak adlandırılan bir işlevi yerine getiren bir operasyondur (Chertow 2000). Bu çekirdek kiracı, girdileri veya çıktıları geniş bir endüstri yelpazesine stratejik olarak önemli olan bir şirket olarak tanımlanabilir. Çekirdek tesis farklı endüstrilerden firmalar için çekici noktadır. Bu nedenle ortaklık yapmaya karar verildiğinde, ortak seçim sürecinin sıkı olması önemlidir. Sürdürülebilirlik olgunluğu ve endüstriyel park için vizyona katılım önem kazanır, çünkü bir merkez, siteye kimlerin yerleşeceği konusunda büyük bir etkiye sahiptir. Bu tipolojide gereken

yeteneğe sahip ve bu yeteneği geliştirebilir durumda olan bir merkez için simbiyozu stratejik olarak yönetmek avantajlı olabilecektir ancak kiracının ağı dahil olmasından dolayı karşılaşılabilecek riskler ve birlikte yerleşik müşterilere sahip olma avantajının yanı sıra muhtemel rekabet ortamında merkezin dikkatli bir ön inceleme yapması hayati öneme sahiptir. Aksi durumlarda zarar gören bir merkez nedeniyle sistem çökme riskine sahiptir.

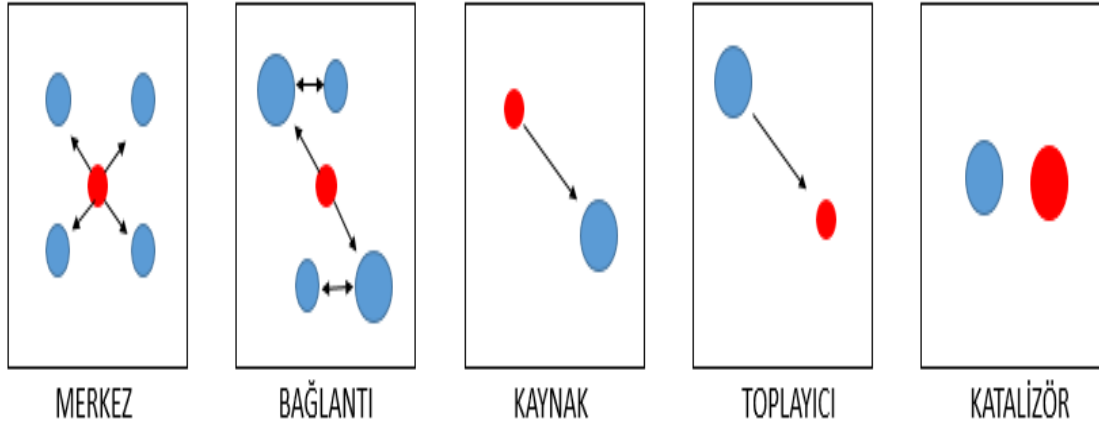
Bağlantı (Links), bir bağlantı tesisin, iki ayrı değer zinciri arasında köprü kurması durumudur. Bir merkez kadar stratejik öneme sahip olması gerekmez. Tekstil ve şeker değer zincirlerinden girdi malzemeleri potansiyel olarak alabilen bir kâğıt fabrikası örnek olarak bu tipolojiye uygundur (Zhu ve Cote 2004). Daha az stratejik öneme sahip olması ve sonuç olarak genel ekosistemde daha az güce sahip olması nedeniyle, potansiyel bir ortaktan beklentiler daha esnek olabilir. Bağlantıların vizyona karşı duyarlı olmaları gerekmele birlikte, mevcut sürdürülebilirlik olgunluğu kritik değildir. Değer zincirleri arasında köprü kurdukları için, değerlerin nasıl paylaşılacağına dair iş planı önemlidir.

Kaynak (Sources), sürece girdi sağlayan bir tesis olarak tanımlanmaktadır. Bu girdi bir ürün veya yan ürün olabilir. Simbiyotik ağ görevinde yetenek oldukça önemlidir ve operasyonel mükemmellik son derece arzu edilir. Parkın geneline kıyasla nispeten sınırlı stratejik önemleri nedeniyle, sürdürülebilirlik açısından henüz mükemmel olmaları gerekmez, sadece potansiyele sahip olmaları yeterlidir. Karşılıklı faydalı bir iş planına ulaşmak önemlidir, ancak uzun vadeli bir tedarikçi ilişkisi için gelişimleri şarttır.

Toplayıcı (Sinks), süreçte müşteri olarak görev yapmaktadır. Ürün ya da yan ürünü alır. Dış kaynakları da kullanarak ortak işletilirler. Simbiyotik ağ içerisine doğrudan girdi sağlamadıklarından, görev yeteneği ve operasyonel mükemmellikleri önemli değildir. Sadece istikrarlı bir şirket olmaları ve duyarlı olmaları gerekmektedir ve mümkünse sürdürülebilirlik olgunluğu potansiyeline sahip olmaları tercih edilir.

Katalizör (Catalyst), ağ dahilinde doğrudan kaynak alışverişi yoktur. Sistemdeki bilgi veya muhtemelen katalize edeceği yenilik nedeniyle siteye yerleştirilirler. Sonuç olarak, onların temel özelliği, olgun, olgun büyük bir şirket

olmaları ya da olgunluk potansiyeline sahip gibi görünen yenilik dolu küçük bir şirket olmalarıdır.



Şekil 3.1: Endüstriyel simbiyoz tipolojileri (Probert ve Cole 2015).

2000’li yıllardan itibaren daha ileri düzeylerde tartışılmaya ve çalışmalara konu olmaya başlayan endüstriyel simbiyoz kavramı Chertow tarafından derlenerek beş işleyiş şekli tanımlanmıştır (Chertow 2000; Chertow 2007)

- Atık değişimi üzerinden: Geleneksel yöntemlerden biri olarak tanımlanmakta ve simbiyoz kavramına uymadığı savunulmaktadır. Ömrünü tamamlamış olan ürünlerin geri kazanımına dayanmakta ve yalnızca bazı kimyasalların satıldığı bir uygulama şeklidir.
- Bir firma veya organizasyon üzerinde: Birbiri ile coğrafi yakınlığa sahip olan işletmelerin malzeme değişimi üzerine kurulmuştur.
- Eko-endüstriyel park içerisinde yer alan işletmeler arasında: Bu ağda yer alan firmalar malzeme, enerji ve su değişiminin yanı sıra; taşıma, pazarlama gibi bilgi servislerini de barından bir döngü kurulmasına dayanmaktadır. Simbiyozun etkin örneği olarak tanımlanabilmektedir.
- Yerleşik olmayan yerel işletmeler arasında; birbirinden bağımsız olarak çalışan firmalar arasında kurulan bir döngüye dayanmaktadır. Ağ için bir başlangıç noktası bulunabilir ve boşluklar yeni kurulan işletmeler ile doldurabilir.

- Geniş bir alanda sanal olarak organize edilen işletmeler arasında; Simbiyozun, coğrafi yakınlık avantajından oldukça uzak bir örnektir. Simbiyotik amaçla yapılan taşımalar hem maliyetli hem de birden fazla değişkene bağımlıdır. Ancak; sanal bağıllık, farklı alanlardan işletmelerin paylaşım olanaklarını arttırmaktadır.

Simbiyoz çalışmalarında geline son durumda, eko-endüstriyel park içerisinde bulunan ve sanal olarak organize edilen işletmeler arasında kurulan simbiyotik ağ örneklerine sanayide gerçekleştirilen paylaşımlarda sıklıkla rastlanmaktadır (Özkan ve diğ. 2018).

Özetle; endüstriyel simbiyoz kavramı, coğrafi yakınlığı olan, birbirinden farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler arasında; malzeme, su, enerji, yan ürünler ve proses atıklarının fiziksel olarak akışını sağlamayı motive eden bir yaklaşım olarak tanımlanabilmektedir (Özkan ve diğ. 2018). Sanayide uygulanabilirliği oldukça yüksek olan endüstriyel simbiyoz, bütünsel ve sistematik bir yaklaşım sunması, aynı zamanda birçok çevresel yönetim kriterini barındırması nedeniyle tercih edilmektedir. Simbiyotik ilişkide mevcut işletmeler için yenilikler yapılabilirken, yeni kurulacak olan işletmelerinde kolaylıkla simbiyotik ağa dâhil edilebilmesi avantaj olarak değerlendirilmektedir (Moberg 2006). Endüstriyel simbiyoz uygulamaları ile kaynak kullanımı optimize edilmekte, iş birliği kurulabilmekte ve sürdürülebilirlik sağlanmaktadır. Kaynakları en etkili ve verimli şekilde kullanmayı hedefleyen bu kavram, atık azaltılması ve atık oluşumunun önlenmesine yönelik çalışmakta aynı zamanda ekonomik, sosyal, çevresel fayda sağlamaktadır. Bir işletmenin bir diğ.erin atığını veya yan ürününü kullanması, arada iş birliği kurulmasını teşvik etmekte böylece işletmeler arasında birbirine bağımlılık yaratarak işletmelerin birbirlerine olan güvenlerini artırmakta ve yerel ekonomik kalkınmaya da katkıda bulunmaktadır. Bunları takiben sürdürülebilirlik hedefi doğrultusunda ilerleyen endüstriyel simbiyoz çalışmaları ile doğal kaynaklar korunabilmekte ve kaynakların gelecek nesillere aktarılmasına olanak sunulmaktadır. Böylelikle sürdürülebilirlik hedefine yenilikçi çözümler ve teknolojilerin kullanımı teşvik edilmektedir (Ghisellini ve diğ. 2016).

3.1.1 Endüstriyel Simbiyoz Uygulamalarının Önündeki Engeller

Endüstriyel simbiyozun uygulanması, bir dizi zorluk tarafından engellenmektedir. Endüstriyel simbiyozun yaygın olarak benimsenmesini engelleyen çeşitli zorluklar ele alınırken; teknolojik, organizasyonel, sosyal ve ekonomik olmak üzere dört bağlamda incelenmiştir (Taqi ve diğ. 2022).

Teknolojik engeller, simbiyoz uygulamalarındaki temel konudur. Teknik olarak gerçekleştirilememesi, erişim eksikliği ve teknolojiye karşı olumsuz bakış açıları gibi sorunlar ile simbiyoz ağı sektöre uğrayabilmektedir.(Maabool ve diğ. 2019; Grant ve diğ. 2010; Lyons 2005). Golev ve diğ. (2015) ,yaptığı çalışmada teknolojik eksikliklerin sinerji önünde bir engel olduğunu savunurken, diğer yandan teknolojik varlıkların bilgi güvenliğini tehdit eden, hatalı veri yayılımına neden olan bir unsur olduğunu belirtmişlerdir.

Organizasyonel bağlam, bir işletmenin veya firmaların ilgili çıkarlarına odaklanan tüm unsurları ve konuları kapsar. Bu bağlamda, özellikle üst veya ara yönetim desteğinin eksikliği, organizasyonel kültürdeki değişim zorlukları ve şirketlerde endüstriyel simbiyoz hakkındaki tam farkındalık ve bilgi eksikliği gibi zorluklar, başarılı bir şekilde uygulanmasını engelleyen faktörlerdir (Golev ve diğ. 2015).

Sosyal engeller, iş ortakları arasında anlaşmazlıklar, ittifak ve uyumun önemi olarak nitelendirilmektedir (Herczeg ve diğ. 2018). Ayrıca Endüstriyel simbiyoz uygulamalarının sürdürülebilirliği için müşterilerin endüstriyel simbiyoz hakkında anlayışsızlığı, uygulamada ki ana engellerden biridir (Golev ve diğ. 2015). Bu engellerin yerel düzeyde, ortaya çıkan etki seviyelerinde farklılık olabileceği iddia edilmektedir.

Endüstriyel simbiyozun sürdürülebilir büyümeyi maliyet-etkin bir şekilde teşvik eden ilerlemeler çerçevesi olduğu düşünülmektedir (Taqi ve diğ. 2022). Büyüme yolunda ekonomik engeller, devlet teşviklerinin eksikliği olarak tanımlanabilmektedir. Yerel yönetimin birçok durumda insan ve varlıkların sağlanması, altyapı finansmanı gibi konularda endüstriyel simbiyozun desteklenmesine yardımcı olabileceğini belirtilmektedir (Södergren ve Palm 2021).

3.1.2 Başarılı Bir Endüstriyel Simbiyoz Nasıl Şekillenir?

Endüstriyel eko parklar organik olarak ortaya çıkma eğilimindedir. Chertow ve Ehrenfeld, bu yaklaşımın önde gelen savunucularındandır. Bölgesel düzeyde endüstriyel simbiyozun temel noktalarını keşfetmeye ve gelişimlerine engel olan durumları kaldırmaya odaklanıp kendi etkinliklerini sınırlamaktadırlar. Bu görüşler iş ortağı seçimi konusunda kısıtlayıcıdır ve pasiflik nedeniyle endüstriyel ekosistem ilerleyişinin de önünde engel teşkil edebilmektedir (Chertow ve Ehrenfeld 2012; Ehrenfeld ve Gertler 2008).

Ağda yer alan iş ortaklarının birbirleri arasında keşfedilmiş değişimlerin faydalı yönlerinden çıkarımlar elde etmesiyle yarı-organik süreçler mantığıyla geliştirilen simbiyoz örnekleri bulunmaktadır. Başlıca örnekler British Sugar (Probert ve Cole 2015) ve Kalunborg (Ehrenfeld ve Gertler 2008) olarak belirtilmektedir. Bu örnekler organikliğin süreçleri nasıl kolaylaştırdığını açıkça göstermektedir. Simbiyoz uygulamalarında, araçlar ve yapılar kolaylaştırılmalı, engel oluşturmamalıdır. Planlı yapıların organik yapılara göre başarısız olma durumu, organik yapıları savunmada ikna edici bir yargı olmaktadır (Probert ve Cole 2015).

Organik oluşumların desteklenmesi, mantık çerçevesinde ele alındığında “süreçlerin belli bir hedef-sonuç noktası bulunmamaktadır.” olgusuna dayanmaktadır. Süreçteki etki eksikliği ne kadar olursa olsun sonuç iyidir. Endüstriyel simbiyoz, ilk doğduğu formuyla “diğer amaçların yolundaki beklenmeyen bir sonuç” olarak kabul görmektedir (Tudor ve diğ. 2007).

Endüstriyel simbiyoz örneklerinde kendiliğinden ortaya çıkan oluşumlar, tamamen optimal sonuçlar vermese de uygun bir süreç ve çözüm ortaya çıkmaktadır. Diğer bir yandan ortaya çıkması için olağan süreçlerin oluşmadığı simbiyoz ihtimalleri kendiliğinden ortadan kalkmaktadır (Probert ve Cole 2015). Ancak planlı simbiyoz uygulamalarında bahsedilen durumun aksine talep edilen bir son durum dayatılmaktadır. Sonuca ilişkin belirlenen süreçlerin temelinde malzeme akışlarının eşleştirilmesi bulunmaktadır. Bu temel dâhilinde dahi sınırsız seçenek arasından yalnızca bir kısmına odaklanılarak, ağın esnekliği ortadan kaldırılır (Cohen-Rosenthal 2000). Günümüzde planlı simbiyoz örneklerinin ve organik oluşan simbiyoz ilişkilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların sayısı artmaktadır. Ortaya

çıkabilecek olumsuzlukların önüne geçebilmek adına birçok hesaplama yöntemi, analitik çözümler sunulmaktadır (Yazıcı ve diğ. 2022).

Özetle; endüstriyel simbiyoz ağlarında, ilişkilerin oluşması ve iş ortaklarının seçimi aşamasında, kademeli ve deneysel ilerlemenin faydalı olacağı vurgulanmaktadır. Sonuç değil, bir sonraki adımın planlanması ağ ilişkilerini kurma sürecini kolaylaştırarak, güvenilir ortaklıklar kurulması önerilmektedir. Kullanılan süreçlerde faydalanılan araçların süreci zora sokmayacağından ve olağan akışın önünde engel oluşturmayacağından emin olunmalıdır. İş ortaklıklarının kurulmasının ardından her iki tarafında kazanması gerekliliğinin göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanmaktadır (Probert ve Cole 2015).

3.1.3 Sürdürülebilir Endüstriyel Simbiyoz için Değerlendirme Kriterleri

Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında kullanılan kriterler, literatür taranarak elde edilmiştir. Kriterler genellikle çevresel, ekonomik, yasal ve sosyal olmak üzere dört ana kriter altında incelenmektedir (Sonel ve diğ. 2022; Tseng ve diğ. 2017; Hendiani ve diğ. 2020). Bu kriterlere ek olarak endüstriyel simbiyoz ağlarındaki firmaların bağlantılı olması nedeniyle olası bir durumda ağda domino etkisi yaratarak ağın bozulmasına sebebiyet verme riski bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik konusunda engel teşkil eden durumların önüne geçebilmek için ağ tasarımlarında dayanıklılık oldukça önemlidir (Yu ve diğ. 2014). Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında ilk kez ana kriter olarak ele alınan dayanıklılık kriterlerinin ve uzman görüşmeleri neticesinde uygulamaya fayda sağlayacağı düşünülen kriterlerin de dahil edildiği literatür tarama sonucunda elde edilen tüm kriterler ve kriterlere ait tanımlamalar Tablo 3.1’de sunulmuştur. Toplamda beş ana kriter ve 36 alt kriter listelenmektedir.

Tablo 3.1: Sürdürülebilir endüstriyel simbiyoz ağı için değerlendirme kriterleri

Ana Kriter	Kriter Kodu	Kriter Tanımı	Kaynak
SOSYAL	S1	Bilgi Paylaşımı; Ortaklar arası bilgi edinmenin kolaylığı, bilgiye ulaşma hızı vb.	(Tseng ve Bui 2017)
	S2	İstihdam potansiyeli; Simbiyotik bölgede istihdam ve yeni iş olanaklarının sağlanması durumudur.	(Alakaş ve diğ. 2020)
	S3	Yerel topluluğun faydalanması; Ödül tabanlı sistemler ile yerel halkın simbiyotik ağa katılım ve desteğinin sağlanması	(Khan ve Ali, 2022; Hendiani ve diğ. 2020)
	S4	Döngüsel ekonomi kavramına dayalı iş modeli; Paylaşım ekonomisi, kiralama ve abonelik modelleri, kirlilik önleme prensiplerine dayalı işleyiş prosedürlerinin varlığı	(Khan ve Ali 2022)
	S5	Coğrafi yakınlık; İş ortakları arasında taşıma, nakliye avantajları sunan fiziki yakınlık durumudur.	(Tseng ve Bui 2017)
	S6	Ortak eğitim fırsatları; İş ortakları arasında eşlenik düzenlenebilen eğitimler	(Sonel ve diğ. 2022)
	S7	Yönetici ve organizasyonel tutum; İş ortaklarının simbiyotik ağa karşı açıklık ve bağlılık isteği	(Park ve diğ. 2018)
	S8	Müşteri algısı; Yapılan çevresel yeniliklerin ürünlere müşteri ihtiyaçlarıyla uyumlu olarak yansması	(Tseng ve Bui 2017)
	S9	İş güvenliği ve sağlığı; İş ortakları için İSG şartlarının sağlanması	
ÇEVRESEL	Ç1	Sera gazı emisyonları; Karbon dioksit (CO ₂), Metan (CH ₄), Nitröz Oksit (N ₂ O), Hidroflorür karbonlar (HFCs), Perfloro karbonlar (PFCs), Sülfürhekza florid (SF ₆) gibi gazların atmosfere verilen miktarıdır.	(Alakaş ve diğ. 2020; Gonela ve diğ. 2015)
	Ç2	Atık arıtma tesisleri; Atık arıtma tesisi varlığı, performansı	(Alakaş ve diğ. 2020)
	Ç3	Katı atık geri dönüşüm oranı; Zehirli olmayan ve tekrar kullanılabilir atık oranı	(Alakaş ve diğ. 2020)
	Ç4	Hammadde Tasarrufu; Üretimde kullanılan hammadde tüketiminin azaltılması	(Sonel ve diğ. 2022)
	Ç5	Toksik/tehlikeli atık oranı; Çevreye zararlı atık oluşturma oranı	(Alakaş ve diğ. 2020)

Tablo 3.1 (devam): Sürdürülebilir endüstriyel simbiyoz ağı için değerlendirme kriterleri

EKONOMİK	Ç6	Tersine Lojistik; Müşteri tarafından iade olan ürünlerin, başlangıç noktasına geri dönüştürülme ya da farklı bir alanda kaynak olarak değerlendirilmesi imkânıdır.	(Tseng ve Bui 2017)
	Ç7	Yeşil satın alma; Üretimde kullanılmak üzere satın alınacak malzemelerin geri dönüştürülebilir, yeniden kullanılabilir veya geri dönüşümü yapılmış malzemeler arasından seçilerek yapılması.	(Tseng ve Bui 2017)
	Ç8	Yenilenebilir enerji kaynaklarının varlığı; Güneş enerjisi, jeotermal enerji vb. yatırımların bulunması	
	Ç9	Enerji tüketimi; Proseste kullanılan elektrik miktarı	(Alakaş ve diğ. 2020)
	Ç10	Endüstriyel su geri dönüşüm oranı; Endüstriyel atık suyun tesis içinde geri çevrimi	(Alakaş ve diğ. 2020)
	Ç11	Su tüketimi; Proseste kullanılan temiz su oranı	(Alakaş ve diğ. 2020)
	Ç12	Atık azaltma; Üretim sırasında ve sonrasında oluşan atık miktarının azalması	
	Ç13	Atık üretimi; Proseste ve sonrasında oluşan atıkların miktarı	
	E1	Depo maliyetleri; Fiziksel depolama ve elleçleme ile ilgili giderler malzemeler.	(Sonel, ve diğerleri, 2022)
	E2	Üretim maliyetleri; Üretim maliyetleri (teknoloji, otomasyon, üretim ölçeği vb.)	(Sonel ve diğ. 2022)
	E3	Lojistik maliyetleri; Ulaşım, nakliye masrafları	(Sonel ve diğ. 2022)
	E4	İşletme maliyetleri; Kiralama, pazarlama, reklam gibi maliyetlerin bütünü	
	E5	Yüksek teknoloji üretiminin değeri; Çıktının yüksek katma değerli olması, inovasyon ve rekabet gücünün yüksek olması, ihracat potansiyeli ve sektörel, ekonomik çeşitlilik sağlaması vb.	(Alakaş ve diğ. 2020)
E6	Satış etkisi; Çevresel fayda sağlandığında satışlarda oluşan artış	(Sonel ve diğ. 2022)	
E7	Endüstriyel varlıklar; İşletmenin sahip olduğu borçlar, sermaye vb.	(Alakaş ve diğ. 2020)	
YASAL	Y1	Çevre yönetim sistemine uygunluk (ISO 14001); Simbiyotik iş ortakları olan firmaların ISO 14001 sertifikasına sahip olması	(Alakaş ve diğ. 2020; Hendifani ve diğ. 2020)

Tablo 3.1 (devam): Sürdürülebilir endüstriyel simbiyoz ağı için değerlendirme kriterleri

DAYANIKLILIK	Y2	Devlet teşvikleri; Hibeler, zararların giderilmesi için ve AR-GE faaliyetleri için gerekli olan fonlar konusunda sağlanan devlet destekleridir.	(Tseng ve diğ. 2017)
	Y3	Mevzuata uygunluk; Endüstriyel simbiyoz, çevre kurallarına ve yeşil mutabakatlara uyum	(Sonel ve diğ. 2022)
	Y4	Politika araçları; Vergiler, ücretler, para cezaları, sübvansiyonlar, krediler vb.	(Park ve diğ. 2018)
	D1	Kullanılan/Dönüştürülen atık miktarı; Ağ içerisinde rol alan bir ortağın ağdan temin ettiği ve kullandığı atık miktarıdır.	(Fraccascia ve diğ., 2017)
	D2	Atık akışının sürekliliği; İş ortakları arası atık akışının kesintisiz devam etme potansiyeli	(Park ve diğ. 2018)
	D3	Sektörün yıllık büyüme oranı; İş ortaklığı kurulan sektörün gelişim potansiyeli	(Alakaş ve diğ. 2020)

3.1.4 Endüstriyel Simbiyoz Çalışmalarında Kullanılan Yöntemler

Endüstriyel simbiyoz uygulamalarında, bağımsız işletmeler arasındaki iş birliğiyle atıklar azaltılırken, kaynakların verimli kullanımı amaçlanmaktadır. Kurulan iş birliklerinde birden fazla işletme bulunması karmaşık bir ağ yapısı oluşumuna neden olmaktadır. Bu sistemde ortaya çıkan karmaşık yapılar gerek kurulumu gerek sürdürülebilirliği adına karar problemlerini de beraberinde getirmektedir. Problemlerin çözümünde; kesin yöntemler, ÇKKV yöntemleri, sezgisel yöntemler, malzeme akış analizi (MFA) tekniklerinin öne çıktığı görülmektedir (Özkan ve diğ. 2018; Yazıcı ve diğ. 2022).

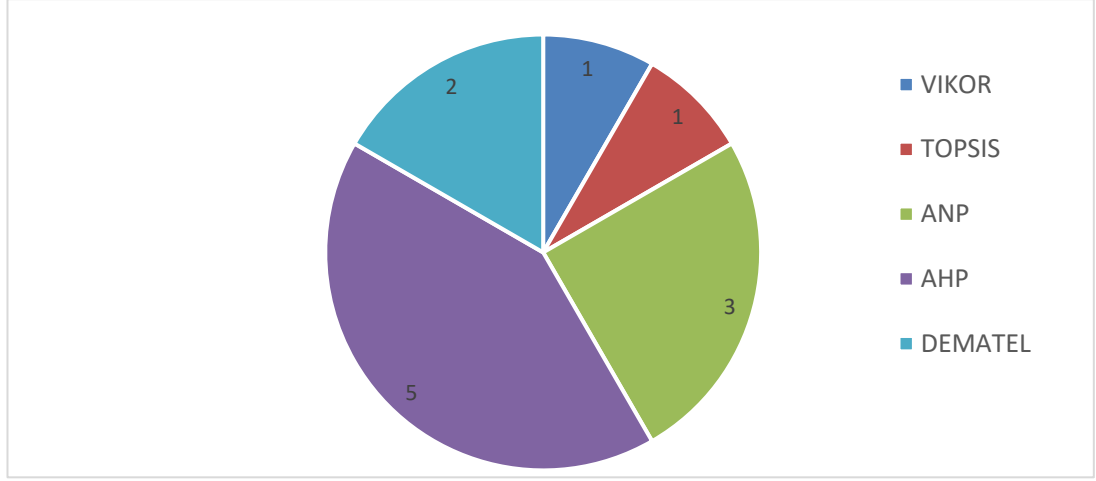
Kesin yöntemler; doğrusal programlama (DP), tam sayılı doğrusal programlama (TDP), karmaşık tam sayılı doğrusal programlamadır. Doğrusal programlama, sınırlı kaynaklar için optimal kullanım sağlamak için geliştirilen tek amaç fonksiyonuna hizmet eden bir matematiksel modeldir. Kısıt ve amaç fonksiyonları doğrusal olmakta ve karar değişkenleri sürekli değerler almaktadır. Karar değişkenlerinin tümü tam sayılı değerler aldığı anda TDP, bazıları tam sayılı değerler aldığı anda ise karmaşık tam sayılı doğrusal programlama etkili çözümler sunmaktadır. Birden fazla amaç fonksiyonu bulunuyorsa, hedef programlama yöntemlerinden destek alınmaktadır. Hedef programlama, sistemde birden fazla ve

çelişkili hedeflere sahip olduğunda, hedeflerin önem düzeylerine göre uzlaşma çözümleri sunmaktadır (Taha 2017).

Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında kesin yöntemlerin, operasyonel, taktik ve stratejik karar vermede kullanıldığı görülmüştür. Ancak simbiyoz uygulamalarının dinamik yapısı nedeniyle, çalışmaların önemli çoğunluğunun operasyonel ve taktik süreçler için çözüm aradığı görülmüştür (Yazıcı ve diğ. 2022). Kesin yöntemler arasında ise sıklıkla DP öne çıkmaktadır (Montemanni ve Jamal 2018).

Karar problemlerinde, karar üzerinde etkili olan çok sayıda ve çelişkili kriterlerin olması, bu kriterlerin aynı anda dikkate alınması ve en az iki alternatif arasından tercih yapılması gereken durumlarda genellikle ÇKKV yöntemleri tercih edilmektedir (Jahan 2016). ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda karara etki eden kriterler açısından alternatiflerin sınıflandırması, sıralaması ya da seçimi yapılabilmektedir (Akın 2019). ÇKKV yöntemleri genellikle sayısal ve sözel değerlendirmelere sahip kriterlerin beraber değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Çoğunlukla kullanılan veriler net değerlerden oluşan sayısal verilerdir. Ancak günlük hayatta bu durum her zaman mümkün olmamaktadır. ÇKKV’de ele alınan değerlendirme faktörlerinde kesin değerlerin bulunmadığı durumlarla sıklıkla karşılaşmaktadır ve bu durumlarda dilsel ifadeler kullanılmaktadır. Ele alınan kriterlerin kesin olarak değerlendirilememesi durumlarında belirsizliğin ortadan kaldırılabilmesi amacıyla bulanık ÇKKV (BÇKKV) yöntemleri kullanılmaktadır (Kaya ve diğ. 2019).

ÇKKV yöntemleri endüstriyel simbiyoz çalışmalarında, simbiyoz ağını etkileyen kriterlerin önceliklendirilmesinde, alternatiflerin sıralanmasında, ağ tasarımı ve simbiyoz performanslarının ölçümünde kullanılmaktadır. Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Analitik Ağ Prosesi (ANP), TOPSIS ve VIKOR yöntemlerine rastlanırken AHP yönteminin öne çıktığı görülmektedir (Yazıcı ve diğ. 2022). BÇKKV yöntemine rastlanan yalnızca bir çalışma bulunmaktadır (Leong ve diğ. 2016). 2016-2022 yılları arasında yapılan endüstriyel simbiyoz çalışmalarında kullanılan ÇKKV yöntemleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



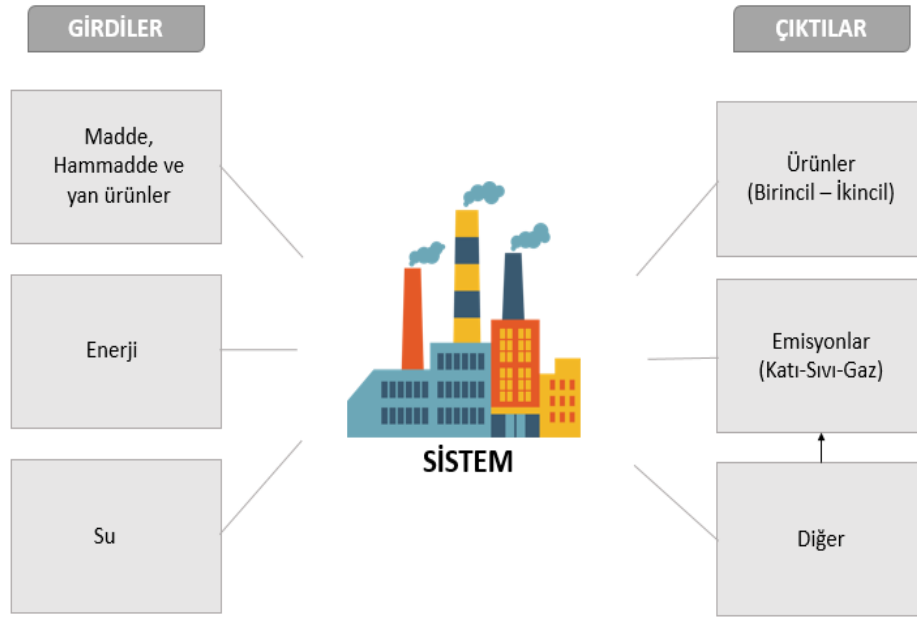
Şekil 3.2: 2016-2022 yıllarında endüstriyel simbiyoz çalışmaları için kullanılan ÇKKV yöntemleri

Metasezgisel yöntemler, karmaşık eniyileme problemleri için geleneksel eniyileme yöntemlerinin kabul edilebilir bir çözüm üretmediği durumlarda, etkili ve uygun çözümler üretebilen yaklaşık algoritmalarıdır. Problemlerde yer alan ve genellikle belirli bir hedef fonksiyonunun maksimize veya minimize edilmesi amacıyla kullanılan algoritmaları ifade eder. Bu algoritmalar, arama uzayında çözümler aramak için bir dizi olasılık tabanlı veya popülasyon tabanlı yöntemleri kullanabilirler. Sezgisel yöntemler, yerel arama yöntemlerinden daha geniş bir arama uzayını keşfetmek için tasarlanmıştır. Sezgisel algoritmalar, arama uzayının etkin bir şekilde incelenmesi için kullanılırken en uygun veya en uyguna yakın çözümlerin elde edilmesine yardımcı olurlar (Onan 2013).

Simbiyoz çalışmaları incelendiğinde, genetik algoritma, tabu arama algoritması, arı kolonisi algoritması yöntemleriyle karşılaşılmaktadır. Sezgisel yöntemlerin, meta-sezgisel yöntemlere göre daha sık tercih edildiği görülmüştür (Kaya ve diğ. 2019). Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında, Ren ve diğ. (2016) tarafından yapılan ve meta-sezgisel yöntemden faydalanılan yalnızca bir çalışma bulunmaktadır.

Malzeme akış analizi (MFA), malzeme akışlarını nicel olarak analiz etmek ve akışlar tarafından sistemdeki çevresel yükü tahmin etmek için bir değerlendirme yöntemidir; malzeme giriş ve çıkışını analiz ederek, ekonomik faaliyetin çevresel yükü nasıl etkilediğini ortaya koymayı amaçlamaktadır (Huang ve diğ. 2019). Girdi ve çıktı detaylarının, miktarlarının tanımlanmasına olanak sağlayan MFA sayesinde

işletmeler arası doğabilecek simbiyotik ilişki ve iş otaklarının belirlenmesi için kritik öneme sahiptir. MFA'nın şematik gösterimi Şekil 3.3'te sunulmuştur.



Şekil 3.3: Malzeme akış analizi şematik gösterimi (Özkan ve diğ. 2018).

MFA'lar endüstriyel simbiyoz uygulamalarının faydalarını belirlemede sıklıkla tercih edilmektedir. Endüstriyel parkların dinamik yönetimine etki eden simbiyotik indikatörleri belirlemede, çevresel ve ekolojik faydaları araştırmada, kaynak döngüsü ve atık yönetimindeki sinerjileri belirlemede MFA'dan yararlanılmaktadır (Özkan ve diğ. 2018).

3.1.5 Endüstriyel Simbiyoz Örnekleri

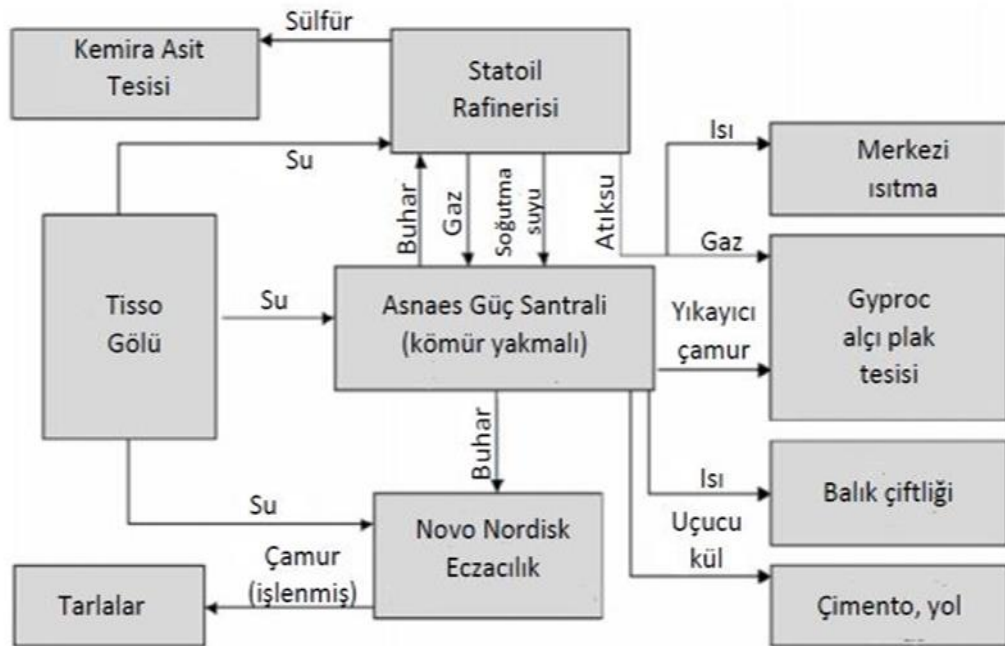
Endüstriyel simbiyoz kavramının benimsendiği örneklere 1990'lı yıllardan bu yana Dünya'da ve ülkemizde örneklere rastlanmaktadır.

3.1.5.1 Dünya'da Endüstriyel Simbiyoz Örnekleri

1961 yılında Kalundborg bölgesinin yer altı sularını korumak amacıyla yeni bir petrol rafinerisi kurulumu için bölgede yer alan Tisso Gölü'nün suyu kullanılmıştır. Rafineri firması tarafından finanse edilen projede Kalundborg kent

yönetimi boru hattının inşasını üstlenmiştir. Rafineri şirketi ve kent yönetimi arasında oluşan iş ortaklığı ile endüstriyel simbiyoz kavramına dayalı bir örnek ortaya çıkmıştır (Temiz Üretim Teknolojileri 2023). 1961 yılında başlayan dünyanın ilk simbiyoz örneği unvanını taşıyan Kalundborg simbiyoz örneği 16 kamu ve özel şirket arasında kurulan iş ortaklıkları ile günümüze kadar büyüyerek gelmiştir. Şekil 3.4'te Kalundborg simbiyozu ağı gösterilmiştir. Bir işletmenin kaynak fazlalığının, atıklarının diğer bir iş ortağı için değer yaratması ilkesini benimsemiştir. 2022 yılı verilerine göre bölgede sağlanan yıllık kazanımlar şu şekildedir (Kalundborg Symbiose 2022):

- 4.000.000 m³ yer altı suyu geri kazanımı
- 586.000 ton CO₂ salınımı azaltılması
- 62.000 ton geri dönüştürülen atık malzeme
- 2015-2022 yılları arasında CO₂ emisyonları azaltılmıştır.



Şekil 3.4: Kalundborg simbiyoz ağı (Demirer 2015)

İsveç-Landskrona simbiyoz ağının temelleri 2002 yılında başlamıştır. Landskrona büyük şehirlere yakınlığı nedeniyle endüstriyel faaliyet potansiyeli yüksek bir kasabadır. Yerel yönetim baskısıyla çevresel iyileşmeler kaydedilmiş ve aynı zamanda ekonomik yapıdan da farklı sektörlerde faaliyet gösteren çok sayıda

küçük ve birkaç büyük işletmeye sahip bir bölge haline gelmiştir. Bölgedeki işletmeler arasında doğal simbiyotik ağ oluşumunun yanı sıra bölgede simbiyotik gelişim adına İsveç İş Geliştirme Ajansı tarafından finansmanı sağlanan Landskrona Endüstriyel Simbiyoz Programı (LISP) başlatılmıştır (Ulutaş 2023).

İngiltere’de 2005 yılında hükümet tarafından “Ulusal Endüstriyel Simbiyoz Programı” (NISP) başlatılmıştır. Program bir danışmanlık şirketi tarafından hükümetin finanse etmesiyle yürütülmektedir. Program kapsamında hammadde, enerji, su, lojistik, gibi alanlarda kaynak tüketiminin en iyileşmesi ve sürdürülebilir çözümler üretebilmek amacıyla, 12 bölgeden oluşan bir ağ kurulmuştur. Bu programın altı yıllık aktivitesi sonucunda aşağıda belirtilen faydalar sağlanmıştır (Ulutaş 2023).

- 53.000.000 ton CO_2 salınımı azaltılması
- 80.000.000 ton üzerinde hammadde tasarrufu
- 96.000.000 ton üzerinden endüstriyel su geri kazanımı
- 10.000 üzerinde yeni istihdam sağlanması
- 47.000.000 ton atığın geri kazanımı

Kanada’da bulunan endüstriyel parklar için üç farklı yöntemle rastlanmaktadır. Bunlar; yeni(sıfırdan) kurulum, mevcut endüstriyel parkların yeniden yapılandırılması ve bölgesel uygulamalardır. Bazı eko-endüstriyel park örnekleri şu şekildedir (Cote ve Cohen-Rosenthal 1998).

- Burnside Industrial Park, Nova Scotia: 1500 işletmeden oluşan bir ağdır. Malzeme ve enerji döngüsü üzerinde yoğunlaşmıştır.
- Sarnia, Ontario: Farklı sektörlerden birçok işletmenin yer aldığı bir simbiyoz örneğidir.
- Portland Industrial District, Toronto: Endüstriyel bölgede yer alan yer alan AR-GE odaklı bir park örneğidir.
- Taiga Nova Parkı: 2008 yılında yatırımına başlanan, sıfırdan kurulan ve halen büyümeye devam etmektedir (Ulutaş 2023).

2005-2009 yılları arasında pilot bölge çalışmaları ile birlikte Güney Kore’de simbiyoz örneklerine başlamıştır. Uygulamalar ilk olarak belirlenen beş pilot bölgede

başlatılmış ve ilk yatırım maliyeti 17 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. 2010-2014 yılları arasında programın ikinci aşamasına geçilmiş ve “hub and spoke” modeli çerçevesinde simbiyoz konusunda edinilen tecrübeler diğer endüstriyel parklara aktarılmıştır. 2015-2019 yıllarında program kapsamı genişletilerek Ulsan’ın ekolojik şehir haline getirilmesi planlanmış ve uygulamaları başlamıştır. Başlatılan pilot bölge çalışmalarındaki beş bölgede 45 projeden sekiz simbiyoz örneği gerçekleştirilmiştir. Yılda 103,31 ton/yıl CO_2 salınımı azaltılmıştır. Ardından Güney Kore’deki çalışmalar eko-endüstriyel parkların yaygınlaştırılması üzerine devam etmiştir (Özkan ve diğ. 2018; Ulutaş 2023).

Çin’de aşırı endüstriyel büyüme sonucu oluşan kirliliğin önüne geçebilmek adına, 2000 yılında ulusal Eko-endüstriyel park programı başlamıştır. Tianjin Ekonomik-Teknolojik Kalkınma bölgesi ele alındığında, saha çalışmalarının ardından bölgede kurulan, birçok farklı sektörde faaliyet gösteren 81 firma arasında simbiyotik ilişki ağı kurulduğu belirlenmiştir (Shi ve diğ. 2010).

3.1.5.2 Türkiye’de Endüstriyel Simbiyoz Örnekleri

Çevre ve Orman Bakanlığı ve Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) tarafından ODTÜ Çevre Mühendisliği danışmanlarıyla iş birliği içerisinde yürütülmüş olan “Türkiye’de Temiz Üretim Uygulamalarının Yaygınlaştırılması için Çerçeve Koşulların ve Ar-Ge İhtiyacının Belirlenmesi Projesi” 2010 yılının başlarında tamamlanmıştır. Söz konusu projede endüstriyel simbiyoz kavramı da vurgulanmış ve Türkiye için simbiyoz perspektifi kapsamında değerlendirilebilecek önerilerinde geliştirilmesi teşvik edilmiştir (Çevre ve Orman Bakanlığı 2010).

Simbiyoz uygulamaları, Bakü-Tiflis-Ceyhan Boru Hattı şirketinin (BTC) ‘İskenderun Körfezi’nde Endüstriyel Simbiyoz Projesi” ile gündeme gelmiştir. 2008-2009 yıllarında temelleri atılan projenin uygulanabilirliğinin belirlenmesinin ardından 2010 yılında ayrıntılı hazırlık çalışmaları başlamıştır. Çalışmada elde edilen çevresel kazanımlar Tablo 3.2’te verilmiştir. 2011 yılında imzalanan anlaşma ile gerçekleştirilen projede meyve posasından hayvan yemi üretimi, tarımsal ve hayvansal atıklardan enerji üretimi, pamuk tohumu atığından biyoremediasyon ürünü üretimi, atık yağdan elektrik üretimi, ömrünü tamamlamış lastiklerden granül

üretimi, hurda akülerden kurşun geri kazanımı ve demir çelik üretiminden kaynaklanan cürufun yol yapımında kullanılması üzerine endüstriyel simbiyoz çalışmaları gerçekleştirilmiş, aynı zamanda pek çok iş birliği ve sinerji alanına olanak sağlanmıştır (Özkan ve diğ. 2018; Ulutaş 2023).

Tablo 3.2: İskenderun Körfezi'nde endüstriyel simbiyoz projesi kazanımları

ÇEVRESEL KAZANIMLAR						
Atık Azaltımı	Su Tasarrufu	Doğal Kaynak İkamesi	Arazi Kazancı	İşgücü Tasarrufu	Enerji Tasarrufu	CO2 Azaltımı
330.000 ton/yıl	6.500 m ³ /yıl	280.000 ton/yıl	45.000 m ²	3.500 adam.gün/yıl	34.000.000 kWh/yıl	37.000 ton/yıl

3.2 Kablo Sektörü

Sürekli gelişen teknoloji beraberinde elektrik, haberleşme, enerji iletimi ihtiyacı oluşturmakta ve alt yapı gerekliliği sürekli artmaktadır. Bu alt yapı gerekliliğinin başlıca bileşeni kablodur. Kablo üretimi değerli maden ve kimyasalların hammadde olarak kullanılmasını gerektiren bir süreçtir (Supçiller ve Öktem 2023). Oldukça maliyetli üretim kalemlerine sahip olan sektör, enerji iletim kablolarından, telekomünikasyon kablolarına kadar geniş bir alana hizmet etmektedir. Gerek günlük ihtiyaçlar gerekse iş yaşamının yadsınamaz gerekliliklerini sunan sektör insanlık için kritik bir öneme sahiptir.

3.2.1 Dünya’da ve Ülkemizde Kablo Sektörünün Gelişimi

Tarihte kablonun ilk kullanımı 19. yüzyılda görülmüştür. Kablo üretiminin bilinen en önemli noktası Faraday’ın 1831 yılında bulduğu *Dinamo İlkesi’ne* dayanmaktadır. Güç dağıtım sistemi için kullanılan bakır çubuklar ise ilk olarak 1882 yılında Thomas Edison tarafından üretilmiştir. Kabloyu tamamlayan önemli bir unsur olan izolasyon ise ilk olarak kauçuk malzeme kullanımı ile 1897 yılında Tesla tarafından gerçekleştirilmiştir. Kauçuk yalıtıkana sahip ilk kablo Niagara Şelalesi’nde

hidro-elektrik santralinde kullanılmıştır (Tok 2021). Dünya’da kablonun kronolojik olarak gelişimi Şekil 3.5 ile sunulmuştur.



Şekil 3.5: Dünya'da kablo gelişimi

Dünya'nın aksine Türkiye’de sanayinin gelişimine bağlı olarak, kablo kullanımı için geri kalınmıştır. 1932 yılında, devlet destekli İstanbul Kauçuk ve Kablo Fabrikasının kurulmasıyla ülkemizde önemli adımlar atılmıştır. Bunu takiben elektrik ihtiyacını köy ve kasabalar için çözümleyen Etibank ve İller Bankası, elektrik dağıtım işlerine başlamıştır. 1982 yılında Kavel Kablo fabrikasının kurulmasıyla, Türkiye’de kablo sektöründe ithalat ile baş edilebilir duruma gelinmiştir (Tok 2021). Türkiye’de kablonun kronolojik olarak gelişimi Şekil 3.6 ile sunulmuştur.



Şekil 3.6: Türkiye'de kablo gelişimi

Günümüzde özellikle tel ve kablo sektörünün alt gruplarından olan telekomünikasyon ve veri kablolarının gelişim potansiyeli artış göstermektedir. Elektrik sektörünün tamamlayıcı unsurlarından biri olan kablo, elektronik sektörü için vazgeçilmez olduğundan ihtiyaçlar artarak devam etmektedir (Kulak 2015). Türkiye’de üretilen kablo miktarı Dünya ihtiyacının %3,2’sine karşılık gelmektedir (2M Kablo 2015). Her yıl üzerine koyarak ilerlemekte ve pazardaki yerini genişletmek hedefi ile üretime devam edilmektedir.

3.2.2 Kablo Sektörü ile Etkileşimde Olan Sektörler

Kablo sektörü, geniş bir yelpazede faaliyet göstermektedir. Farklı sektörlerde gerçekleşen yeniliklere uyum sağlayarak çeşitli sektörlerin ihtiyaçlarını karşılamak için sürekli olarak gelişmekte ve çeşitli ürünler üretmektedir. Genellikle yan ürün tedariki yapan kablo sektörünün iş birliği kurduğu başlıca sektörler şu şekildedir:

- Makine Sanayi: Elektrik motorları, jeneratörler ve diğer elektrikli cihazlar için güç kabloları ve kontrol kabloları
- Otomotiv Sanayi: Araç içi elektrikli sistemler için kablolar ve bağlantı elemanları
- Haberleşme Sektörü: Veri ve ses iletimi kabloları
- İnşaat ve Altyapı: İç ve dış elektrik tesisatı, ısıtma ve havalandırma amaçlı kablolar
- Enerji Sektörü: Yenilenebilir enerji projeleri için güç iletim ve dağıtım kabloları

Sektörler gelişen durumlara bağlı olarak genişlemeye devam etmektedir. Ayrıca kablo sektörü nihai ürün sonucunda müşteri ilişkisi kurduğu sektörlerin yanı sıra üretim sürecinden kaynaklı oluşan hurda ve atıklar için farklı sektörlerle tedarik sağlamaktadır. Bu sektörler arasında, polivinil klorür (PVC) içerikli hammadde kullanan üreticiler yoğunluktadır.

3.2.3 Kablo Sektöründe Başlıca Hammadde ve Atıklar

Kablo, iletken ve yalıtkan olmak üzere iki yapıdan oluşmaktadır. İletken kısmını genellikle bakır oluştururken, kısmen alüminyumda kullanılabilir. Yalıtkan kısmı için özellik ve yapısına bağlı olarak birçok farklı alternatif bulunmaktadır. Enerji kablolarında genellikle termoplastik (PVC vb.) bazlı granüller, çeşitli kimyasal ve yağlar kullanılarak elde edilen plastikler kullanılmaktadır.

Kablo üretimi, ilk aşamada iletken tellerin hazırlanması ile başlar, istenilen kesit ve sınıfa bağlı olarak hazırlanan bakır veya alüminyum tellerin üzerine yüksek ısılarda çalışan ekstrüder hatlarında yalıtkan malzemeyle kaplanmaktadır. Yalıtkan malzemelerin yüksek ısılarda erimesi gerekmektedir, ekstrüder çıkışında kablonun hızlı soğumasını sağlamak ve prosesi hızlandırmak amacı ile soğutma havuzları yer almaktadır. Bu havuzlarda yer alan su kablo üretimi için kritik bir ihtiyaçtır. Ayrıca, kablolar istek ve standartlara bağlı olarak birçok farklı renkte üretilmektedir. Bu durum proses gereği, renk dönüşlerinde plastik atıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Atıklara ait görsel Şekil 3.7’de sunulmuştur. Ortaya çıkan plastik atıklarının kablo üretiminde yeniden kullanımı sağlıklı sonuçlar doğurmamaktadır. Aynı proseste makara, ürün, çap değişimlerinden kaynaklı iletken tel atıkları ortaya çıkabilmektedir. İletken tellerin yeniden işlenerek, kabloda kullanılması mümkündür. Kablo üretiminde bunlar dışında ambalaj malzemesi, emisyon gibi birçok atık ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.7: Kablo üretiminde oluşan plastik atık

4. YÖNTEM

Bu bölümde ele alınan problem için kullanılacak çözüm yöntemlerinden bahsedilmektedir. Tüm yöntemlerde kullanılacak olan aralık değerli küresel bulanık kümelerin ardından, kriterlerin ağırlıklandırılmasında ve alternatiflerin sıralanması için kullanılacak ÇKKV yöntemlerine ait avantajlar, dezavantajlar ve işlem adımlarına yer verilmiştir.

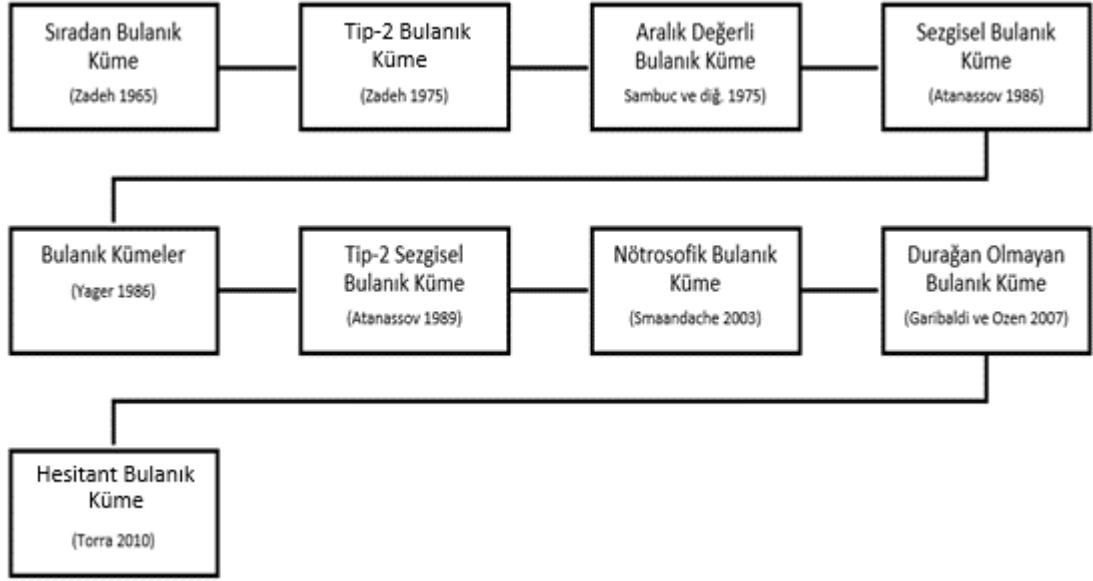
4.1 Bulanık Küme Teorisi

Bulanık mantık kavramı ve bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh tarafından (1965) literatüre sunulmuştur (Kaya ve diğ. 2007). Bulanık mantık teorisi, günlük yaşantıda çoğunlukla karşılaşılan, bilginin eksik ve yoruma dayalı olduğu, zorlu ve karmaşık durumlardan yola çıkılarak, insan düşünce ve değerlendirmelerini matematiksel olarak modelleyebilmek amacıyla geliştirilmiştir (Kabak ve Erdebilli 2021).

Çok karmaşık, kesinlik bulandırmayan değerlendirme durumlarında bulanık mantığın insani düşünme tarzına yakın olması ve davranışları formüle edebilmesi, geleneksel ÇKKV yöntemlerine göre daha fazla avantaj sağlamak ve tercih edilme nedeni olmaktadır. Bulanık mantık ile gerçekleştirilen çözümler hızlı ve düşük maliyetlidir. Ancak belirli bir biçime ve iyi metriklere sahip olmaması, ne zaman kullanılması gerektiğinin kestirilememesi dezavantajları arasında sayılabilmektedir.

Kesin bir küme ile bulanık kümelerin arasındaki fark, üye olma ve olmama durumundan kaynaklanmaktadır (Klir ve Yuan 1995). Bulanık kümede 0 ve 1 değerleri yer alırken, aynı zaman $[0, 1]$ aralığında yer alan herhangi bir değer ile değerlendirme yapılabilmektedir. Bulanık kümelerin sonsuz sayıda alt kümesi bulunmaktadır. Bulanık sayıların, işlem karmaşıklığını minimize etmek adına özel bulanık sayılar geliştirilmiştir (Kabak ve Erdebilli 2021).

Bulanık sayıların zamanla pek çok uzantısı ortaya çıkmıştır. Sırasıyla bulanık sayıların gelişimi şekil 4.1 ile verilmiştir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Bulanık kümelerin uzantıları (Gündoğdu 2019)

4.1.1 Küresel Bulanık Küme (SFS)

Küresel Bulanık Kümeler (SFS), Sezgisel, Pisagor ve Nötrosofik bulanık kümelerin bir uzantısı olarak Gündoğdu ve Kahraman (2019b) tarafından literatüre sunulmuştur. Sezgisel ve Pisagor bulanık küme için üyelik fonksiyonları sırasıyla, $\pi_i = 1 - \mu_i - \vartheta_i$ ya da $\pi_p = \sqrt{1 - \mu_p^2 - \vartheta_p^2}$ ile hesaplanabilen üye olma, üye olmama ve tereddüt derecelerinden oluşmaktadır. Nötrosofik bulanık kümede üyelik fonksiyonları, doğruluk, yanlışlık ve belirsizlik olmak üzere üç parametre ile tanımlanmaktadır. Bu üç parametrenin toplamı 0-3 arasında olmakta ve her biri birbirinden bağımsız olarak 0-1 aralığında bir değer almaktadır. Küresel bulanık kümede ise bu kümelerin sonucu olarak üye olma derecesi (μ^L), üyeliklerin karesel toplamı, üye olmama (ϑ^L), ve tereddüt derecesi (π^L) parametreleri ise bağımsız olarak 0-1 aralığında değer alabilmektedir. Küresel bulanık kümelerin amacı karar vericilerin tereddütlerinin bağımsız olarak karar ortamına aktarılmasına olanak sağlamasıdır. Diğer bulanık küme uzantılarının pozitif yönlerini eşsiz bir teori ile birleştirmektedir (Gündoğdu ve Kahraman 2019b).

4.1.2 Aralık Değerli Küresel Bulanık Küme (IVSFS)

Aralık değerli küresel bulanık küme (IVSFS), küresel bulanık kümelerin (SFS) bir uzantısı olarak Gündoğdu ve Kahraman (2019b) tarafından literatüre kazandırılmıştır. SFS kavramı ve aralıklı değerli versiyonu olan IVSFS, ÇKKV problemlerinde tereddüt temsil etme sorununu ele almayı amaçlamaktadır. SFS'de, karar vericiler (KV) üye olma ($\mu^{L,U}$), üyeliğe dahil olmama ($\vartheta^{L,U}$), ve tereddüt dereceleri ($\pi^{L,U}$), atayabilmektedir. IVSFS, bu özelliği üç dereceye aralıklar atayarak genişletir. Bu şekilde, insani değerlendirmelerde ortaya çıkan belirsizlik ve net olmayan durumlar daha kapsamlı bir şekilde ölçülebilir ve işlenebilir hale gelmektedir (Aydoğdu ve Gül 2021). " $A = [\mu^L, \mu^U], [\vartheta^L, \vartheta^U], [\pi^L, \pi^U]$ " olarak gösterilen IVSFS Gündoğdu ve Kahraman (2019b) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

Tanım 1. U evreninde tanımlı olan bir IVSFS için $\mu_A(U) = [\mu_A^L(U), \mu_A^U(U)] \subseteq [0,1]$, $\vartheta_A(U) = [\vartheta_A^L(U), \vartheta_A^U(U)] \subseteq [0,1]$ ve için $\pi_A(U) = [\pi_A^L(U), \pi_A^U(U)] \subseteq [0,1]$ olmaktadır. U evrenindeki her nokta için Denklem (1)'de belirtildiği gibi olmalıdır.

$$0 \leq (\mu_A^U(u))^2 + (\vartheta_A^U(u))^2 + (\pi_A^U(u))^2 \leq 1 \quad (4.1)$$

Tanım 2. $A = [\mu_A^L, \mu_A^U], [\vartheta_A^L, \vartheta_A^U], [\pi_A^L, \pi_A^U]$ ve $B = [\mu_B^L, \mu_B^U], [\vartheta_B^L, \vartheta_B^U], [\pi_B^L, \pi_B^U]$ iki IVSFS olmak üzere;

$$A \cup B = \left\{ \begin{array}{l} [\max(\mu_A^L, \mu_B^L), [\max(\mu_A^U, \mu_B^U)]] \\ [\min(\vartheta_A^L, \vartheta_B^L), [\min(\vartheta_A^U, \vartheta_B^U)]] \\ [\min(\pi_A^L, \pi_B^L), [\min(\pi_A^U, \pi_B^U)]] \end{array} \right\} \quad (4.2)$$

$$A \cap B = \left\{ \begin{array}{l} [\min(\mu_A^L, \mu_B^L), [\min(\mu_A^U, \mu_B^U)]] \\ [\max(\vartheta_A^L, \vartheta_B^L), [\max(\vartheta_A^U, \vartheta_B^U)]] \\ [\min(\pi_A^L, \pi_B^L), [\min(\pi_A^U, \pi_B^U)]] \end{array} \right\} \quad (4.3)$$

A, IVSFS için tamamlayıcı (A^C) ise Denklem (4.4) gibi tanımlanmaktadır.

$$A^C = [(\vartheta_A^L, \vartheta_A^U), (\mu_A^L, \mu_B^U), (\pi_A^L, \pi_B^U)] \quad (4.4)$$

Tanım 3. $A = [\mu_A^L, \mu_A^U], [\vartheta_A^L, \vartheta_A^U], [\pi_A^L, \pi_A^U]$ ve $B = [\mu_B^L, \mu_B^U], [\vartheta_B^L, \vartheta_B^U], [\pi_B^L, \pi_B^U]$ iki IVSFS olmak üzere aralarındaki mesafe($d_{DS}(A, B)$) hesaplama formülü Denklem (4.5) ile gösterilmiştir.

$$d_{DS}(A, B) = \frac{1}{4} \left(\left| \mu_A^{L^2} - \mu_B^{L^2} \right| + \left| \mu_A^{U^2} - \mu_B^{U^2} \right| + \left| \vartheta_A^{L^2} - \vartheta_B^{L^2} \right| + \left| \vartheta_A^{U^2} - \vartheta_B^{U^2} \right| + \left| \pi_A^{L^2} - \pi_B^{L^2} \right| + \left| \pi_A^{U^2} - \pi_B^{U^2} \right| \right) \quad (4.5)$$

Tanım 4. IVSFS için tanımlı operatörler aşağıdaki gibidir.

$$A \oplus B = \left[\begin{array}{l} [((\mu_A^L)^2 + (\mu_B^L)^2 - (\mu_A^L)^2(\mu_B^L)^2)^{1/2}, ((\mu_A^U)^2 + (\mu_B^U)^2 - (\mu_A^U)^2(\mu_B^U)^2)^{1/2}] \\ [(\vartheta_A^L)^2(\vartheta_B^L)^2, (\vartheta_A^U)^2(\vartheta_B^U)^2] \\ [((1 - (\mu_B^L)^2)(\pi_A^L)^2) + (1 - (\mu_A^L)^2)((\pi_B^L)^2) - (\pi_A^L)^2((\pi_B^L)^2)^{1/2}, ((1 - (\mu_B^U)^2)(\pi_A^U)^2) + (1 - (\mu_A^U)^2)((\pi_B^U)^2) - (\pi_A^U)^2((\pi_B^U)^2)^{1/2}] \end{array} \right] \quad (4.6)$$

$$A \otimes B = \left[\begin{array}{l} [(\mu_A^L)^2(\mu_B^L)^2, (\mu_A^U)^2(\mu_B^U)^2], \\ [((\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_B^L)^2 - (\vartheta_A^L)^2(\vartheta_B^L)^2)^{1/2}, ((\vartheta_A^U)^2 + (\vartheta_B^U)^2 - (\vartheta_A^U)^2(\vartheta_B^U)^2)^{1/2}] \\ [((1 - (\vartheta_B^L)^2)(\pi_A^L)^2) + (1 - (\vartheta_A^L)^2)((\pi_B^L)^2) - (\pi_A^L)^2((\pi_B^L)^2)^{1/2}, ((1 - (\vartheta_B^U)^2)(\pi_A^U)^2) + (1 - (\vartheta_A^U)^2)((\pi_B^U)^2) - (\pi_A^U)^2((\pi_B^U)^2)^{1/2}] \end{array} \right] \quad (4.7)$$

$\lambda > 0$ olmak üzere;

$$\lambda . A = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cc} (1 - (1 - (\mu_A^L)^2)^\lambda)^{1/2}, & (1 - (1 - (\mu_A^U)^2)^\lambda)^{1/2} \\ [(\vartheta_A^L)^\lambda, & (\vartheta_A^U)^\lambda] \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{c} \left((1 - (\mu_A^L)^2)^\lambda - (1 - (\mu_A^L)^2 - (\pi_A^L)^2)^\lambda \right)^{1/2}, \\ \left((1 - (\mu_A^U)^2)^\lambda - (1 - (\mu_A^U)^2 - (\pi_A^U)^2)^\lambda \right)^{1/2} \end{array} \right] \end{array} \quad (4.8)$$

$$A^\lambda = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cc} [(\mu_A^L)^2, & (\mu_A^U)^2] \\ (1 - (1 - (\vartheta_A^L)^2)^\lambda)^{1/2}, & (1 - (1 - (\vartheta_A^U)^2)^\lambda)^{1/2} \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{c} \left((1 - (\mu_A^L)^2)^\lambda - (1 - (\mu_A^L)^2 - (\pi_A^L)^2)^\lambda \right)^{1/2}, \\ \left((1 - (\mu_A^U)^2)^\lambda - (1 - (\mu_A^U)^2 - (\pi_A^U)^2)^\lambda \right)^{1/2} \end{array} \right] \end{array} \quad (4.9)$$

Tanım 5. IVSFS'ler için geometrik ortalama (IVSFSGM) ve ağırlıklı aritmetik ortalama (IVSWAM) hesaplaması (4.10) ve (4.11) eşitlikleri ile tanımlanmaktadır.

$$IVSGM = \left\{ \begin{array}{c} \left[\left[\left(\prod_{j=1}^n (\mu_A^L)^{w_j} \right), \left(\prod_{j=1}^n (\mu_A^U)^{w_j} \right) \right] \right] \\ \left[\left[\left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - (\vartheta_A^L)^2)^{w_j} \right), \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - (\vartheta_A^U)^2)^{w_j} \right) \right] \right] \\ \left[\left(\prod_{j=1}^k (1 - (\vartheta_A^L)^2)^{w_j} - \prod_{j=1}^k (1 - (\vartheta_A^L)^2 - (\pi_A^L)^2)^{w_j} \right)^{1/2} \right], \\ \left[\left(\prod_{j=1}^k (1 - (\vartheta_A^L)^2)^{w_j} - \prod_{j=1}^k (1 - (\vartheta_A^L)^2 - (\pi_A^L)^2)^{w_j} \right)^{1/2} \right] \end{array} \right\} \quad (4.10)$$

$$IVSWAM = \left[\begin{array}{c} \left[\left(1 - \prod_{j=1}^k (1 - (\mu_A^L)^2)^{w_j} \right), \left(1 - \prod_{j=1}^k (1 - (\mu_A^U)^2)^{w_j} \right) \right] \\ \left[\left(\prod_{j=1}^k (\vartheta_A^L)^{w_j} \right), \left(\prod_{j=1}^k (\vartheta_A^U)^{w_j} \right) \right] \\ \left[\left(\prod_{j=1}^k (1 - (\mu_A^L)^2)^{w_j} - \prod_{j=1}^k (1 - (\mu_A^L)^2 - (\pi_A^L)^2)^{w_j} \right)^{1/2}, \right. \\ \left. \left(\prod_{j=1}^k (1 - (\mu_A^U)^2)^{w_j} - \prod_{j=1}^k (1 - (\mu_A^U)^2 - (\pi_A^U)^2)^{w_j} \right)^{1/2} \right] \end{array} \right] \quad (4.11)$$

Tanım 6. IVSFS'ler için skor fonksiyonu ($Sc(\tilde{S}_i)$) ve doğruluk fonksiyonu ($ac(\tilde{S}_i)$) formülleri sırasıyla Denklem (4.12) ve Denklem (4.13) olarak gösterilmektedir. (Aydoğdu, ve diğerleri, 2021).

$$Sc(\tilde{S}_i) = \frac{(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 - \left(\frac{L}{A} \right)^2 - (\vartheta_A^U)^2 - (\pi_A^L)^2 - (\pi_A^U)^2}{2} \quad (4.12)$$

$$ac(\tilde{S}_i) = \frac{(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 + (\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_A^U)^2 + (\pi_A^L)^2 + (\pi_A^U)^2}{2} \quad (4.13)$$

Gündoğdu ve Kahraman'ın (2019b), IVSFS'ler için ilk çalışması ile birlikte Tablo 4.1'de yer alan dilsel değerlendirme terimleri ve bulanık sayı karşılıkları da literatüre sunulmuştur.

Tablo 4.1: IVSFS için dilsel terimler ve bulanık sayı karşılıkları

Dilsel Terim	$[\mu^L; \mu^U]$	$[\vartheta^L; \vartheta^U]$	$[\pi^L; \pi^U]$
Kesinlikle Çok Önemli (KÇÖ)	[0.85 ; 0.95] ,	[0.10 ; 0.15] ,	[0.05 ; 0.15]
Çok Yüksek Önemli (ÇYÖ)	[0.75 ; 0.85] ,	[0.15 ; 0.20] ,	[0.15 ; 0.20] ,
Yüksek Önemli (YÖ)	[0.65 ; 0.75] ,	[0.20 ; 0.25] ,	[0.20 ; 0.25] ,
Hafif Çok Önemli (HÇÖ)	[0.55 ; 0.65] ,	[0.25 ; 0.30] ,	[0.30 ; 0.40] ,
Önemli (Ö)	[0.50 ; 0.55] ,	[0.45 ; 0.55] ,	[0.25 ; 0.30] ,
Hafif Düşük Önemli (HDÖ)	[0.25 ; 0.30] ,	[0.55 ; 0.65] ,	[0.25 ; 0.30] ,
Düşük Önemli (DÖ)	[0.20 ; 0.25] ,	[0.65 ; 0.75] ,	[0.20 ; 0.25] ,
Çok Düşük Önemli (ÇDÖ)	[0.15 ; 0.20] ,	[0.75 ; 0.85] ,	[0.15 ; 0.20] ,
Kesinlikle Düşük Önemli (KDÖ)	[0.10 ; 0.15] ,	[0.85 ; 0.95] ,	[0.05 ; 0.15]

4.2 Aralık Değerli Küresel Bulanık LOPCOW (BLOPCOW)

LOPCOW yöntemi Ecer ve Pamucar (2022) tarafından karar verme problemlerinde kriter ağırlıklarının hesaplanması amacıyla literatüre kazandırılmıştır. Bu yöntem ile karar vericiye, birçok geleneksel yöntemde göz ardı edilen negatif performans değerlerinin kullanılması avantajı da sunulmaktadır. Böylelikle gerçek hayat problemleri için daha gerçekçi sonuçlar ortaya konulabilmektedir. Aynı zamanda yöntem çokça kriter ve alternatifle kullanılarak kriter ağırlıklarının değerlendirilmesi konusunda dengeli bir dağılıma sahiptir (Biswas ve diğ. 2022). Bu bölümde önerilen IVSFS tabanlı LOPCOW ile klasik yöntem geliştirilmiştir. Değerlendirmelerin dilsel ifadeler ile daha geniş bir ölçeklendirme ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Şekil 4.2’de sunulan metodolojiye ait çözüm adımları şu şekilde tanımlanmaktadır:

Adım 1: Uzman değerlendirilmesi

KV’lar tarafından probleme ilişkin kriterlerin belirtilen IVSFS dilsel terimleri ışığında değerlendirilmesidir.

Adım 2: Bulanık karar matrisinin oluşturulması

KV’ler tarafından yapılan dilsel değerlendirmelerin, bulanık sayı karşılıkları ile oluşturulan değerlendirme matrisidir.

Karar matrisinin \bar{X} olarak tanımlanması durumunda, $[\tilde{x}_{ij}]_{m \times n}$ her bir matris elemanını temsil edecektir. Bu notasyonda ‘ i ’ alternatif sırasını, ‘ j ’ kriter sırasını ifade ederken, ‘ m ’ alternatif sayısını ve ‘ n ’ değerlendirme kriterlerinin sayısını ifade etmektedir.

Adım 3: Normalize karar matrisinin oluşturulması

Normalizasyon işlemi, klasik LOPCOW yönteminde olduğu gibi fayda ve maliyet yönlü kriterler için farklı ifade edilmektedir. $\bar{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ normalize karar matrisi elemanlarını belirtmektedir. \bar{R} şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\text{Fayda yönlü kriterler için: } \tilde{r}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \quad (4.14)$$

$$\text{Maliyet yönlü kriterler için: } \tilde{r}_{ij} = \tilde{r}_{ij}^c \quad (4.15)$$

Adım 4: Skor matrisinin hesaplanması

Normalize edilen değerlendirme verileri için net puan değerlerinin hesaplandığı matristir. Denklem (4.12)'de yer alan formülasyon ile hesaplanmaktadır.

Bu adımın ardından çözümlene klasik LOPCOW yöntemi adımları ile ilerleyecektir (Ecer ve Pamucar 2022).

Adım 5: Yüzde Değeri (PV) hesaplanması

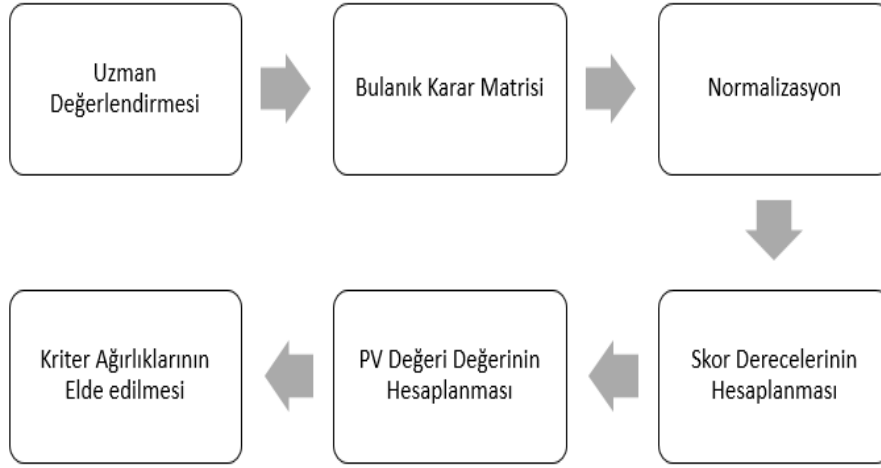
Bu adımda amaç, puan değerleri arasındaki boşluğu hesaplamak ve kriterlere bağlı skor değerlerini tek düze bir dağılımla yerleştirmektedir. Her kriter için yüzde değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. 'σ' her bir kriter için hesaplanan puan değerlerine ait standart sapmayı ifade etmektedir.

$$PV_{ij} = \left| \ln \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij})^2}{m}}}{\sigma} \right| * 100 \quad (4.17)$$

Adım 6: Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Her j kriteri için önem ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\omega_j = \frac{PV_{ij}}{\sum_{j=1}^n PV_{ij}} \quad (4.18)$$



Şekil 4.2: BLOPCOW yöntemi metodolojisi

4.3 Aralık Değerli Küresel Bulanık COBRA (BCOBRA)

COBRA yöntemi alternatiflerin sıralanması ve mesafe tabanlı tüm yöntemlerin avantajlarını birleştirmek, hangi mesafe ya da hangi çözüme göre sıralanması gerektiği tartışmasını ortadan kaldırmak amacıyla Krsti'c ve diğ. (2022) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Yöntem ile birlikte karar süreci daha güvenilir ve geniş kapsamlı bir hale getirilmiştir (Krsti'c ve diğ. 2022). Bu bölümde önerilen IVSFS tabanlı COBRA ile yöntem geliştirilmiştir. Değerlendirmeler için dilsel ifadeler ile daha geniş bir ölçek sunulmuş böylelikle karar vericilerin daha geniş bir skalada değerlendirme yapabilmesi hedeflenmiştir. Şekil 4.3'te ye alan metodolojiye ait önerilen yöntem için çözüm adımları şu şekilde tanımlanmaktadır:

Adım 1: Uzman değerlendirme

KV'lar tarafından probleme ilişkin kriterlerin belirtilen IVSFS dilsel terimleri ışığında değerlendirilmesidir.

Adım 2: Bulanık karar matrisinin oluşturulması

KV'lar tarafından yapılan dilsel değerlendirmelerin, bulanık sayı karşılıkları ile oluşturulan değerlendirme matrisidir.

Karar matrisinin \bar{X} olarak tanımlanması durumunda, $[\tilde{x}_{ij}]_{m \times n}$ her bir matris elemanını temsil edecektir. Bu notasyonda 'i' alternatif sırasını, 'j' kriter sırasını ifade ederken, 'm' alternatif sayısını ve 'n' değerlendirme kriterlerinin sayısını ifade etmektedir.

Adım 3: Normalize karar matrisinin oluşturulması

Normalizasyon işlemi, klasik LOPCOW yönteminde olduğu gibi fayda ve maliyet yönlü kriterler için farklı ifade edilmektedir. $\bar{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ normalize karar matrisi elemanlarını belirtmektedir. \bar{R} şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\text{Fayda yönlü kriterler için: } \tilde{r}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \quad (4.19)$$

$$\text{Maliyet yönlü kriterler için: } \tilde{r}_{ij} = \tilde{r}_{ij}^c \quad (4.20)$$

Adım 4: Ağırlıklı normalize matrisin hesaplanması

Değerlendirme kriterlerine ait kriterler ve IVSFS tanımlı olan skalar çarpım formülasyonu kullanılarak elde edilen matristir. Denklem (4.8)'den faydalanılmaktadır.

Adım 5: Skor matrisinin hesaplanması

Normalize edilen değerlendirme verileri için net puan değerlerinin hesaplandığı matristir. Denklem (4.21) ile hesaplanmaktadır:

$$\varphi_{ij} = Sc(\tilde{r}_{ij}) = \frac{(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 - (\vartheta_A^L)^2 - (\vartheta_A^U)^2 - (\pi_A^L)^2 - (\pi_A^U)^2}{2} \quad (4.21)$$

Bu adımın ardından çözümlenme klasik COBRA yöntemi adımları ile ilerleyecektir (Kristi'c ve diğ. 2022).

Adım 6: Pozitif İdeal – Negatif İdeal – Ortalama Çözüm değerlerinin hesaplanması

$$\begin{array}{ll} \text{Fayda yönlü ise: } \max \varphi_{ij} & \\ \text{Pozitif İdeal Çözüm (PIS}_j\text{):} & \text{Maliyet yönlü ise: } \min \varphi_{ij} \end{array} \quad (4.23)$$

$$\begin{array}{ll}
\text{Negatif İdeal Çözüm} & \text{Fayda yönlü ise: } \min \varphi_{ij} \\
(NIS_j): & \text{Maliyet yönlü ise: } \max \varphi_{ij}
\end{array} \quad (4.24)$$

$$\begin{array}{ll}
\text{Ortalama Çözüm } (AS_j): & \text{Fayda ve Maliyet yönlü kriterler için:} \\
& \frac{\sum \varphi_{ij}}{n}
\end{array} \quad (4.25)$$

Adım 7: Öklid ve Taxicab uzaklıklarının hesaplanması

$dE(S_j)$, öklid uzaklığını, $dT(S_j)$, Taxicab uzaklığını ifade etmektedir.

$$dE(PIS) = \sqrt{\sum (PIS - \varphi_{ij})^2} \quad (4.26)$$

$$dT(PIS) = \sum |(PIS - \varphi_{ij})| \quad (4.27)$$

$$dE(NIS) = \sqrt{\sum (NIS - \varphi_{ij})^2} \quad (4.28)$$

$$dT(NIS) = \sum |(NIS - \varphi_{ij})| \quad (4.29)$$

Pozitif ideal çözümden ortalama çözüme olan mesafenin hesaplanması:

$$dE(AS +) = \sqrt{\sum \tau^+(AS - \varphi_{ij})^2} \quad (4.30)$$

$$dT(AS +) = \sum |\tau^+(AS - \varphi_{ij})| \quad (4.31)$$

$$\tau^+ \begin{cases} AS < \varphi_{ij} & 1 \\ AS > \varphi_{ij} & 0 \end{cases}$$

Negatif ideal çözümden ortalama çözüme olan mesafenin hesaplanması:

$$dE(AS -) = \sqrt{\sum \tau^-(AS - \varphi_{ij})^2} \quad (4.32)$$

$$dT(AS -) = \sum |\tau^-(AS - \varphi_{ij})| \quad (4.33)$$

$$\tau^- \begin{cases} AS > \varphi_{ij} & 1 \\ AS < \varphi_{ij} & 0 \end{cases}$$

S_j , herhangi bir çözümü (PIS, NIS, AS) ifade etmektedir. σ , düzeltme katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

$$d(S_j) = dE(S_j) + \sigma \times dE(S_j) \times dT(S_j) \quad (4.34)$$

$$\sigma = \max dE (S_j) - \min dE (S_j) \quad (4.35)$$

Adım 8: Alternatiflerin sıralanması

Her alternatif için hesaplanan dC_i değerlerinden en büyük olan en iyi alternatifi ifade etmektedir.

$$dC_i = \frac{d(PIS_j)_i - d(NIS_j)_i - d(AS_j)_i^+ + d(AS_j)_i^-}{4} \quad (4.36)$$

Negatif ideal çözümden ortalama çözüme olan mesafenin hesaplanması:

$$dE(AS -) = \sqrt{\sum \tau^-(AS - \varphi_{ij})^2} \quad \tau^+ \begin{cases} AS > \varphi_{ij} & 1 \\ AS < \varphi_{ij} & 0 \end{cases} \quad (4.32)$$

$$dT(AS -) = \sum |\tau^-(AS - \varphi_{ij})| \quad (4.33)$$

S_j , herhangi bir çözümü (PIS, NIS, AS) ifade etmektedir. σ , düzeltme katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

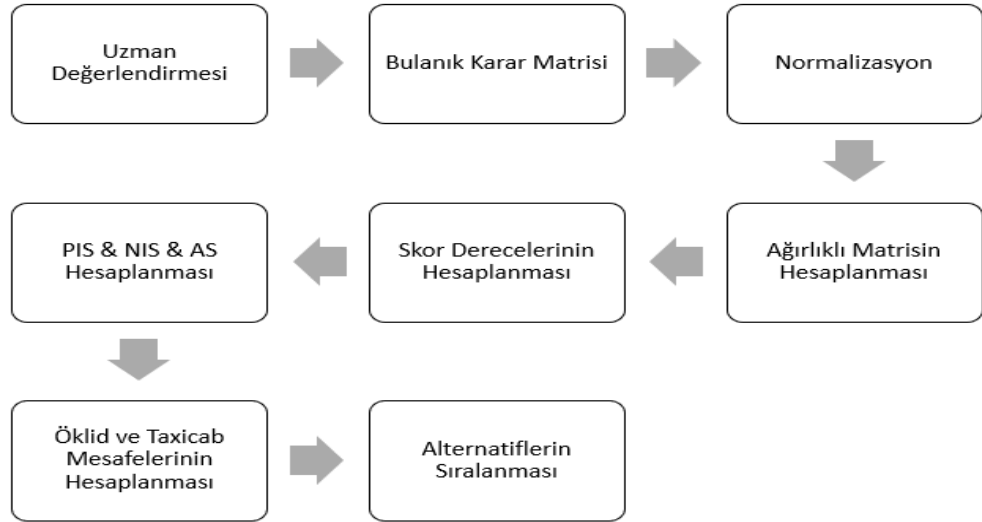
$$d(S_j) = dE(S_j) + \sigma \times dE(S_j) \times dT(S_j) \quad (4.34)$$

$$\sigma = \max dE (S_j) - \min dE (S_j) \quad (4.35)$$

Adım 8: Alternatiflerin sıralanması

Her alternatif için hesaplanan dC_i değerlerinden en büyük olan en iyi alternatifi ifade etmektedir.

$$dC_i = \frac{d(PIS_j)_i - d(NIS_j)_i - d(AS_j)_i^+ + d(AS_j)_i^-}{4} \quad (4.36)$$



Şekil 4.3: BCOBRA yöntemi metodolojisi

4.4 Aralık Değerli Küresel Bulanık MAIRCA (BMAIRCA)

MAIRCA yöntemi Gıgovic ve diğ. tarafından (2016) alternatiflerin sıralanması amacıyla literatüre kazandırılmıştır. Aralık değerli küresel bulanık sayılar ile birlikte ilk kullanımı Erdoğan'ın (2021) yayımladığı çalışmasında görülmektedir. Yöntem çelişkili karar verici değerlendirmelerini ve karar vericiler için kriter yönüne ilişkin endişeleri, ideal ve deneysel mesafeler arasındaki farkı hesaplayarak ortadan kaldırma avantajını sunmaktadır (Kabak ve Erdebilli 2021; Erdoğan 2021; Yazgan ve Agamyradova, 2021). Şekil 4.4'te sunulan metodolojiye ait hesaplama adımları şu şekildedir:

Adım 1: Dilsel değerlendirme matrisi ve Bulanık karar matrisinin oluşturulması

Tüm alternatifler (m) belirlenen kriterler (n) altında değerlendirilmektedir. Karar verici grubu tarafından aralık değerli küresel bulanık sayılar için tanımlanan dilsel ifadeler ile değerlendirmeler kullanılarak kriterler değerlendirilir. Ardından dilsel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları ile bulanık karar matrisi elde edilmektedir. (Bkz. Tablo 4.1)

Adım 2: Alternatifler için tercih olasılıklarının belirlenmesi

MAIRCA ve BMAIRCA yöntemlerinde karar vericiler süreçte tarafsızca yer almaktadır ve tüm alternatiflerin seçilme olasılığı eşit olarak kabul görmektedir. Her bir alternatifin tercih olasılığı Denklem (4.37) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_{A_i} = \frac{1}{m} ; \sum_{i=1}^m P_{A_i} = 1 \quad (4.37)$$

Adım 3: Teorik Karar matrisinin ($k_{p_{ij}}$) hesaplanması

Teorik hesaplama matrisi elemanları, alternatif tercih olasılıkları (P_{A_i}) ve BLOPCOW yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları (ω_j) çarpılarak elde edilmektedir.

$$K_p = \begin{pmatrix} k_{p11} & \cdots & k_{p1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{pm1} & \cdots & k_{pmn} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} P_{A_1}\omega_1 & \cdots & P_{A_1}\omega_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{A_m}\omega_1 & \cdots & P_{A_m}\omega_n \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

Adım 4: Skor fonksiyonu hesaplanması

1 eklenmesi ile farklı bir skor fonksiyonu hesaplaması sunulmaktadır. Bu değişiklik ile pozitif değerlerin kullanılması ile küresellikte pratik bir işlem sunulması amaçlanmaktadır.

$$Sc(\tilde{x}_{ij}) = \frac{(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 - (\vartheta_A^L)^2 - (\vartheta_A^U)^2 - (\pi_A^L)^2 - (\pi_A^U)^2}{2} + 1 \quad (4.39)$$

Adım 5: Normalizasyon

Skor fonksiyonlarının hesaplandığı matris üzerinden maliyet yönlü kriterler için denklem 4.40 ve fayda yönlü kriterler için Denklem (4.41) ile normalizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{Sc(\tilde{x}_{ij}) - \min(Sc(\tilde{x}_{ij}))}{\max(Sc(\tilde{x}_{ij})) - \min(Sc(\tilde{x}_{ij}))} \quad (4.40)$$

$$\frac{Sc(\tilde{x}_{ij}) - \max(Sc(\tilde{x}_{ij}))}{\min(Sc(\tilde{x}_{ij})) - \max(Sc(\tilde{x}_{ij}))} \quad (4.41)$$

Adım 6: Gerçek değerlendirme matrisinin hesaplanması

Normalize edilmiş karar matrisi ve skor fonksiyon değerlerinin çarpımı ile elde edilmekte ve Denklem (4.42) ve Denklem (4.43) ile ifade edilmektedir.

$$k_{rij} = k_{p_{ij}} \left(\frac{Sc(\tilde{x}_{ij}) - \min(Sc(\tilde{x}_{ij}))}{\max(Sc(\tilde{x}_{ij})) - \min(Sc(\tilde{x}_{ij}))} \right) \quad (4.42)$$

$$k_{rij} = k_{p_{ij}} \left(\frac{Sc(\tilde{x}_{ij}) - \max(Sc(\tilde{x}_{ij}))}{\min(Sc(\tilde{x}_{ij})) - \max(Sc(\tilde{x}_{ij}))} \right) \quad (4.43)$$

Adım 7: Toplam boşluk matrisinin hesaplanması

Teorik değerlendirme ve gerçek değerlendirme matrislerinin arasındaki boşluk değerinin(farkın) hesaplandığı aşamadır.

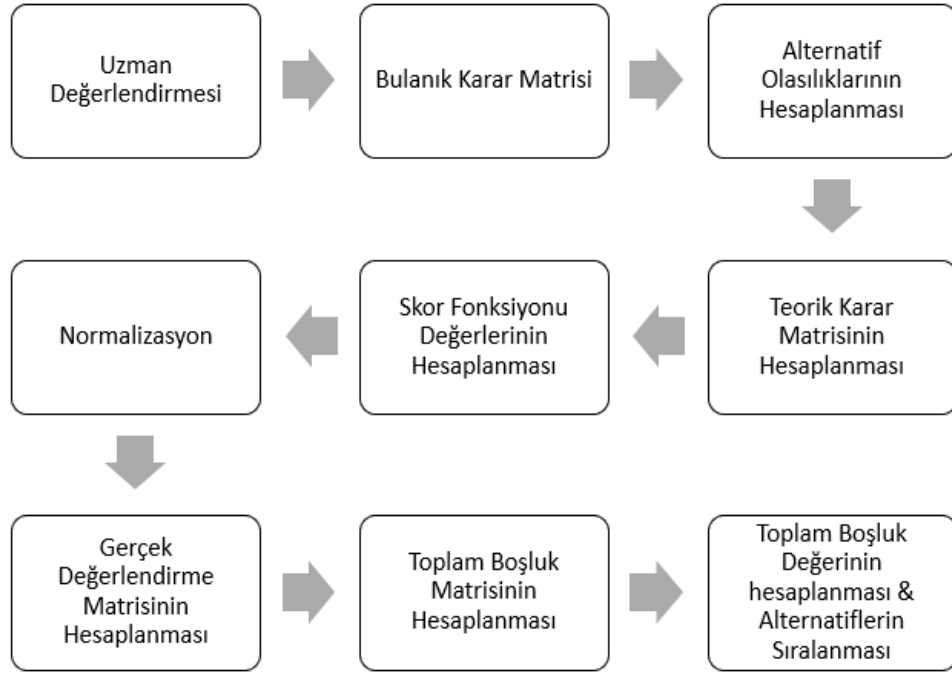
$$G_{ij} = K_p - K_r = \begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & \cdots & g_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{p_{11}} - k_{r_{11}} & \cdots & k_{p_{1n}} - k_{r_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{p_{m1}} - k_{r_{m1}} & \cdots & k_{p_{mn}} - k_{r_{mn}} \end{bmatrix} \quad (4.44)$$

$$g_{ij} = \begin{bmatrix} 0, & k_{p_{ij}} = k_{r_{ij}} \\ k_{p_{ij}} - k_{r_{ij}}, & k_{p_{ij}} > k_{r_{ij}} \end{bmatrix} \quad (4.45)$$

Adım 8: Toplam boşluk değerinin hesaplanması

Boşluk değerlerinin (G_{ij}) toplamı olarak hesaplanan değerdir. Toplam boşluk değerinin en küçük olduğu alternatif en iyi olarak kabul edilmektedir.

$$Q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}, i = 1,2,3, \dots m \quad (4.46)$$



Şekil 4.4: BMAIRCA yöntemi metodolojisi

4.5 Aralık Değerli Küresel Bulanık WASPAS (BWASPAS)

Zavadskas ve diğ. (2012) tarafından önerilen yöntem iki ayrı metodun bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Yöntemin temelini oluşturan iki yöntem ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım modelleridir. Yöntem karar vericilere ek değerlendirmeler yapmadan, mevcut veri kombinasyonlarından elde edilen işlem parametre ayarlamaları sayesinde yüksek güvenilirlik avantajı sunmakta ve basitliği nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir (Krstić ve diğ. 2022). Yöntem IVSFS ile ilk olarak Menekşe ve Akdağ'ın çalışması ile entegre edilmiştir (Menekşe ve Akdağ 2023). İşlem kolaylığı sunması nedeniyle sıklıkla tercih edilen yöntem aynı zamanda ağırlıklı bütünleştirilmiş fonksiyonu optimize ederek tutarlılığı yüksek sonuçlar sunmayı hedeflemektedir (Lashgari ve diğ. 2014). IVSFS ile entegre edilen Bulanık WASPAS yöntemi metodolojisi Şekil 4.5 ile gösterilmiştir. İşlem adımları şu şekilde tanımlanmaktadır (Menekşe ve Akdağ 2023):

Adım 1: Kriterlerin değerlendirilmesi ve bulanık karar matrisinin oluşturulması

Tüm alternatifler (m) belirlenen kriterler (n) altında uzman karar verici grubu tarafından, Tablo 4.1’de yer alan ifadeler ışında değerlendirilmektedir. Ardından dilsel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları ile bulanık karar matrisi elde edilmektedir.

Adım 2: Normalize ağırlıklı toplam matrisinin(S_i) oluşturulması

Yöntemin metotlarından olan ağırlıklı toplam fonksiyonu için bulanık karar matrisi üzerinden işlem yapılmaktadır. Karar verici ya da ilgili yöntem ile belirlenen ağırlıklar kullanılarak Denklem (4.8) ile hesaplanmaktadır. Ardından elde edilen ağırlıklı toplam matrisi Denklem (4.4) kullanılarak normalize edilmektedir.

Adım 3: Normalize ağırlıklı çarpım matrisinin(P_i) oluşturulması

Yöntemin metotlarından olan ağırlıklı çarpım fonksiyonu için bulanık karar matrisi üzerinden işlem yapılmaktadır. Karar verici ya da ilgili yöntem ile belirlenen ağırlıklar kullanılarak Denklem (4.9) ile hesaplanmaktadır. Ardından elde edilen ağırlıklı toplam matrisi Denklem (4.4) kullanılarak normalize edilmektedir.

Adım 4: Toplam matrisinin oluşturulması

Yöntem metotlarının Denklem (4.46) kullanılarak birleştirildiği aşamadır.

$$\tau_i = \lambda S_i + (1 - \lambda)P_i \quad (4.46)$$

Formülde yer alan ‘ λ ’ karar verici tarafından belirlenen kontrol parametresidir. Atanan değer sonuç üzerinde iki farklı metot için etki oranını belirlemektedir. Eğer $\lambda=0$ alınırsa model ağırlıklı toplam, $\lambda=1$ alınırsa ağırlık çarpım olarak etki göstermektedir (Tırmıkçioğlu 2021)

Adım 5: Skor fonksiyonlarının hesaplanması

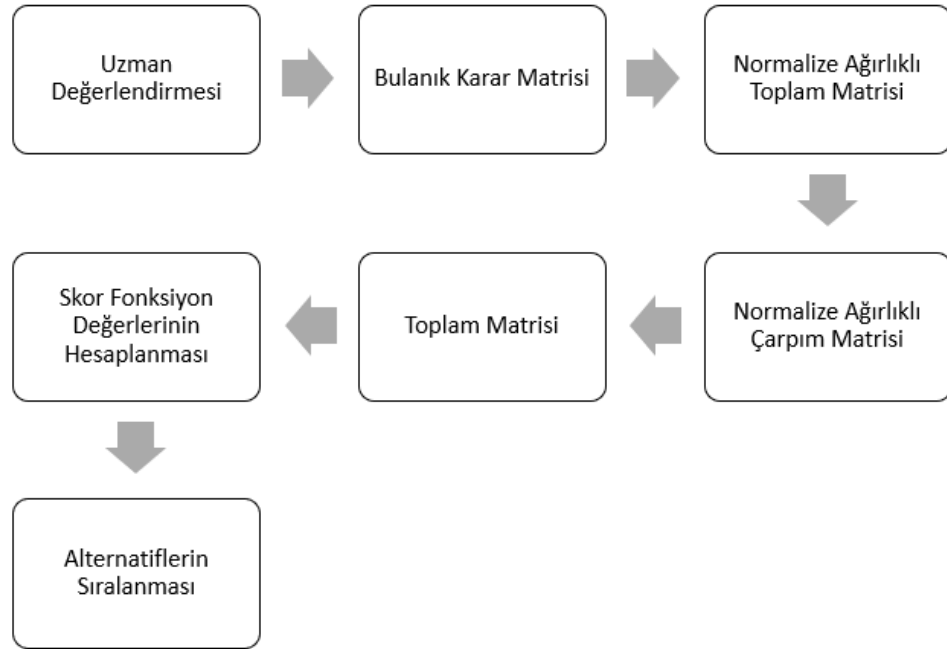
Bu adımda toplam matris elemanlarının skor fonksiyon değerleri hesaplanarak, kesin sayılara dönüştürülmektedir. Her bir kriter için skor fonksiyon değeri Denklem (4.47) ile hesaplanmaktadır.

$$Sc(\tilde{x}_{ij}) = \frac{(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 - (\vartheta_A^L)^2 - (\vartheta_A^U)^2 - \left(\frac{\pi_A^L}{2}\right)^2 - \left(\frac{\pi_A^U}{2}\right)^2}{2} \quad (4.47)$$

Adım 6: Alternatiflerin sıralanması

Skor fonksiyon değerleri toplamı sonucunda en büyük değere sahip olan alternatif en iyi olarak kabul edilmektedir. Sıralama değerleri için Denklem (4.48)'den faydalanılmaktadır.

$$R_i = \sum_{j=1}^n Sc(\tilde{x}_{ij}) \quad ; j = 1,2,3..m \quad (4.48)$$



Şekil 4.5 : BWASPAS yöntemi metodolojisi

4.6 Aralık Değerli Küresel Bulanık TOPSIS (BTOPSIS)

Hwong ve Yoon (1980) tarafından alternatiflerin sıralanması amacıyla literatüre kazandırılan bir ÇKKV yöntemidir. Klasik TOPSIS yönteminin temelinde pozitif ve negatif ideal çözümlerin, ideal çözüme olan uzaklığı yer almaktadır. İdeal çözüme göre görece yakınlıklar sıralanarak alternatifler için sıralamalar elde edilmektedir (Soba ve Eren 2011). Yöntemin başlıca avantajları olarak netliği,

tutarlılığı ve matematiksel açıklığı sıralanmaktadır (Krstić ve diğ. 2022). Farrokhzadeh ve diğ. (2021), TOPSIS yöntemini aralık değerli küresel küme ile entegre etmiş, aynı zamanda yöntemin temel işleyişine farklı bir bakış açısı sunmuştur. Çalışmalarında mesafe ölçüsünü Kosinüs Benzerlik Ölçüsü (CSM) ile değiştirmişlerdir. Böylelikle her alternatif için negatif ve pozitif referans indeksi arasındaki mesafeyi hesaplamışlardır (Farrokhzadeh ve diğ. 2021). IVSFS ile entegre edilmiş CSM kullanılan ve Şekil 4.6 ile sunulan metodolojiye ait TOPSIS yöntemi için işlem adımları şu şekildedir:

Adım 1: Kriterlerin değerlendirilmesi ve bulanık karar matrisinin oluşturulması

Tablo 4.1’de yer alan dilsel ifadeler kullanılarak karar vericiler tarafından değerlendirmeler gerçekleştirilmektedir. Ardından aynı tabloda yer alan bulanık sayı karşılıkları ile bulanık karar matrisi elde edilmektedir.

Adım 2: Ağırlıklı bulanık matrisin oluşturulması

Bulanık karar matrisi ve değerlendirme kriterleri için belirlenen ağırlıkların çarpımı ile elde edilen matristir. IVSFS’de tanımlı skalar çarpım formülünden faydalanılmaktadır. Formül Denklem (4.8) olarak tanımlanmıştır.

Adım 3: Pozitif ve negatif ideal çözümler arasındaki benzerlik oranının hesaplanması

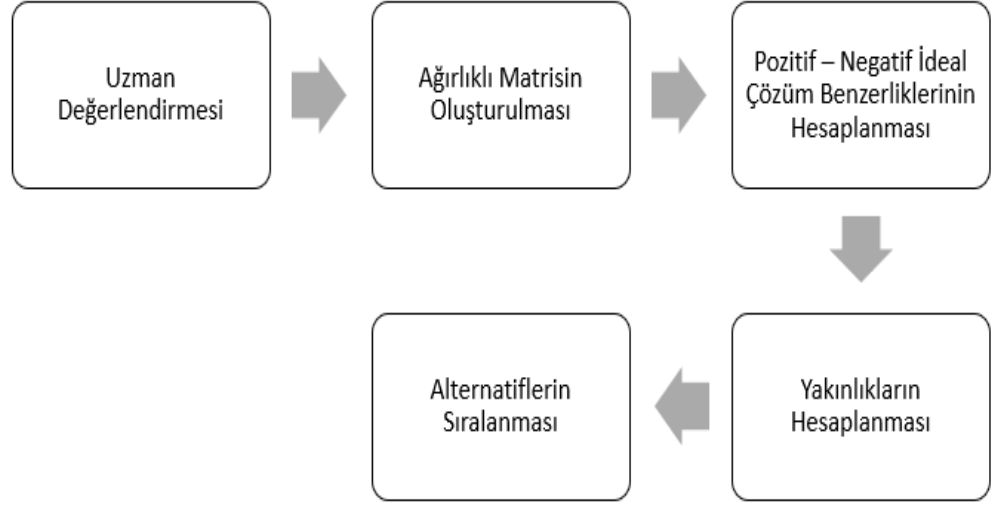
Bu adımda Wei ve arkadaşları tarafından (2019) önerilen CSM yöntemi kullanılacaktır. CSM hesaplama formülü Denklem (4.49) ile tanımlanmıştır. Pozitif ideal çözüm için benzerlik değeri için Denklem (4.50) kullanılmaktadır. Negatif ideal çözüm için benzerlik değeri için Denklem (4.51) kullanılmaktadır. (Bkz: Ek A)

Burada A_j^+ ve A_j^- değeri karar verici tanımlanan ideal çözüm değeridir.

Adım 4: Yakınlık Değeri (CR_i) hesaplanması ve alternatiflerin sıralanması

$$CR_i = \frac{C(A_{ij}, A_j^+)}{C(A_{ij}, A_j^-) + C(A_{ij}, A_j^+)} \quad (4.52)$$

En yüksek CR_i değerine sahip en iyi olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4.6: BTOPSIS yöntemi metodolojisi

4.7 Uzlaşma Yöntemleri

Birden fazla yöntem kullanılması durumunda elde edilen farklı sıralamaların tek bir sıralamaya indirgenmesini sağlayan verileri birleştiren yöntemlerdir (Çakır ve Perçin 2013).

4.7.1 Borda Sayım Yöntemi

Borda sayım yöntemi, Jean-Charles de Borda (1784) tarafından bir oylama tekniği olarak geliştirilmiştir. Esasen bir sınıflandırma yöntemi olmasına rağmen ÇKKV yöntemleri ile elde edilen sonuçların birleştirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Akyüz ve Aka 2017). Uygulama kolaylığı açısından avantaj sunan yöntem, alternatifler için önem derecelerini eşit kabul etmektedir (Ho ve diğ., 1992).

Yöntem adımlarında m adet alternatif için, en iyi kabul edilen alternatife $m-1$, ikinci en iyi durumda tanımlanan alternatif $m-2$ olmak üzere azalan değerler verilmekte ve en kötü alternatif “0” değerini almaktadır. Son adımda alternatifler için Denklem (4.53) kullanılarak ‘Borda Skoru (b_i)’ hesaplanmaktadır. En yüksek borda

skoruna sahip olan alternatif en iyi olarak kabul edilmektedir (Lansdowne ve Woodward 1996).

$$b_i = \sum_{k=1}^n (m - r_{ik}) \quad (4.53)$$

m = Alternatif sayısı

r_{ik} = k. kriter altındaki i. alternatifin sırası

5. UYGULAMA

Bu çalışmada Denizli’de faaliyet gösteren bir kablo üreticisinin oluşturduğu atıkların optimum fayda ile tekrar kullanımı, geri kazanılması amaçlanmaktadır. İşletmede ortaya çıkan birden fazla atık çeşidi bulunmakta ve bunlar üreticiler için girdi değerinde olmaktadır. Kablo sektöründe oluşan atıkların başka sektörler için hammadde ya da girdi olarak kullanılması ile kurulması planlanan simbiyotik ilişkide çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra ekonomik fayda sağlanması da amaçlanmaktadır. Dolayısıyla kablo üreticilerinin değerlendirmeleri ışığında çevre kirliliğinin önüne geçmek, doğal kaynakları korumak için en uygun simbiyotik iş ortağı sektörü seçimi yapabilmek adına bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Problemin amacının tanımlanmasının ardından ana kriterler ve hedefleri etkileyen alt kriterler literatür taraması ve uzman görüşmeleri neticesinde belirlenmiştir. Çevresel, ekonomik, sosyal, yasal ve dayanıklılık olmak üzere belirlenen beş ana kriterin altında toplam 36 alt kriter tanımlanmıştır. Simbiyotik iş ortağı seçiminde etkili olduğu belirlenen kriterlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesi için BLOPCOW yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen ağırlıkların ardından alternatiflerin sıralanması için BCOBRA yöntemi kullanılmış ve alternatifler için önceliklendirme yapılmıştır. Kriter ağırlıklandırma ve alternatif sıralama için kullanılan yöntemlerde aralık değerli küresel bulanık sayılardan faydalanılmıştır. Böylelikle karar vericilerin değerlendirmelerini dilsel, günlük ifadeler ile yapabilmelerine olanak sağlanmış ve değerlendirmeler daha geniş bir ölçek ile gerçekleştirilmiştir. Tüm yöntemler için işlemler Microsoft Excel 2021 ortamında yapılmıştır.

5.1 Kriterlerin Belirlenmesi

Simbiyotik iş ortağı seçimi probleminde kullanılacak kriterlerin belirlenmesi endüstriyel simbiyoz çalışmalarında ele alınan kriterlerin incelemesi ile gerçekleştirilmiştir. Ardından karar vericiler ile gerçekleştirilen görüşmeler

neticesinde gerçek hayatta iş ortağı seçimlerinde önem arz eden kriterler belirlenmiş ve eklemeler yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan kriterler ve kriterlere ait tanımlara Bölüm 3'te (bkz. Tablo 3.1.) verilmiştir. Yapılan araştırma ve görüşmeler ile nihai tabloda ana kriterler; çevresel, sosyal, ekonomik, yasal ve dayanıklılık olarak belirlenmiştir. Yapılan literatür taramasında "Dayanıklılık" ana kriterinin çalışmalarda ana kriter olarak ele alınmadığı görülmüştür. Çalışmada yapılan uzman görüşmelerinde, üretimin aksamaması, sürekliliğin sağlanması için simbiyotik oluşumun olumsuz koşullar karşısında gösterdiği reaksiyonları değerlendirebilmek ve olası simbiyoz ağı ortaklıklarına uyum sağlayabilme yeteneğini ölçebilmek adına "Dayanıklılık" ana kriterine de yer verilmiştir. Dayanıklılık ana kriteri altında sektörü ve üretim değerlendirme detaylarını içeren üç alt kriter belirlenmiştir.

Sosyal kriterler, simbiyotik iş ortaklığı ile birlikte sosyal/toplumsal faydanın etkisi ve değerlendirilmesi amacı ile ele alınmıştır. Bu ana kriter altında, eğitim fırsatlarının, istihdam potansiyelinin de ele alındığı dokuz alt kriter yer almaktadır. İş güvenliği ve sağlığının değerlendirildiği kriter, uzman görüşleri sonucu eklenmiştir.

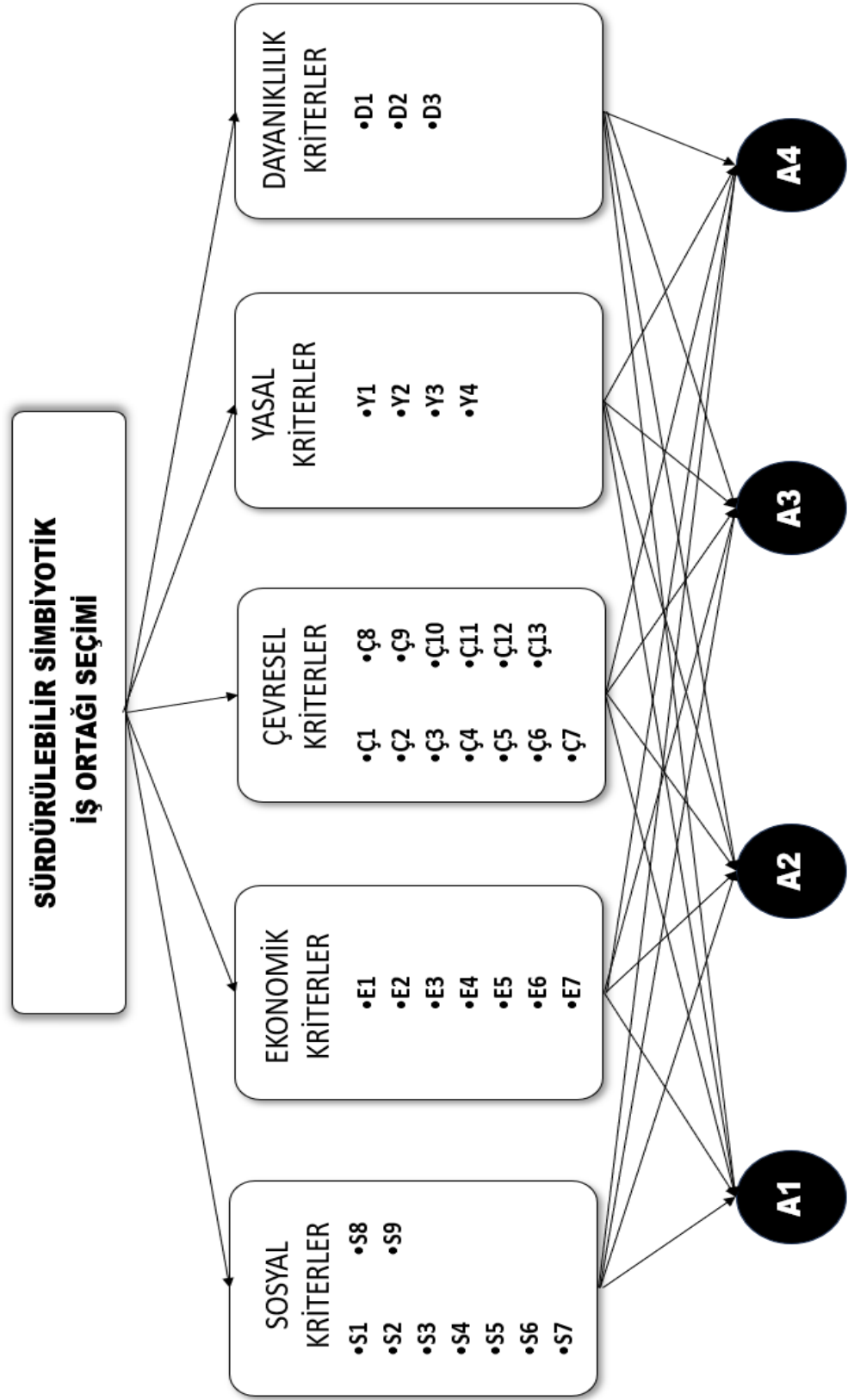
Çevresel kriterler, simbiyoz çalışmalarında ele alınması kaçınılmaz olan ana başlıklardan biridir. Çünkü; simbiyoz kavramı çevresel yarar sağlanması amacı ile ortaya çıkmıştır. Bu ana kriter altında oluşan toksik atıkların, bertaraf ve arıtma tesisleri varlığının, su tüketim miktarlarının da yer aldığı 13 kriter ele alınmıştır. Çevresel kriterler altında yer alan "*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Varlığı*" kriteri uzman görüşleri sonucu sera gazı emisyonlarının azaltılmasında faydalı olması ve enerji dışa bağımlılığının minimize edilerek ekonomik fayda sağlanabilmesi nedeniyle eklenmiştir. Aynı zamanda işletmelerin atık azaltma politikalarının değerlendirilmesi için sunulan "*Atık Azaltma*" kriteri ile işletmelerin doğal kaynakları korumak ve tüketimi olması gereken düzeyde tutmak, üretimi en az kayıpla devam ettirmek amacıyla izlediği politikaların değerlendirildiği bir alt kriterdir.

Ekonomik kriterler, iş ortakları arasında sağlanması hedeflenen maddi kazanç ve minimize edilmesi mecburi olan maliyetlerin değerlendirildiği ana kriterdir. Taşıma, işletme gibi maliyetler bu ana kriter altında yer alan yedi alt kriter ile ele

alınacaktır. Uzman görüşleri sonucu ekonomik ana kriterlerinin altında “İşletme Maliyetleri” ne yer verilmiştir. Bu kriterin değerlendirilmesi işletme maliyetlerinin minimum olması neticesinde çevresel, sosyal faydalar için yatırım kararlarında bütçe kısıtlamasının önüne geçilebileceği ve avantaj sağlanabileceği düşüncesidir.

Yasal kriterler, devletin işletmelere fayda sağlanması adına, teşvik edici hibe ve yatırım kolaylıklarının değerlendirildiği ve uygulanması gereken standartların varlık ve işleyişlerinin değerlendirildiği ana kriter olarak ele alınmış ve dört alt kriteri içermektedir. Devlet üretim işletmelerinde çevresel standartları ISO 14000 sertifikası ile kontrol altında tutmaktadır. Bu kriter ile işletmelerin yönetmeliklere uygun olarak ilerleyişleri değerlendirilecektir.

Çalışmada ele alınan tüm ana ve alt kriterlere ait hiyerarşik yapı Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Kriterlere ait hiyerarşik yapı

5.2 Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde Tablo 3.1’de belirtilen kriterler üç karar verici ile dilsel ifadeler kullanılarak değerlendirilmiştir. Karar verici grubu; çevre mühendisi, bir üretim yöneticisi ve kablo sektöründe görev alan bir endüstri mühendisinden oluşmaktadır. Tüm karar vericiler hem kriterleri hem de alternatifleri değerlendirmiştir. Değerlendirmeler neticesinde önem ağırlıklarının belirlenmesi için BLOPCOW yönteminden faydalanılmıştır. Karar vericilere değerlendirme için sunulan dilsel ifadelerin yer aldığı ölçek ve aralık değerli küresel bulanık sayı karşılıkları Tablo 4.1’de sunulmuştur.

5.2.1 BLOPCOW Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Adım 1: Dilsel matrisin oluşturulması

BLOPCOW yönteminin ilk adımında karar vericiler tüm kriterleri dilsel değerlendirme ölçeği ışında değerlendirmektedirler. Her karar verici tüm kriterler için ayrı değerlendirme yapmıştır. Dilsel değerlendirmeleri içeren matris Tablo 5.1’de sunulmuştur.

Tablo 5.1: Karar verici grubu dilsel değerlendirme sonuçları

Kriter Kodu	KV1	KV2	KV3	Kriter Kodu	KV1	KV2	KV3
S1	KÇÖ	YÖ	YÖ	D3	KÇÖ	KÇÖ	YÖ
S2	HÇÖ	Ö	YÖ	Ç1	HÇÖ	DÖ	KÇÖ
S3	HDÖ	ÇDÖ	Ö	Ç2	KÇÖ	ÇYÖ	ÇYÖ
S4	ÇDÖ	ÇDÖ	Ö	Ç3	KÇÖ	ÇYÖ	KÇÖ
S5	KÇÖ	KÇÖ	YÖ	Ç4	HÇÖ	HÇÖ	HDÖ
S6	HDÖ	HÇÖ	DÖ	Ç5	DÖ	Ö	KÇÖ
S7	KDÖ	KÇÖ	YÖ	Ç6	KÇÖ	DÖ	HDÖ
S8	KDÖ	KÇÖ	HÇÖ	Ç7	ÇDÖ	ÇDÖ	YÖ
S9	YÖ	YÖ	KÇÖ	Ç8	YÖ	HDÖ	ÇYÖ
E1	KÇÖ	KÇÖ	ÇDÖ	Ç9	KÇÖ	KÇÖ	HÇÖ
E2	KÇÖ	KÇÖ	ÇDÖ	Ç10	HDÖ	KDÖ	KÇÖ
E3	KÇÖ	ÇYÖ	ÇDÖ	Ç11	HÇÖ	YÖ	YÖ
E4	ÇYÖ	HÇÖ	DÖ	Ç12	KÇÖ	KÇÖ	HDÖ
E5	DÖ	KÇÖ	Ö	Ç13	Ö	YÖ	KÇÖ
E6	YÖ	ÇYÖ	HÇÖ	Y1	ÇDÖ	HDÖ	ÇDÖ
E7	KDÖ	YÖ	KDÖ	Y2	DÖ	ÇDÖ	KDÖ
D1	DÖ	HDÖ	HDÖ	Y3	ÇDÖ	ÇDÖ	KÇÖ
D2	DÖ	ÇDÖ	YÖ	Y4	KDÖ	YÖ	HDÖ

Adım 2: Bulanık karar matrisinin oluşturulması

Tablo 5.1’de sunulan matriste yer alan dilsel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları ile (bkz. Tablo 4.1) bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Adım 3: Bulanık karar matrisinin normalize edilmesi

Normalizasyon işlemi fayda yönlü kriterler için Denklem (4.14), maliyet yönlü kriterler için ise Denklem (4.15) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Fayda yönlü kriterler için karar matrisinde yer alan değerler normalize matriste de aynı kalırken, maliyet yönlü kriterler için bulanık sayıların üye olma ve olmama durumları için işlem yapılmaktadır. Ele alınan problemde E1, E2, E3, E4, Ç1, Ç5, Ç9, Ç11 ve Ç13 minimize edilmesi istenilen kriterler olarak tanımlanmaktadır.

Adım 4: Skor matrisi değerlerinin hesaplanması

Skor matrisi değerleri hesaplanırken Denklem (4.12)’den faydalanılmaktadır. Bu adımda bulanık sayılar net sayılara dönüştürülmektedir. Bu aşamanın devamında işlemler klasik yöntemde olduğu gibi devam edecektir. Skor matrisi değerleri Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Adım 5: Yüzde değerleri (PV) hesaplanması

Skor matrisinde hesaplanan değerlerden yararlanılarak tüm kriterler için, tüm karar vericilerin etkileri de hesaba katılarak PV değerleri hesaplanmaktadır. Yüzde değeri hesaplanması için Denklem (4.17) kullanılmaktadır. Denklemde yer alan “ σ ” ifadesi skor matrisi değerlerinin kareleri için standart sapmayı temsil etmektedir. Elde edilen yüzde değerleri Tablo 5.3’te sunulmuştur.

Adım 6: Kriterler için önem ağırlıklarının (ω_{ij}) hesaplanması

Hesaplanan PV değerleri üzerinden kriterler için önem ağırlıklarının hesaplandığı aşama için Denklem (4.18) kullanılmaktadır. Bu aşamada hesaplanan kriter ağırlıklarının toplamının “1” olması gerekmektedir. Elde edilen ağırlıklar Tablo 5.3’te verilmiştir.

BLOPCOW yöntemine ait tüm değerlendirme ve işlem adımları tamamlandığında, en önemli kriterin Ç4 (Hammadde Tasarrufu) olduğu, en düşük önem düzeyine sahip kriterin ise Ç1 (Sera Gazı Emisyonları) olduğu görülmüştür.

Tablo 5.2: BLOPCOW yöntemi skor matrisi değerleri

Kriter Nu.	KV1	KV2	KV3
S1	0,7838	0,3900	0,3900
S2	0,1613	-0,0525	0,3900
S3	-0,3625	-0,6425	-0,0525
S4	-0,6425	-0,6425	-0,0525
S5	0,7950	0,7950	0,4213
S6	-0,3625	0,1613	-0,4925
S7	-0,8088	0,7838	0,3900
S8	-0,8088	0,7838	0,1613
S9	0,3900	0,3900	0,7838
E1	-0,8163	-0,8163	-0,6425
E2	-0,8163	-0,8163	-0,6425
E3	-0,8163	-0,6425	-0,6425
E4	-0,2813	-0,1025	-0,4613
E5	-0,3201	0,3384	-0,0955
E6	0,3900	0,5800	0,1613
E7	-0,8088	0,3900	-0,8088
D1	-0,4925	-0,3625	-0,3625
D2	-0,4925	-0,6425	0,3900
D3	0,3325	0,3325	0,1088
Ç1	-0,1025	-0,4613	-0,3650
Ç2	0,4463	0,3500	0,3500
Ç3	0,7888	0,5913	0,7888
Ç4	0,2725	0,2725	-0,1663
Ç5	-0,2813	-0,3513	-0,8113
Ç6	0,7838	-0,4925	-0,3625
Ç7	-0,6425	-0,6425	0,3900
Ç8	0,3900	-0,3625	0,5800
Ç9	-0,8163	-0,8163	-0,3138
Ç10	-0,3625	-0,8088	0,7838
Ç11	-0,3138	-0,4925	-0,4925
Ç12	0,7838	0,7838	-0,3625
Ç13	0,5800	0,1613	0,3900
Y1	-1,2850	-0,7250	-1,2850
Y2	-0,4925	-0,6425	-0,8088
Y3	-0,6425	-0,6425	0,7838
Y4	-0,4475	0,4100	-0,2113

Tablo 5.3: Kriterlere ait yüzde değerleri ve önem ağırlıkları

Kriter Kodu	PV Değeri (PV_{ij})	Önem Ağırlığı (ω_{ij})	Sıralama
S1	54,01778	0,03874	8
S2	15,25550	0,01094	29
S3	55,84605	0,04005	7
S4	47,21592	0,03386	12
S5	29,82485	0,02139	23
S6	5,40413	0,00388	35
S7	36,68893	0,02631	20
S8	64,47872	0,04624	5
S9	54,01778	0,03874	9
E1	38,15440	0,02736	18
E2	38,15440	0,02736	19
E3	30,30883	0,02174	22
E4	14,23952	0,01021	30
E5	29,04337	0,02083	26
E6	29,38514	0,02107	25
E7	39,09802	0,02804	16
D1	58,61542	0,04204	6
D2	9,64117	0,00691	33
D3	31,73935	0,02276	21
Ç1	5,06510	0,00363	36
Ç2	89,33527	0,06407	2
Ç3	26,35161	0,01890	27
Ç4	92,80938	0,06656	1
Ç5	76,15197	0,05461	3
Ç6	44,98523	0,03226	13
Ç7	6,36042	0,00456	34
Ç8	12,37672	0,00888	31
Ç9	52,43696	0,03761	10
Ç10	41,60529	0,02984	14
Ç11	39,83303	0,02857	15
Ç12	38,77357	0,02781	17
Ç13	29,38514	0,02107	24
Y1	71,66221	0,05139	4
Y2	10,78891	0,00774	32
Y3	51,49670	0,03693	11
Y4	23,81348	0,01708	28

5.3 Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Denizli’de faaliyet gösteren ve yıllık ortalama 210 ton plastik atık çıkaran bir kablo firması için maksimum simbiyotik faydanın sağlanacağı bir iş ortağı seçimi problemi için BCOBRA, BMAIRCA, BWASPAS ve BTOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Boru ve profil imalatı (A1), ayakkabı tabanı imalatı (A2), valiz imalatı (A3) ve plastik pencere ve kapı imalatı (A4) olmak üzere dört farklı alanda üretim gerçekleştiren potansiyel iş ortakları için değerlendirme yapılmıştır. Dört iş ortağı alternatifinin değerlendirilmesi adına Tablo 3.1’de verilen 36 kriter ele alınmıştır. Değerlendirmeler, uzman karar verici grubu tarafından Tablo 5.4’te belirtilen dilsel ifadeler ile değerlendirilmiş aralık değerli bulanık sayı karşılıkları kullanılarak işlemlere devam edilmiştir.

5.3.1 BCOBRA Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Adım 1: Dilsel değerlendirme matrisinin oluşturulması

Karar vericilerin alternatiflere ait performans değerlerini Tablo 4.1’de yer verilen dilsel ifadeler ile değerlendirmeleri istenmiş ve veriler toplanmıştır. Dilsel ifadelerin yer aldığı karar matrisi Tablo 5.4’te verilmiştir.

Adım 2: Bulanık karar matrisinin oluşturulması

Tablo 4.1’de yer verilen dilsel ifadelerin aralık değerli küresel bulanık sayı karşılıkları ile bulanık karar matrisi elde edilmiştir.

Adım 3: Normalize karar matrisinin oluşturulması

Normalizasyon işlemi fayda yönlü kriterler için Denklem (4.14), maliyet yönlü kriterler için ise Denklem (4.15) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Fayda yönlü kriterler için karar matrisinde yer alan değerler normalize matriste de aynı kalırken, maliyet yönlü kriterler için bulanık sayıların üye olma ve olmama durumları için işlem yapılmaktadır. Ele alınan problemde E1, E2, E3, E4, Ç1, Ç5, Ç9, Ç11 ve Ç13 minimize edilmesi istenilen kriterler olarak tanımlanmaktadır.

Adım 4: Skor matrisinin oluşturulması

Skor matrisi değerleri hesaplanırken Denklem (4.12)'den faydalanılmaktadır. Bu adımda bulanık sayılar net sayılara dönüştürülmektedir. Bu aşamanın devamında işlemler klasik COBRA yönteminde olduğu gibi devam edecektir. Skor matrisi değerleri Tablo 5.5'te sunulmuştur.

Tablo 5.4: BCOBRA için dilsel değerlendirme matrisi

Kriter Kodu	A1	A2	A3	A4
S1	Ö	ÇDÖ	ÇYÖ	HÇÖ
S2	ÇYÖ	ÇYÖ	HDÖ	DÖ
S3	HÇÖ	KÇÖ	Ö	Ö
S4	DÖ	ÇDÖ	ÇDÖ	ÇDÖ
S5	HÇÖ	HDÖ	ÇDÖ	KÇÖ
S6	DÖ	KDÖ	YÖ	KDÖ
S7	YÖ	ÇDÖ	ÇYÖ	HÇÖ
S8	HDÖ	YÖ	ÇDÖ	KÇÖ
S9	ÇYÖ	HÇÖ	ÇYÖ	YÖ
Ç1	YÖ	ÇYÖ	YÖ	Ö
Ç2	ÇYÖ	HÇÖ	ÇYÖ	ÇDÖ
Ç3	Ö	YÖ	HDÖ	YÖ
Ç4	Ö	HÇÖ	Ö	ÇYÖ
Ç5	Ö	Ö	YÖ	HDÖ
Ç6	HDÖ	ÇDÖ	Ö	KDÖ
Ç7	HDÖ	ÇDÖ	ÇYÖ	Ö
Ç8	ÇYÖ	KDÖ	ÇYÖ	KDÖ
Ç9	ÇYÖ	Ö	KÇÖ	HDÖ
Ç10	HDÖ	ÇDÖ	ÇYÖ	ÇDÖ
Ç11	HDÖ	DÖ	KÇÖ	DÖ
Ç12	Ö	DÖ	Ö	ÇYÖ
Ç13	DÖ	HÇÖ	HDÖ	KDÖ
E1	KÇÖ	HDÖ	KÇÖ	DÖ
E2	YÖ	HDÖ	KÇÖ	DÖ
E3	KÇÖ	DÖ	ÇYÖ	ÇDÖ
E4	YÖ	HDÖ	KÇÖ	Ö
E5	YÖ	DÖ	ÇYÖ	DÖ
E6	HDÖ	KÇÖ	Ö	ÇYÖ
E7	KÇÖ	HÇÖ	ÇYÖ	Ö
Y1	KÇÖ	HDÖ	KÇÖ	HDÖ
Y2	HÇÖ	HDÖ	HÇÖ	ÇDÖ
Y3	KÇÖ	HÇÖ	ÇYÖ	KDÖ
Y4	HDÖ	ÇDÖ	HDÖ	KDÖ
D1	Ö	ÇYÖ	HDÖ	KÇÖ
D2	ÇYÖ	YÖ	ÇYÖ	KÇÖ
D3	ÇYÖ	ÇYÖ	YÖ	HDÖ

Tablo 5.5: BCOBRA için skor matrisi değerleri

Kriter Kodu	A1	A2	A3	A4
S1	0,9398	0,8482	0,9815	0,9579
S2	0,9947	0,9949	0,9671	0,9603
S3	0,9564	0,9910	0,9378	0,9379
S4	0,8803	0,8664	0,8526	0,8529
S5	0,9765	0,9402	0,9053	0,9951
S6	0,9858	0,9793	0,9970	0,9769
S7	0,9799	0,8950	0,9874	0,9712
S8	0,8661	0,9658	0,8020	0,9894
S9	0,9815	0,9591	0,9815	0,9705
Ç1	0,9194	0,9070	0,9194	0,9235
Ç2	0,9869	0,9709	0,9869	0,8800
Ç3	0,9659	0,9838	0,9354	0,9834
Ç4	0,9839	0,9891	0,9839	0,9951
Ç5	0,9412	0,9436	0,9382	0,9380
Ç6	0,9373	0,9153	0,9670	0,8780
Ç7	0,9172	0,8884	0,9866	0,9562
Ç8	0,9799	0,7898	0,9799	0,7651
Ç9	0,9758	0,9810	0,9665	0,9791
Ç10	0,9324	0,9087	0,9891	0,8995
Ç11	0,9890	0,9877	0,9823	0,9867
Ç12	0,9018	0,7988	0,9018	0,9696
Ç13	0,9320	0,9597	0,9436	0,8783
E1	0,7070	0,8232	0,7070	0,7744
E2	0,8445	0,8530	0,7550	0,8121
E3	0,8499	0,8945	0,8907	0,8595
E4	0,9862	0,9870	0,9778	0,9869
E5	0,9932	0,9701	0,9957	0,9677
E6	0,8901	0,9916	0,9416	0,9820
E7	0,9932	0,9683	0,9857	0,9535
Y1	0,9934	0,9208	0,9934	0,9158
Y2	0,9696	0,9228	0,9696	0,8782
Y3	0,9952	0,9776	0,9899	0,8780
Y4	0,8520	0,8023	0,8520	0,7173
D1	0,9878	0,9964	0,9766	0,9982
D2	0,9823	0,9726	0,9823	0,9915
D3	0,9918	0,9920	0,9869	0,9490

Adım 5: Ağırlıklı karar matrisinin oluşturulması

BLOPCOW yönteminde hesaplanan ve Tablo 5.3'te verilen her bir kriter için hesaplanmış önem ağırlıkları, skor matrisi değerleri ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi elde edilmektedir. Matris oluşturulurken Denklem (4.22)'den faydalanılmıştır.

Adım 6: PIS, NIS ve AS değerlerinin hesaplanması

PIS, NIS ve AS değerleri sırasıyla (4.23), (4.24) ve (4.25) eşitlikleri aracılığıyla hesaplanmaktadır.

Adım 7: PIS, NIS ve AS değerler için Öklid ve Taxicab uzaklıklarının hesaplanması

Hesaplanan her PIS, NIS ve AS değeri için Öklid ve Taxicab uzaklık hesaplama formülleri verilmiştir. (Bkz. Denklem (4.26) – Denklem (4.35)).

Adım 8: Alternatiflerin sıralanması

Adım 7'de hesaplanan değerler kullanılarak her alternatif için Denklem (4.36) ile dC_i değerleri hesaplanmakta ve büyükten küçüğe sıralanmaktadır. En büyük dC_i değerine sahip olan alternatif en iyi olarak tanımlanmaktadır. Probleme ait sıralama değerleri Tablo 5.6'de sunulmuştur. Elde edilen alternatif sıralaması $A2 > A1 > A4 > A3$ şeklindedir.

Tablo 5.6: BCOBRA sıralama değerleri

ALTERNATİFLER	A1	A2	A3	A4
$dE(PIS)$	0,755	0,790	0,828	0,752
$dE(NIS)$	1,221	0,538	1,427	1,256
$dE(AS +)$	0,016	0,382	0,191	0,153
$dE(AS -)$	0,014	0,323	0,144	0,153
$dT(PIS)$	3,590	4,526	2,890	3,255
$dT(NIS)$	6,785	2,911	7,552	6,859
$dT(AS +)$	0,073	1,750	0,918	0,718
$dT(AS -)$	0,052	1,250	0,519	0,457
$d(PIS)_i$	1,537	1,528	1,521	1,439
$d(NIS)_i$	3,610	0,862	4,554	3,677
$d(AS)_i^+$	0,016	0,387	0,192	0,153
$d(AS)_i^-$	0,014	0,326	0,144	0,153
dC_i	-0,5188	0,1512	-0,7700	-0,5594

5.3.2 BMAIRCA Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Adım 1: Bulanık karar matrisinin oluşturulması

Tüm ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi BMAIRCA yöntemi için de bir değerlendirme matrisi ile süreç başlamaktadır. Bu yöntem içinde Tablo 5.4'te tanımlanan, karar verici grubunun uzlaşması neticesinde oluşturulan değerlendirme matrisi kullanılmıştır.

Adım 2: Alternatif olasılıklarının belirlenmesi

BMAIRCA yönteminde tüm alternatiflerin seçilme olasılığı eşittir ve karar vericiler objektiftir. Denklem (4.37) kullanılarak tüm alternatifler için seçilme olasılığı bulunur. Bu problemde olasılık değeri tüm alternatifler için 0,25'dir. Tüm alternatifler için hesaplanan olasılık değerleri toplamı 1'e eşit olmalıdır.

Adım 3: Teorik karar matrisini hesaplanması

Denklem (4.38)'den faydalanılarak hesaplanan matris değerleri Tablo 5.7'de verilmiştir. BLOPCOW yöntemi ile hesaplanan ağırlıklar kullanılmıştır.

Tablo 5.7: Teorik değerlendirme matrisi

Kriter Kodu	A1	A2	A3	A4
S1	0,010	0,010	0,010	0,010
S2	0,003	0,003	0,003	0,003
S3	0,010	0,010	0,010	0,010
S4	0,009	0,009	0,009	0,009
S5	0,005	0,005	0,005	0,005
S6	0,001	0,001	0,001	0,001
S7	0,007	0,007	0,007	0,007
S8	0,012	0,012	0,012	0,012
S9	0,010	0,010	0,010	0,010
Ç1	0,007	0,007	0,007	0,007
Ç2	0,007	0,007	0,007	0,007
Ç3	0,005	0,005	0,005	0,005
Ç4	0,003	0,003	0,003	0,003
Ç5	0,005	0,005	0,005	0,005
Ç6	0,005	0,005	0,005	0,005
Ç7	0,007	0,007	0,007	0,007
Ç8	0,011	0,011	0,011	0,011
Ç9	0,002	0,002	0,002	0,002
Ç10	0,006	0,006	0,006	0,006

Tablo 5.7 (devam): Teorik değerlendirme matrisi

Ç11	0,001	0,001	0,001	0,001
Ç12	0,016	0,016	0,016	0,016
Ç13	0,005	0,005	0,005	0,005
E1	0,017	0,017	0,017	0,017
E2	0,014	0,014	0,014	0,014
E3	0,008	0,008	0,008	0,008
E4	0,001	0,001	0,001	0,001
E5	0,002	0,002	0,002	0,002
E6	0,009	0,009	0,009	0,009
E7	0,008	0,008	0,008	0,008
Y1	0,007	0,007	0,007	0,007
Y2	0,007	0,007	0,007	0,007
Y3	0,005	0,005	0,005	0,005
Y4	0,013	0,013	0,013	0,013
D1	0,002	0,002	0,002	0,002
D2	0,009	0,009	0,009	0,009
D3	0,004	0,004	0,004	0,004

Adım 4: Skor fonksiyonunun hesaplanması

Bulanık karar matrisi değerleri için skor fonksiyonu Denklem (4.39) kullanılarak skor fonksiyonu hesaplanmaktadır. Skor fonksiyonu değerleri ile elde edilen matris Tablo 5.8’de sunulmaktadır

Tablo 5.8: Skor fonksiyon değerleri

Kriter Kodu	A1	A2	A3	A4
S1	1,005	0,381	1,603	1,255
S2	1,603	1,603	0,695	0,546
S3	1,255	1,793	1,005	1,005
S4	0,546	0,381	0,381	0,381
S5	1,255	0,695	0,381	1,793
S6	0,546	0,201	1,428	0,201
S7	1,428	0,381	1,603	1,255
S8	0,695	1,428	0,381	1,793
S9	1,603	1,255	1,603	1,428
Ç1	1,428	1,603	1,428	1,005
Ç2	1,603	1,255	1,603	0,381
Ç3	1,005	1,428	0,695	1,428
Ç4	1,005	1,255	1,005	1,603
Ç5	1,005	1,005	1,428	0,695

Tablo 5.8 (devam): Skor fonksiyon değerleri

Ç5	1,005	1,005	1,428	0,695
Ç6	0,695	0,381	1,005	0,201
Ç7	0,695	0,381	1,603	1,005
Ç8	1,603	0,201	1,603	0,201
Ç9	1,603	1,005	1,793	0,695
Ç10	0,695	0,381	1,603	0,381
Ç11	0,695	0,546	1,793	0,546
Ç12	1,005	0,546	1,005	1,603
Ç13	0,546	1,255	0,695	0,201
E1	1,793	0,695	1,793	0,546
E2	1,428	0,695	1,793	0,546
E3	1,793	0,546	1,603	0,381
E4	1,428	0,695	1,793	1,005
E5	1,428	0,546	1,603	0,546
E6	0,695	1,793	1,005	1,603
E7	1,793	1,255	1,603	1,005
Y1	1,793	0,695	1,793	0,695
Y2	1,255	0,695	1,255	0,381
Y3	1,793	1,255	1,603	0,201
Y4	0,695	0,381	0,695	0,201
D1	1,005	1,603	0,695	1,793
D2	1,603	1,428	1,603	1,793
D3	1,603	1,603	1,428	0,695

Adım 5: Normalizasyon

Normalizasyon işlemleri klasik MAIRCA yöntemindeki gibi hesaplanmakta ve sonraki adımlar klasik yöntem adımları ile devam etmektedir.

Adım 6: Gerçek değerlendirme matrisinin hesaplanması

Normalize matris ve skor fonksiyonu değerinin kullanıldığı Denklem (4.42) ve Denklem (4.43) kullanılarak elde edilmektedir. Hesaplanan gerçek değerlendirme matrisi Tablo 5.9 ile sunulmaktadır.

Tablo 5.9: Gerçek değerlendirme matrisi

Kriter Kodu	A1	A2	A3	A4	Kriter Kodu	A1	A2	A3	A4
S1	0,5126	0,0000	1,6034	0,8973	Ç10	0,1783	0,0000	1,6034	0,0000
S2	1,6034	1,6034	0,0977	0,0000	Ç11	0,6118	0,5459	0,0000	0,5459
S3	0,3984	1,7931	0,0000	0,0000	Ç12	0,4358	0,0000	0,4358	1,6034
S4	0,5459	0,0000	0,0000	0,0000	Ç13	0,3671	0,0000	0,3692	0,2006
S5	0,7768	0,1543	0,0000	1,7931	E1	0,0000	0,6118	0,0000	0,5459
S6	0,1535	0,0000	1,4284	0,0000	E2	0,4177	0,6118	0,0000	0,5459
S7	1,2240	0,0000	1,6034	0,8973	E3	0,0000	0,4822	0,2154	0,3809
S8	0,1543	1,0596	0,0000	1,7931	E4	0,4742	0,6947	0,0000	0,7211
S9	1,6034	0,0000	1,6034	0,7110	E5	1,1921	0,0000	1,6034	0,0000
Ç1	0,4175	0,0000	0,4175	1,0047	E6	0,0000	1,7931	0,2835	1,3265
Ç2	1,6034	0,8973	1,6034	0,0000	E7	1,7931	0,3984	1,2177	0,0000
Ç3	0,4245	1,4284	0,0000	1,4284	Y1	1,7931	0,0000	1,7931	0,0000
Ç4	0,0000	0,5247	0,0000	1,6034	Y2	1,2550	0,2494	1,2550	0,0000
Ç5	0,5802	0,5802	0,0000	0,6947	Y3	1,7931	0,8309	1,4124	0,0000
Ç6	0,4269	0,0854	1,0047	0,0000	Y4	0,6947	0,1390	0,6947	0,0000
Ç7	0,1783	0,0000	1,6034	0,5126	D1	0,2835	1,3265	0,0000	1,7931
Ç8	1,6034	0,0000	1,6034	0,0000	D2	0,7694	0,0000	0,7694	1,7931
Ç9	0,2769	0,7211	0,0000	0,6947	D3	1,6034	1,6034	1,1534	0,0000

Adım 7: Toplam boşluk matrisinin hesaplanması

Teorik hesaplama matrisi ve gerçek değerlendirme matrisi değerleri arasındaki fark değerlerinin Denklem (4.44) ile hesaplandığı matristir.

Adım 8: Toplam Boşluk Değerlerinin Hesaplanması

Adım 7’de elde edilen toplam boşluk matrisi değerlerinin her bir alternatif için toplamı alınarak elde edilen değerdir. Elde edilen toplam boşluk değerleri küçükten büyüğe sıralanmakta ve en düşük boşluk değerine sahip olan alternatif en iyi olarak kabul görmektedir. Elde edilen toplam boşluk değerleri Tablo 5.10’de sunulmaktadır.

Tablo 5.10: Toplam boşluk matrisi ve toplam boşluk değerleri

Kriter Kodu	A1	A2	A3	A4
S1	0,4921	0,3809	0,0000	0,3577
S2	0,0000	0,0000	0,5970	0,5459
S3	0,8566	0,0000	1,0047	1,0047
S4	0,0000	0,3809	0,3809	0,3809
S5	0,4782	0,5403	0,3809	0,0000
S6	0,3924	0,2006	0,0000	0,2006
S7	0,2045	0,3809	0,0000	0,3577
S8	0,5403	0,3689	0,3809	0,0000
S9	0,0000	1,2550	0,0000	0,7174
Ç1	1,0109	1,6034	1,0109	0,0000
Ç2	0,0000	0,3577	0,0000	0,3809
Ç3	0,5802	0,0000	0,6947	0,0000
Ç4	1,0047	0,7303	1,0047	0,0000
Ç5	0,4245	0,4245	1,4284	0,0000
Ç6	0,2678	0,2955	0,0000	0,2006
Ç7	0,5164	0,3809	0,0000	0,4921
Ç8	0,0000	0,2006	0,0000	0,2006
Ç9	1,3265	0,2835	1,7931	0,0000
Ç10	0,5164	0,3809	0,0000	0,3809
Ç11	0,0829	0,0000	1,7931	0,0000
Ç12	0,5688	0,5459	0,5688	0,0000
Ç13	0,1788	1,2550	0,3255	0,0000
E1	1,7931	0,0829	1,7931	0,0000
E2	1,0108	0,0829	1,7931	0,0000
E3	1,7931	0,0638	1,3881	0,0000
E4	0,9542	0,0000	1,7931	0,2835
E5	0,2364	0,5459	0,0000	0,5459
E6	0,6947	0,0000	0,7211	0,2769
E7	0,0000	0,8566	0,3858	1,0047
Y1	0,0000	0,6947	0,0000	0,6947
Y2	0,0000	0,4453	0,0000	0,3809
Y3	0,0000	0,4241	0,1910	0,2006
Y4	0,0000	0,2419	0,0000	0,2006
D1	0,7211	0,2769	0,6947	0,0000
D2	0,8340	1,4284	0,8340	0,0000
D3	0,0000	0,0000	0,2751	0,6947
Q_i	17,4795	15,1094	21,2330	9,5028

Toplam boşluk değerleri sonucunda en iyi alternatifin A4, en kötü alternatifin ise A3 olduğu görülmektedir. Elde edilen sıralama $A4 > A2 > A1 > A3$ şeklindedir.

5.3.3 BWASPAS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Adım 1: Kriterlerin değerlendirilmesi ve bulanık karar matrisinin oluşturulması

Uzman karar verici grubunun dilsel değerlendirme matrisi Tablo 5.4'de sunulmuştur. Tabloda yer alan dilsel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları için Tablo 4.1 kullanılmıştır.

Adım 2: Normalize ağırlıklı toplam matrisinin(S_i) oluşturulması

Denklem (4.8) ve Denklem (4.4) kullanılarak ağırlıklı toplam matrisi elde edilmiştir.

Adım 3: Normalize ağırlıklı çarpım matrisinin(P_i) oluşturulması

Denklem (4.9) ve Denklem (4.4) kullanılarak ağırlıklı çarpım matrisi elde edilmiştir.

Adım 4: Toplam matrisin oluşturulması

Denklem (4.46) kullanılarak ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım matrisleri birleştirilmiştir. ' λ ' değeri 0,5 olarak kabul edilmiştir. Kabulün nedeni, her iki metodunda eşit etki göstermesidir.

Adım 5: Skor fonksiyonlarının hesaplanması

Bu adımda toplam matris elemanlarının skor fonksiyon değerleri hesaplanarak, kesin sayılara dönüştürülmüştür. Her alternatif ve kriter için hesaplanan skor fonksiyon değeri Tablo 5.11'de verilmiştir.

Adım 6: Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler için sıralama değerleri Tablo 5.11'de yer almaktadır. En büyük sıralama değerine sahip olan A1 alternatifi en iyi olarak tanımlanırken, en düşük değere sahip olan A2 alternatifinin en kötü kriter olduğu görülmüştür. Yöntem sonucunda nihai sıralama $A1 > A4 > A3 > A2$ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.11: BWASPAS yönteminde skor fonksiyonu ve sıralama değerleri

Kriter Kodu	A1	A2	A3	A4
S1	0,770	0,605	0,803	0,7696
S2	0,931	0,931	0,816	0,9137
S3	0,799	0,913	0,766	0,7742
S4	0,667	0,631	0,631	0,6442
S5	0,852	0,759	0,913	0,8413
S6	0,890	0,866	0,873	0,8817
S7	0,864	0,676	0,838	0,8493
S8	0,645	0,821	0,858	0,6528
S9	0,871	0,802	0,837	0,8520
Ç1	-0,214	-0,221	-0,215	-0,2097
Ç2	0,891	0,833	0,700	0,8482
Ç3	0,828	0,876	0,867	0,8271
Ç4	0,883	0,898	0,930	0,8813
Ç5	-0,214	-0,214	-0,220	-0,2007
Ç6	0,760	0,712	0,703	0,7246
Ç7	0,723	0,666	0,811	0,7188
Ç8	0,866	0,526	0,604	0,7752
Ç9	-0,236	-0,228	-0,240	-0,2195
Ç10	0,751	0,700	0,723	0,7293
Ç11	-0,227	-0,226	-0,243	-0,2263
Ç12	0,704	0,542	0,818	0,7093
Ç13	-0,203	-0,214	-0,203	-0,2140
E1	-0,216	-0,175	-0,219	-0,1819
E2	-0,199	-0,179	-0,223	-0,1849
E3	-0,227	-0,194	-0,220	-0,1996
E4	-0,236	-0,225	-0,242	-0,2320
E5	0,920	0,832	0,838	0,9069
E6	0,680	0,916	0,861	0,6845
E7	0,925	0,826	0,809	0,8952
Y1	0,926	0,721	0,737	0,8930
Y2	0,832	0,725	0,695	0,7914
Y3	0,936	0,853	0,713	0,8811
Y4	0,626	0,543	0,539	0,5480
D1	0,898	0,942	0,957	0,8967
D2	0,874	0,839	0,915	0,8566
D3	0,914	0,914	0,793	0,8942
R_i	20,253	18,987	19,321	19,772

5.3.4 BTOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Adım 1: Bulanık karar matrisinin oluşturulması

Tüm ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi BTOPSIS yöntemi için de bir değerlendirme matrisi ile süreç başlamaktadır. Bu yöntem içinde Tablo 5.4'te tanımlanan, karar verici grubunun uzlaşması neticesinde oluşturulan değerlendirme matrisi kullanılmıştır.

Adım 2: Ağırlıklı matrisin oluşturulması

BLOPCOW yöntemi ile elde edilen ağırlıklar ve bulanık karar matrisi elemanlarını kullanarak, Denklem (4.8)'de tanımlanan eşitlik ile hesaplanmaktadır.

Adım 3: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler için Benzerlik değerlerinin hesaplanması

Denklem (4.50) ve Denklem (4.51) kullanılarak hesaplanan değerler Tablo 5.13'te verilmiştir. Hesaplamalarda A_j^+ ve A_j^- değerleri şu şekilde kabul edilmiştir:

$$A_j^+ = [(0,85 ; 0,95), (0,10 ; 0,15), (0,05 ; 0,15)]$$

$$A_j^- = [(0,10 ; 0,15), (0,85 ; 0,95), (0,05 ; 0,15)]$$

Adım 4: Yakınlık değerlerinin hesaplanması (CR_i)

Yakınlık değeri en düşük olan alternatif en iyi olarak kabul edilmektedir. Hesaplanan değerler Tablo 5.12'de sunulmuş ve alternatiflerin sıralaması $A4 > A2 > A3 > A1$ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.12: BTOPSIS yöntemi sonuçları

	$C(A_{ij}, A_j^+)$	$C(A_{ij}, A_j^-)$	CR_i
A1	8,9978	0,2456	0,9734
A2	8,9980	0,2728	0,9706
A3	8,9977	0,2547	0,9725
A4	8,9978	0,2865	0,9691

5.4 Uzlaşık Sıralamanın Elde Edilmesi

Çalışmada kullanılan bulanık ÇKKV Yöntemleri sonucunda alternatifler için farklı sıralamalar elde edilmiştir. Tüm yöntemler için hesaplanan sıralama sonuçları Tablo 5.13'te sunulmaktadır.

Tablo 5.13: BÇKKV yöntemleri ile elde edilen alternatif sıralamaları

	BCOBRA	BMAIRCA	BWASPAS	BTOPSIS
A1	2	3	1	4
A2	1	2	4	2
A3	4	4	3	3
A4	3	1	2	1

Sonuçların tek bir sıralamaya indirgenmesi, verilerin birleştirilmesi için uzlaşma yöntemlerinden olan “Borda Sayım Yöntemi” ne başvurulmuştur. BCOBRA, BMAIRCA, BWASPAS ve BTOPSIS yöntemleri ile elde edilmiş sıralamalar için Denklem (4.53) kullanılarak hesaplanan borda skorları ve borda sayım sırası Tablo 5.14 ile sunulmuştur. Tüm yöntemlerin borda skorları toplamı ile elde edilen nihai toplamlar ile borda sayım sırası $A4 > A2 > A1 > A3$ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.14: Borda skor sonucuna göre alternatif sıralamaları

	BCOBRA SKOR	BMAIRCA SKOR	BWASPAS SKOR	BTOPSIS SKOR	BORDA SKOR	BORDA SAYIM SIRASI
A1	2	1	3	0	6	3
A2	3	2	0	2	7	2
A3	0	0	1	1	2	4
A4	1	3	2	3	9	1

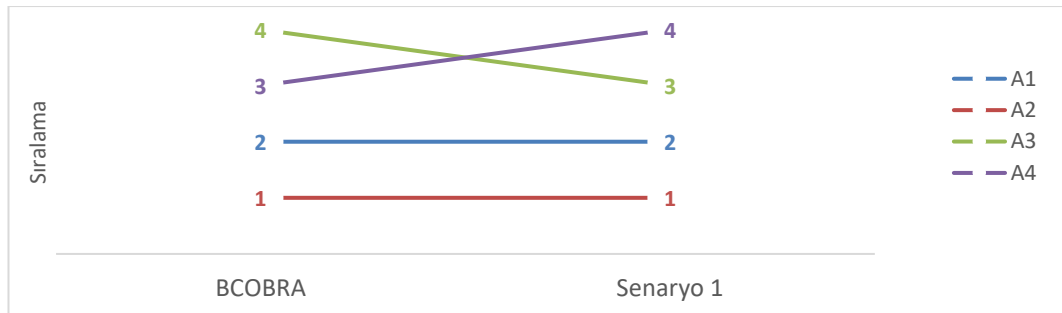
6. DUYARLILIK ANALİZİ

Alternatifler için nihai öncelikler büyük ölçüde değerlendirme kriterlerine ait ağırlıklara bağlı olmaktadır. Bu nedenle kriter ağırlıklarındaki küçük değişimler nihai sıralamada büyük değişikliklere neden olabilmektedir. Ağırlıklar genellikle öznel yargılara dayanır, bu nedenle değişen kriter ağırlıkları altında nihai sıralamanın istikrarının test edilmesi faydalı olmaktadır (Chang ve diğ. 2007). Bu amaçla aşağıda belirtilen senaryolar ışığında duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. BLOPCOW yöntemi ile elde edilen ağırlıklar değiştirilerek, BCOBRA, BMAIRCA, BWASPAS ve BTOPSIS yöntemi ile elde edilen nihai sıralamaların değişimleri dört farklı senaryo için gözlemlenmiştir.

6.1 Senaryo 1

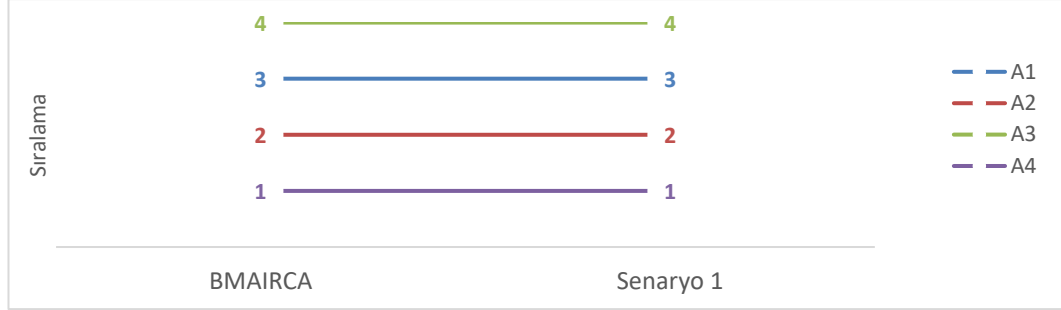
Senaryo 1: Tüm değerlendirme kriterleri için eşit ağırlıklar (Kahraman ve diğ. 2014)

Bu senaryoda, tüm kriterlerin toplamının 1 olması şartı sağlanması gerektiğinden, 36 alt kriter için “0,02778” kriter ağırlığı olarak belirlenmiştir. Nihai sıralamalarda oluşan değişim BCOBRA için Şekil 6.1’de, gösterilmiştir. Kriter ağırlıklarında gerçekleştirilen değişim BCOBRA yönteminde en iyi alternatifte değişiklik oluşturmamış, ancak en kötü alternatifin A4 olabileceği gözlemlenmiştir.



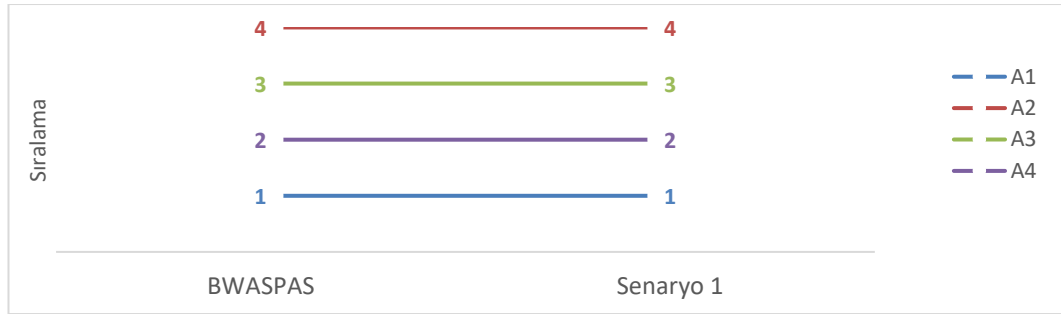
Şekil 6.1: BCOBRA ve senaryo 1 için duyarlılık analizi sonucu

BMAIRCA yöntemi için gözlemlenen sıralama değişimi Şekil 6.2’de sunulmaktadır. Eşit alınan kriter ağırlıklar yöntem için nihai sıralamaya etki etmemiştir.



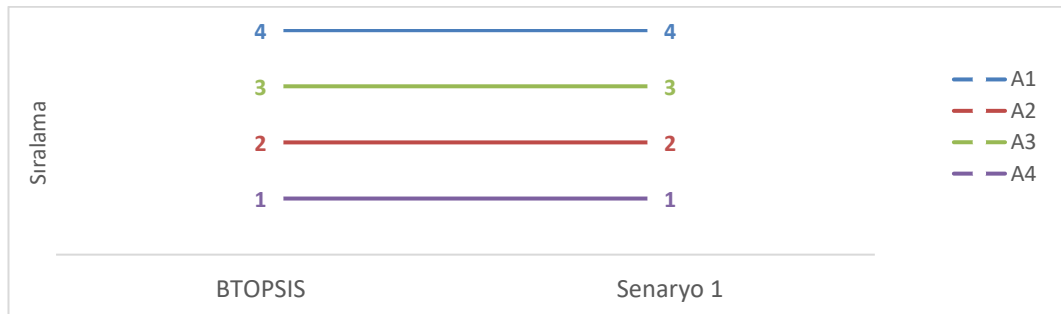
Şekil 6.2: BMAIRCA ve senaryo 1 için duyarlılık analizi sonucu

BWASPAS yöntemi için gözlemlenen sıralama değişimi Şekil 6.3’te sunulmaktadır. Eşit alınan kriter ağırlıklar yöntem için nihai sıralamaya etki etmemiştir.



Şekil 6.3: BWASPAS ve senaryo 1 için duyarlılık analizi sonucu

BTOPSIS yöntemi için gözlemlenen sıralama değişimi Şekil 6.4’te sunulmaktadır. Eşit alınan kriter ağırlıklar yöntem için nihai sıralamaya etki etmemiştir.



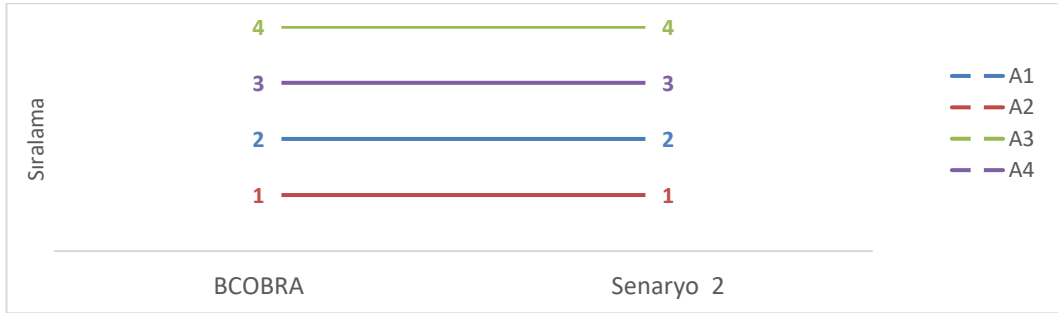
Şekil 6.4: BTOPSIS ve senaryo 1 için duyarlılık analizi sonucu

Kriterlerin eşit olarak ağırlıklandırılması yalnızca BCOBRA yönteminde elde edilen nihai sıralama için farklılık göstermektedir.

6.2 Senaryo 2

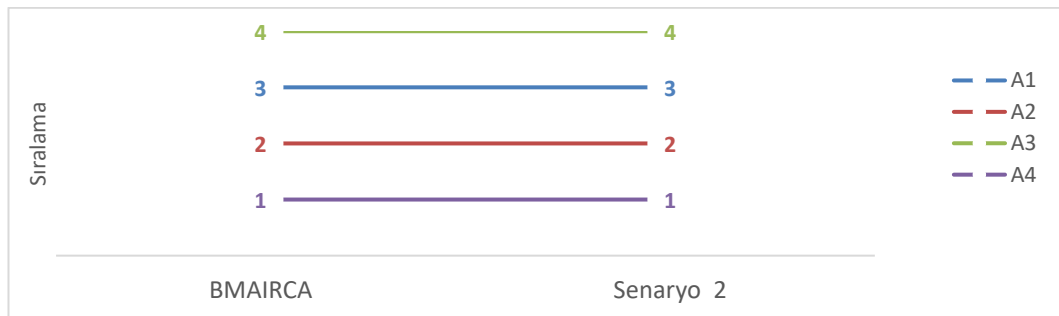
Senaryo 2: En önemli kriter en yüksek diğer kriterler için eşit ağırlık (Kahraman ve diğ. 2014)

BLOPCOW yönteminde hesaplanan ağırlıklarda en yüksek önem düzeyine sahip kriterin Ç4 (*Hammadde Tasarrufu*) olduğu görülmüştür. Bu senaryoda Ç4 kriteri için “0,1” diğer tüm kriter için “0,0257” ağırlık değerleri kullanılacaktır. BCOBRA yöntemi için senaryoya ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.5’te sunulmuş ve ağırlıkların yöntem sonucuna etki etmediği görüldüğünden yöntem için kararlıdır yorumu yapılabilmektedir.



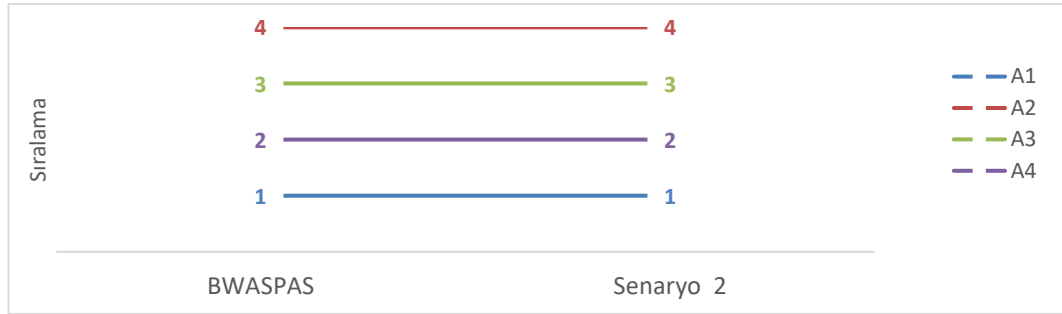
Şekil 6.5: BCOBRA ve senaryo 2 için duyarlılık analizi sonucu

BMAIRCA yöntemi için senaryoya ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.6’da sunulmuştur.



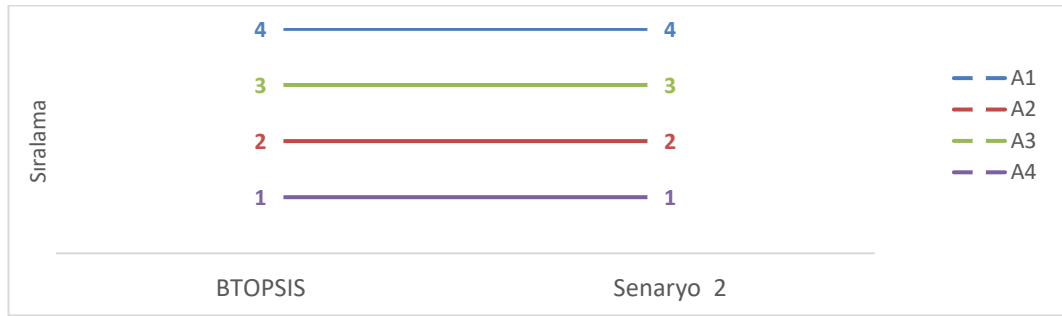
Şekil 6.6: BMAIRCA ve senaryo 2 için duyarlılık analizi sonucu

BWASPAS yöntemi için senaryoya ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.7'de sunulmuştur.



Şekil 6.7: BWASPAS ve senaryo 2 için duyarlılık analizi sonucu

BTOPSIS yöntemi için senaryoya ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.8'de sunulmuştur.



Şekil 6.8: BTOPSIS ve senaryo 2 için duyarlılık analizi sonucu

Senaryo 2 ile yapılan değişikliklerde tüm sıralama yöntemleri için elde edilen nihai sıralama sonuçları aynı kalmış, farklılık oluşmamıştır.

6.3 Senaryo 3

Kriter ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak tahmin edilen ağırlıklar temelinde "en önemli kriterler" belirlendikten sonra, önerilen modelin sıralama performansı üzerindeki etkisini gözlemlemek için "en önemli kriter" ağırlığı değiştirilerek duyarlılık analizi gerçekleştirilir. Ağırlık değişimine dayalı duyarlılık analizi işlem adımları verilmiştir (Yazdani ve diğ. 2019):

Adım 1: Ağırlık esneklik katsayısının belirlenmesi

Duyarlılık analizinde en önemli kriterin ağırlığındaki değişikliklerle ilgili olarak diğer ağırlıkların göreceli dengesini ifade eden sayıya ağırlık esneklik katsayısı (a_c) denir. Bu değer en önemli kriterler için her zaman "1" olarak tanımlanmaktadır. Diğer kriterler için Denklem (6.1) kullanılır. w_c^0 , kriter için BLOPCOW ile hesaplanan orijinal ağırlık değerini ifade etmektedir. w_s , en önemli kriter için BLOPCOW ile hesaplanan ağırlık değerini ifade etmektedir.

$$a_c = \frac{w_c^0}{1 - w_s} \quad (6.1)$$

Adım 2: Δx parametresinin hesaplanması

Δx Parametresi ağırlık setine uygulanan değişimin miktarıdır. En önemli kriter için ağırlık değişimi sınırlı olmalıdır. Aksi takdirde ağırlıklarda negatif değerlerle karşılaşılması olasıdır. En yüksek ağırlık değişiminin miktarı olarak tanımlanmaktadır. Denklem (6.2) ile hesaplanmaktadır.

$$-w_s \leq \Delta x \leq \min \{w_c^0/a_c\} \quad (6.2)$$

Adım 3: Yeni kriter ağırlıklarının hesaplanması

Denklem (6.3) kullanılarak yeni kriter ağırlıkları belirlenmektedir. Yeni kriter ağırlığı kümesi $\sum w_s + \sum w_c = 1$ şartını sağlamalıdır.

$$w_c = w_c^0 + \Delta x a_c \quad (6.3)$$

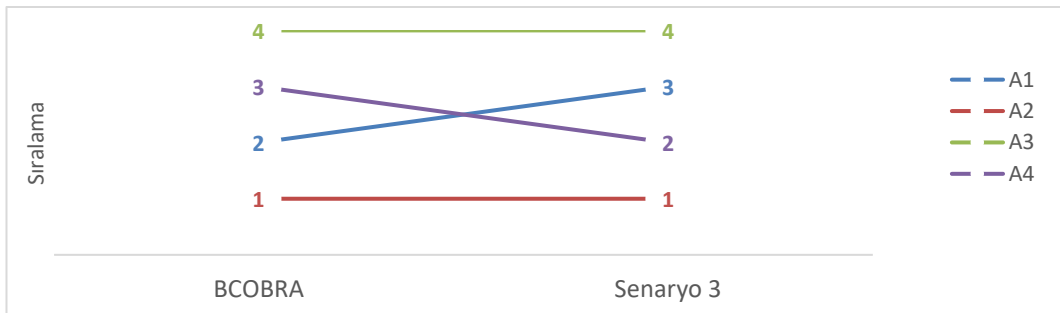
$$w_s = w_s^0 + \Delta x a_s \quad (6.4)$$

İlgili işlem adımları uygulandığında ve Δx parametre değeri "0,06656" olarak ele alındığında elde edilen yeni ağırlıklar Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1: Senaryo 3 için hesaplanan kriter ağırlıkları

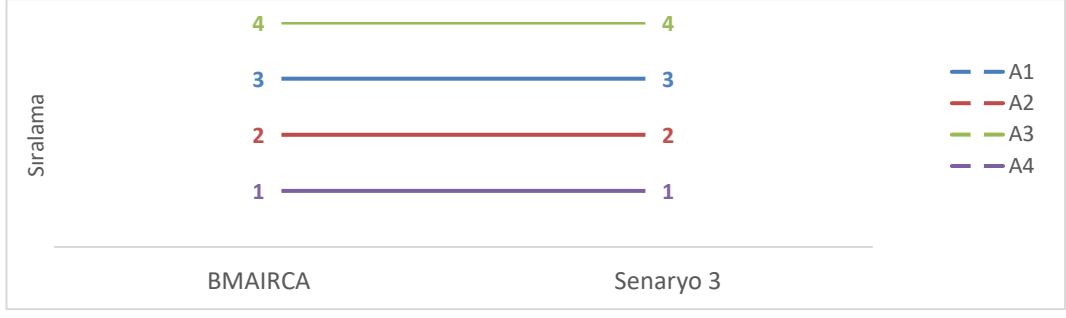
Kriter Kodu	Kriter Ağırlığı	Kriter Kodu	Kriter Ağırlığı
S1	0,04150	D3	0,02984
S2	0,01172	Ç1	0,02857
S3	0,04291	Ç2	0,02781
S4	0,03628	Ç3	0,02107
S5	0,02291	Ç4	0,02931
S6	0,00415	Ç5	0,02931
S7	0,02819	Ç6	0,02329
S8	0,04954	Ç7	0,01094
S9	0,04150	Ç8	0,02231
E1	0,00363	Ç9	0,02258
E2	0,06407	Ç10	0,03004
E3	0,01890	Ç11	0,05139
E4	0,03684	Ç12	0,00774
E5	0,05461	Ç13	0,03693
E6	0,03226	Y1	0,01708
E7	0,00456	Y2	0,04204
D1	0,00888	Y3	0,00691
D2	0,03761	Y4	0,02276

Tablo 6.1’de verilen ağırlıklar ile gerçekleştirilen BCOBRA yöntemine ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.9’da verilmiştir. En iyi ve en kötü alternatifler aynı kalırken arada kalan alternatifler için sıralamada farklılık oluşmuştur.



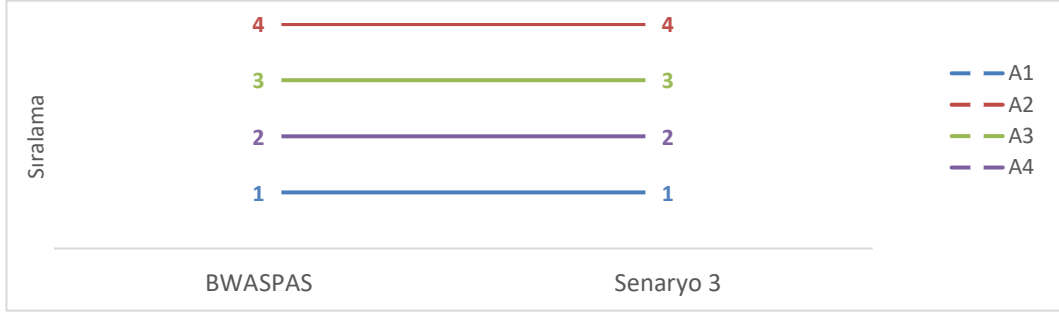
Şekil 6.9: BCOBRA ve senaryo 3 için duyarlılık analizi sonucu

BMAIRCA yöntemi için sonuçlar Şekil 6.10’daki gibidir. Sıralamada değişim oluşmamıştır.



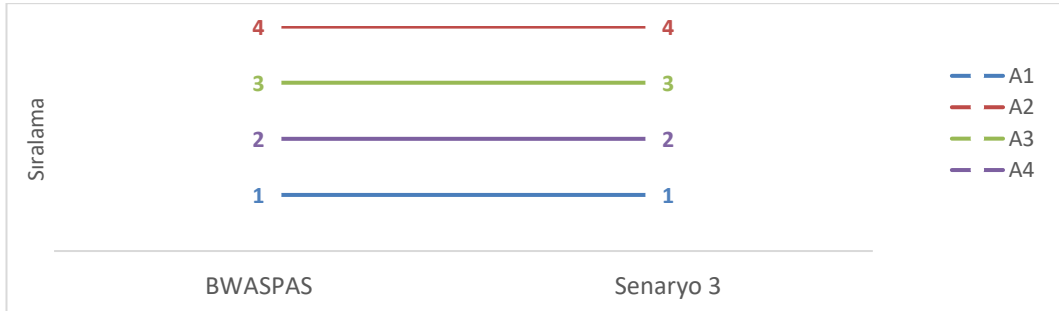
Şekil 6.10: BMAIRCA ve senaryo 3 için duyarlılık analizi sonucu

BWASPAS yöntemi için sonuçlar Şekil 6.11'deki gibidir. Sıralamada değişim oluşmamıştır.



Şekil 6.11: BWASPAS ve senaryo 3 için duyarlılık analizi sonucu

BTOPSIS yöntemi için sonuçlar Şekil 6.12'deki gibidir. Sıralamada değişim oluşmamıştır.



Şekil 6.12: BTOPSIS ve senaryo 3 için duyarlılık analizi sonucu

6.4 Senaryo 4

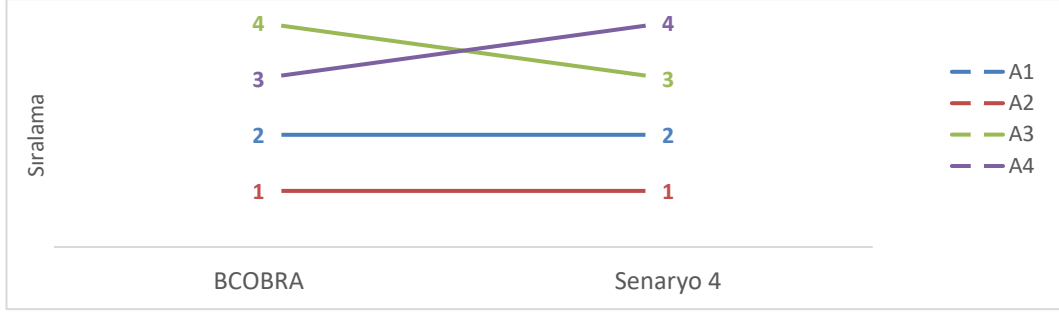
Senaryo 4: Her ana kriter ağırlığının alt kriter sayısına bölünmesi (Leea ve Changb 2018).

Çalışmada ele alınan beş ana kriter bulunmaktadır. Her ana kriterin altında yer alan kriterlerin ağırlıkları birbirinden farklı olarak BLOPCOW yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu aşamada ana kriterlerin altındaki tüm kriterlerin toplam ağırlığı, ana kritere bağlı alt kriter sayısına bölünerek eşit olarak dağıtılacaktır. Senaryo 4 için kullanılan ağırlıklar Tablo 6.2’de verilmiştir.

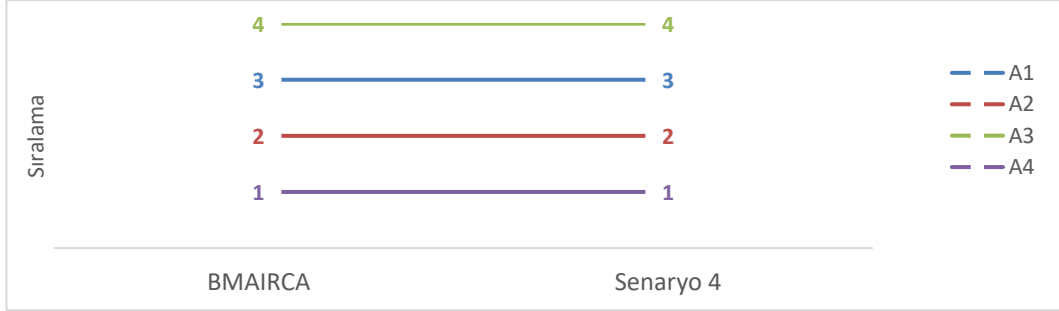
Tablo 6.2: Senaryo 4 için hesaplanan kriter ağırlıkları

Kriter Kodu	Kriter Ağırlığı	Kriter Kodu	Kriter Ağırlığı
S1	0,028906	Ç10	0,030644
S2	0,028906	Ç11	0,030644
S3	0,028906	Ç12	0,030644
S4	0,028906	Ç13	0,030644
S5	0,028906	E1	0,021661
S6	0,028906	E2	0,021661
S7	0,028906	E3	0,021661
S8	0,028906	E4	0,021661
S9	0,028906	E5	0,021661
Ç1	0,030644	E6	0,021661
Ç2	0,030644	E7	0,021661
Ç3	0,030644	Y1	0,028286
Ç4	0,030644	Y2	0,028286
Ç5	0,030644	Y3	0,028286
Ç6	0,030644	Y4	0,028286
Ç7	0,030644	D1	0,021509
Ç8	0,030644	D2	0,021509
Ç9	0,030644	D3	0,021509

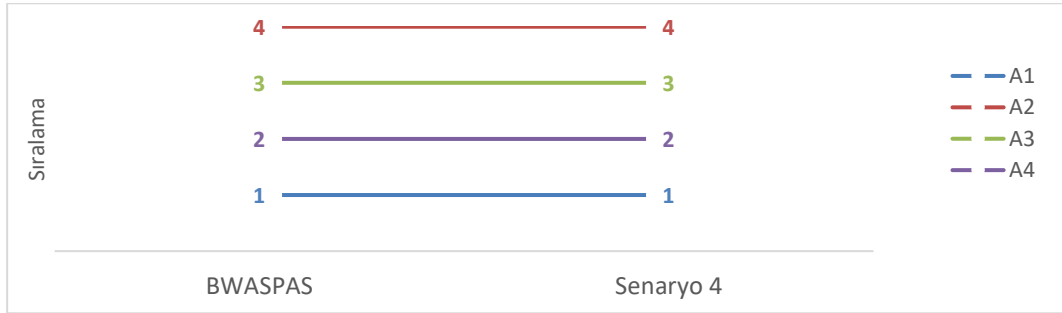
Hesaplanan ağırlıklar ile gerçekleştirilen BCOBRA yöntemine ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.13’de verilmiştir. En iyi alternatif aynı kalırken en kötü alternatifin değişimi gözlemlenmiştir. BMAIRCA yöntemi için sonuçlar Şekil 6.14’deki gibidir. Sıralamada değişim oluşmamıştır. BWASPAS yöntemi için sonuçlar Şekil 6.15’deki gibidir. Sıralamada değişim oluşmamıştır. BTOPSIS yöntemi için sonuçlar Şekil 6.16’daki gibidir. Sıralamada değişim oluşmamıştır.



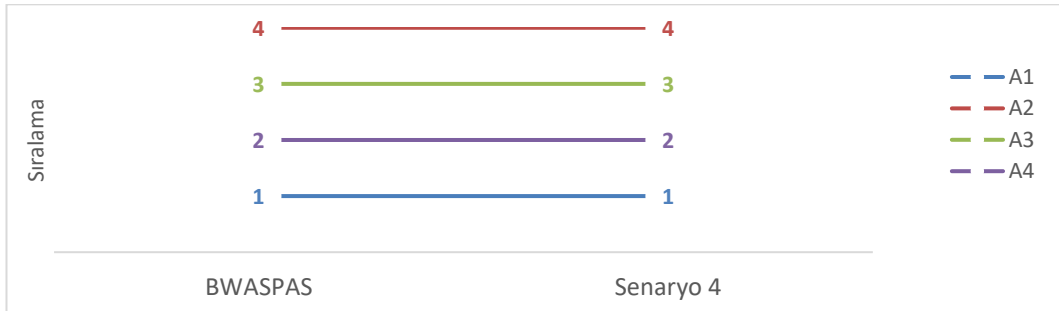
Şekil 6.13: BCOBRA ve senaryo 4 için duyarlılık analizi sonucu



Şekil 6.14: BMAIRCA ve senaryo 4 için duyarlılık analizi sonucu



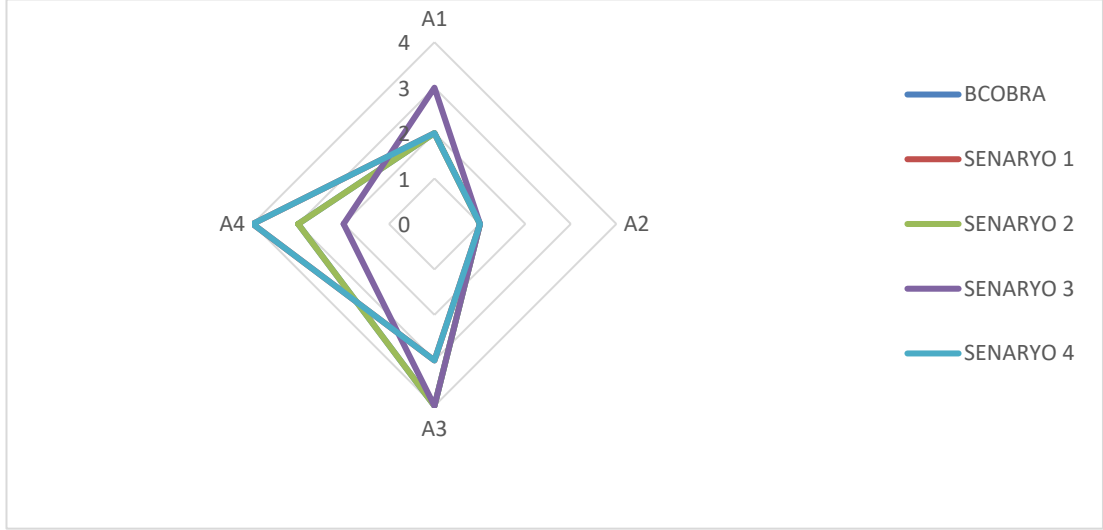
Şekil 6.15: BWASPAS ve senaryo 4 için duyarlılık analizi sonucu



Şekil 6.16: BTOPSIS ve senaryo 4 için duyarlılık analizi sonucu

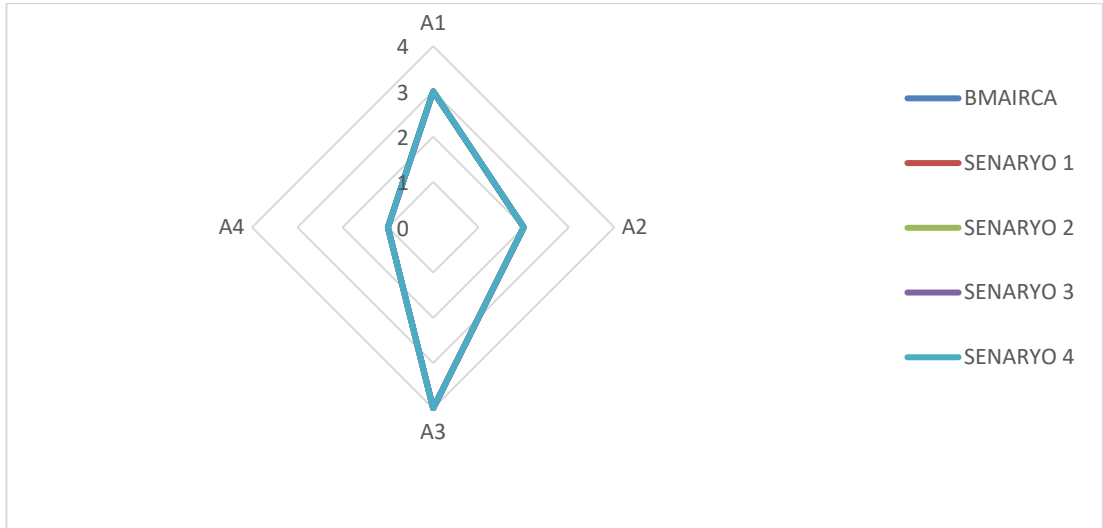
6.5 Tüm Senaryolar için Sıralama Değişimlerinin Değerlendirilmesi

BCOBRA yöntemine ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.17’de verilmiştir. Tüm senaryolar için en iyi alternatif A2 olarak hesaplanmıştır. A1, A2 ve A4 alternatifleri için üç senaryoda sıralama değişimi görülmektedir.



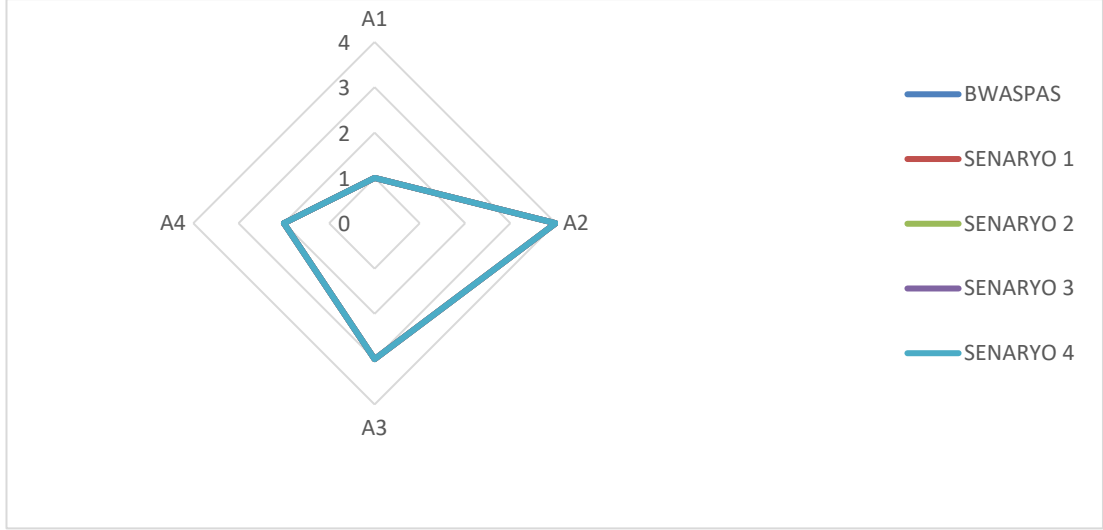
Şekil 6.17: BCOBRA yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları

BMAIRCA yöntemine ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.18’de verilmiştir. Tüm senaryolar için sıralama farklılığı ortaya çıkmaması nedeniyle yöntem için kararlılık seviyesi yüksek yorumu yapılabilmektedir.



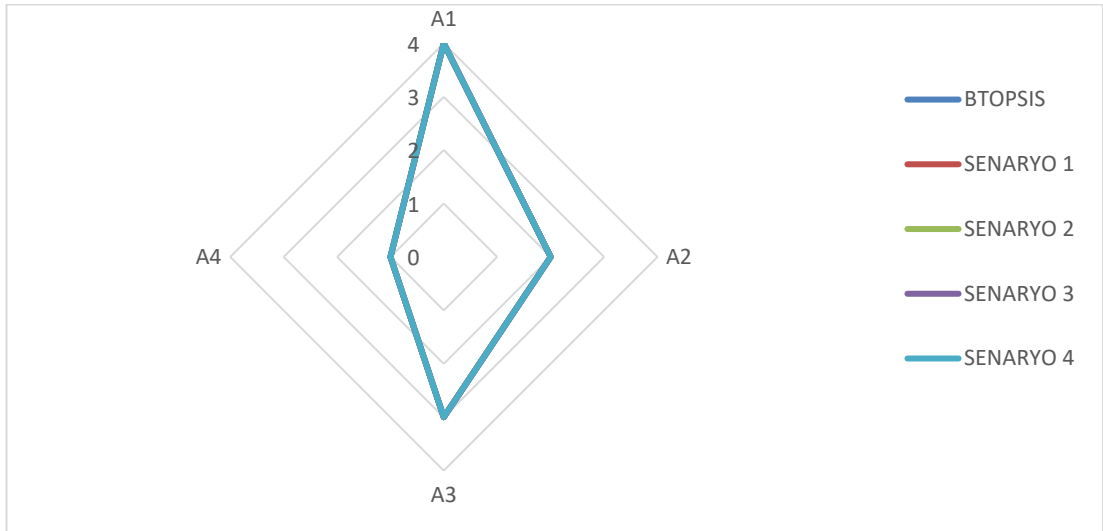
Şekil 6.18: BMAIRCA yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları

BWASPAS yöntemine ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.19’da verilmiştir. Tüm senaryolar için sıralama farklılığı ortaya çıkmaması nedeniyle yöntem için kararlılık seviyesi yüksek yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 6.19: BWASPAS yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları

BTOPSIS yöntemine ait duyarlılık analizi sonuçları Şekil 6.20’de verilmiştir. Tüm senaryolar için sıralama farklılığı ortaya çıkmaması nedeniyle yöntem için kararlılık seviyesi yüksek yorumu yapılabilmektedir.

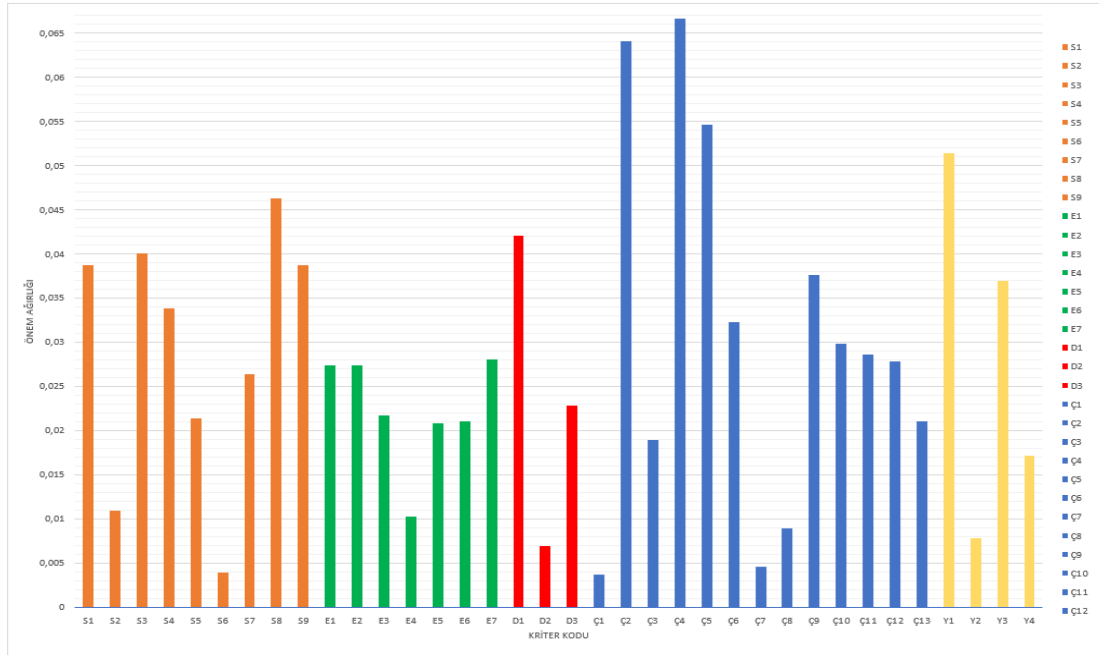


Şekil 6.20: BTOPSIS yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları

7. BULGULAR VE SONUÇ

Bu tez kapsamında endüstriyel simbiyoz ağında sürdürülebilir iş ortağı seçimi ele alınmıştır. Sürdürülebilir simbiyotik iş ortağı seçimi için kriterler literatür taraması ve uzman görüşleri ile belirlenmiştir. İncelenen 33 endüstriyel simbiyoz çalışması ile beş ana kriter başlığı belirlenmiş ve 36 alt kriter listelenmiştir. Ekonomik, çevresel, sosyal ve yasal ana kriter başlıklarına daha önceki çalışmalarda rastlanırken, “dayanıklılık” kriteri ilk kez bu çalışmada ana başlık olarak alınmıştır (Alakaş ve diğ. 2020; Tseng ve Bui 2017; Fraccascia ve diğ. 2017). Alt kriterlerde ise uzman görüşmeleri ile beş kriter eklenmiştir. Sosyal kriterler için; “*İş Güvenliği ve Sağlığı*” toplumsal ve insani fayda sağlanması amacıyla alt kriter olarak eklenmiştir. Çevresel kriter altında ise “*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Varlığı*” kriteri eklenerek, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında faydalı olması ve enerji dışa bağımlılığını minimize edilerek fayda sağlanması hedeflenmiştir. Aynı zamanda “*Atık azaltımı*” ve “*Atık üretimi*” kriterleri ile işletmelerin çevresel fayda adına uyguladığı stratejilerin göz ardı edilmesinin önüne geçilmiştir. Ekonomik kriterler başlığı altında ele alınan “*İşletme Maliyetleri*” alt kriteri ile minimum maliyetlerden sağlanan fayda ile çevresel fayda projelerine ayrılacak bütçe olanakları değerlendirilmiştir. Böylelikle literatürde yer alan çalışmalara kriter alanında fayda sağlanmıştır.

Sürdürülebilir simbiyotik iş ortağı seçimi için listelenen 36 alt kriter için aralık değerli küresel bulanık LOPCOW yöntemi kullanılarak önem ağırlıkları belirlenmiştir. LOPCOW yönteminin literatüre girdiği günden bu yana yalnızca dört çalışmada bulanık sayı kümeleri ile entegre olarak kullanıldığı görülmüştür. Bulanık sayılar ile birlikte kullanılan yöntem ile klasik LOPCOW yönteminin dezavantajlarının önüne geçilmiştir. Bulanık LOPCOW yöntemi sonucunda hesaplanan kriterlere ait önem ağırlıkları Şekil 7.1’de verilmiştir

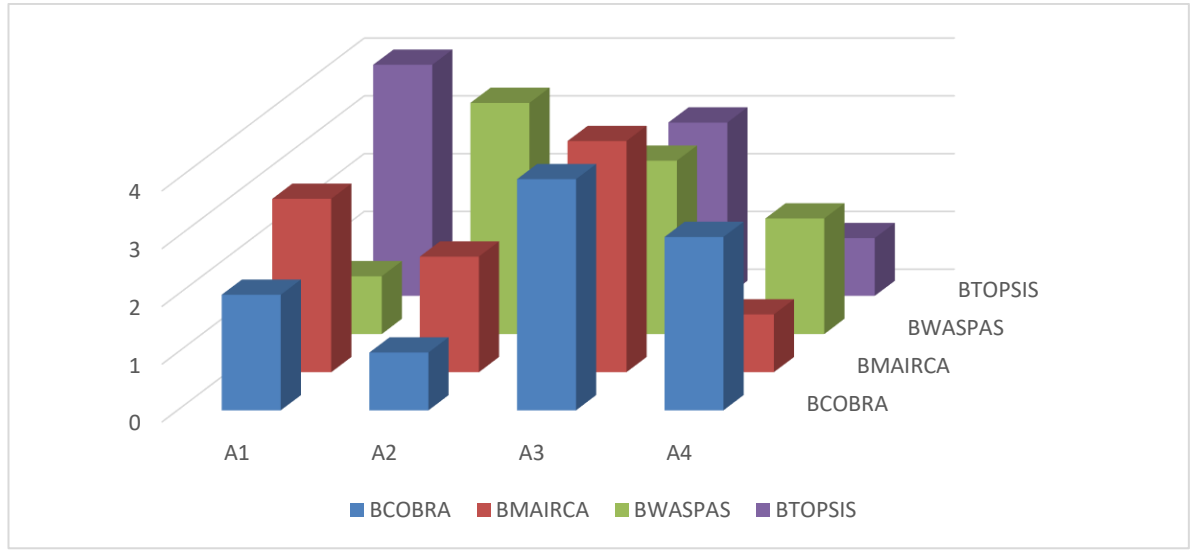


Şekil 7.1: BLOPCOW yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde seçim için en önemli kriterin Ç4 – Hammadde tasarrufu olduğu görülmektedir. Değerlendirme esnasında kullanılacak kriterlerden en düşük önem düzeyine sahip olan kriter ise Ç1- Sera Gazı Emisyonu olarak hesaplanmıştır.

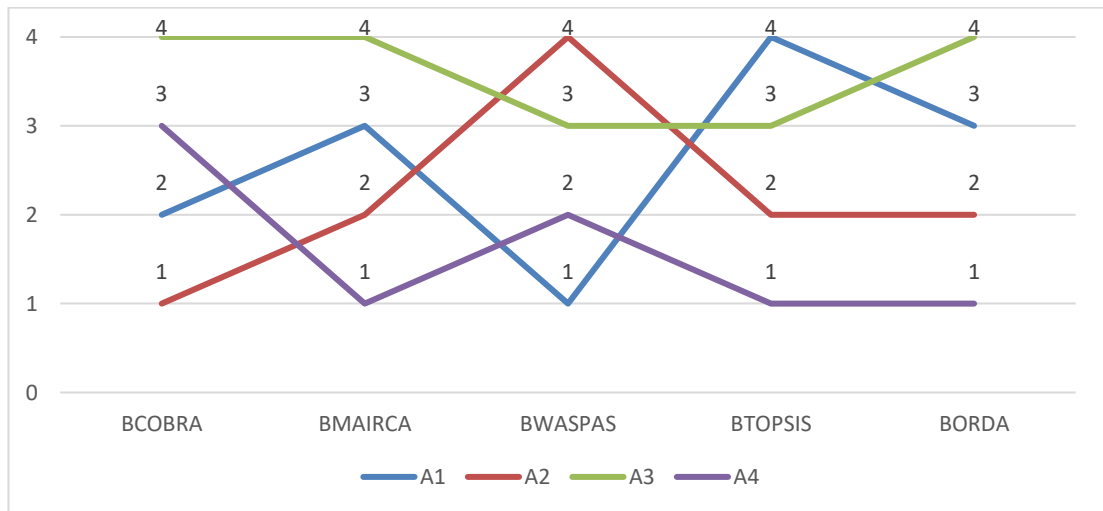
Kablo sektörü için ele alınan bir sürdürülebilir simbiyotik iş ortağı problemi için değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlıklandırılmasının ardından alternatifler uzman görüşleri ve sektör çalışanları ile belirlenmiştir. Problemden kablo fabrikası ile iş ortaklığı oluşturabilecek dört farklı üretici seçilmiştir. Bu alternatifler kablo sektörüne ait atıkları üretimlerinde hammadde olarak kullanabilmektedir. Alternatif olarak değerlendirilecek dört alternatif şu şekildedir: Boru ve profil imalatı(A1), ayakkabı tabanı imalatı (A2), valiz imalatı (A3) ve plastik pencere & kapı imalatı (A4). Bu alternatifler değerlendirilirken, klasik ÇKKV yöntemlerinin neden olduğu belirsizlik durumunun ortadan kaldırılması ve karar verici grubuna geniş bir değerlendirme skalası sunulması adına aralık değerli küresel sayılarla entegre edilmiş olan BCOBRA, BMAIRCA, BWASPAS ve BTOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sıralama yöntemlerinde Bulanık COBRA ilk kez bu tez ile aralık değerli küresel bulanık sayılarla birlikte kullanılmıştır. İlk kez kullanılan bir yöntem olması nedeni ile çözümler diğer alternatif sıralama yöntemleri ile tekrarlanmış ve yöntemin iş ortağı seçimlerinde ve bulanık karar problemlerinde

kullanılabileceği desteklenmiştir. Alternatif sıralama yöntemlerinde elde edilen sonuçlar Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2: Sıralama yöntemlerine ait alternatif konumları

Her yöntem için en iyi alternatifte farklılık görülmektedir. En kötü alternatif için BCOBRA ve BMAIRCA yöntemleri için A3 olarak hesaplanırken BWASPAS yönteminde A2, BTOPSIS yönteminde ise A1 en kötü alternatif olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan dört sıralama yönteminde farklı sonuçlar elde edildiğinden tüm sıralamaları birleştirmek ve nihai sıralamayı elde edebilmek adına “Borda Sayım Yöntemi” kullanılarak uzlaşık bir sıralama elde edilmiştir. Uzlaşık sıralama ve yöntem sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 7.3’te sunulmuştur.



Şekil 7.3: Borda yöntemi ve ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılması

Uzlaşık sıralamada en iyi alternatif BMAIRCA yönteminde olduğu gibi A4 olarak belirlenmiştir. En kötü alternatif ise BCOBRA yönteminde olduğu gibi A3 olarak hesaplanmıştır. Borda sayım yöntemi sonucu neticesinde çalışmada BCOBRA ve BMAIRCA yöntemine ait sonuçların kararlılığı desteklenmektedir.

Çalışmada modelin tutarlılığı ve uygulanabilirliğinin test edilmesi için dört farklı senaryoda duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Kriter ağırlıklarında meydana gelen değişikliklerin alternatif sıralamaları üzerinde yalnızca BCOBRA yöntemi için küçük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ancak en iyi ve en kötü alternatiflerde farklılık oluşturmadığından mevcut çözümün oldukça tutarlı ve uygulanabilir olduğu savunulabilmektedir.

Çalışma sonucunda, kablo sektörü için en uygun sürdürülebilir iş ortağının '*A4- Plastik Pencere & Kapı İmalatçıları*' olduğu görülmektedir. Karar verici grubuna sunulan sonuçlar onaylanmış ve sektörde faaliyet gösteren firmalar ile görüşmelere başlanmıştır.

8. KATKI VE ÖNERİLER

Bu tezde endüstriyel simbiyoz ağı için sürdürülebilir iş ortağı seçimi ele alınmıştır. Seçim kriterleri karar verici grubu tarafından değerlendirilmiştir. İş ortağı alternatifleri ise kablo sektörü ile iş birliği kurma potansiyeli olan sektörler olarak belirlenmiş ve aynı karar verici grubu tarafından değerlendirilmiştir. Simbiyoz çalışmalarında yeni sektör örneği olan bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı endüstriyel simbiyoz problemlerinden sıklıkla karşılaşılan '*Sosyal, Ekonomik, Çevresel ve Yasal*' başlıklarının yanı sıra bu tezde '*Dayanıklılık*' ana kriteri eklenmiştir. Bu ana kriter ile simbiyoz çalışmalarına yeni bir kriter alanı eklenirken, seçimlerin koşullara karşı ortaya çıkabilecek engel ve olumsuzluklara karşı direncini ölçmek amaçlanmış ve sürdürülebilir olmasına dikkat çekilmiştir.

Uzman görüşmeleri ile eklenen beş alt kriter ile literatürde yer alan çalışmalara değerlendirmede yeni bir bakış açısı olarak katkı sağlanmıştır. Toplumsal ölçütler arasına dahil edilen "*İş Güvenliği ve Sağlığı*", insanlık için sağlanacak faydaya odaklanılarak sosyal kriterler listesine eklenmiştir. Çevresel kriterler altında ise, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve enerji bağımlılığının en aza indirilerek fayda sağlanmasına yönelik olarak "*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Varlığı*" kriteri dahil edilmiştir. Aynı zamanda, işletmelerin çevresel fayda sağlamak amacıyla uyguladığı stratejilerin göz ardı edilmemesi için "*Atık Azaltımı*" ve "*Atık Üretimi*" kriterleri dikkate alınmıştır. Ekonomik kriterler kapsamında ele alınan 'İşletme Maliyetleri' alt kriteri ise minimum maliyetlerle elde edilen faydanın, çevresel fayda projelerine ayrılacak bütçe imkanlarının değerlendirilmesini amaçlamıştır.

Ele alınan problemde, literatür taraması ve uzman görüşü ile belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması bulanık LOPCOW yöntemi ile alternatif sıralamaları ise bulanık COBRA, bulanık MAIRCA, bulanık WASPAS ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile yapılmıştır. LOPCOW ve COBRA yöntemi ilk kez bu çalışmada aralık değerli küresel bulanık sayılar ile kullanılmıştır. Aynı zamanda BLOPCOW ve BCOBRA yönteminin çalışmada kullanılan diğer yöntemlerle hibrit olarak

kullanıldığı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Tüm bunlar çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymakla birlikte, literatüre katkı sağlamaktadır.

Çalışmayı kısıtlayan noktaların ilki önceki çalışmalarda kriterlerin sınırlı sayıda olmasıdır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için uzman görüşleri alınarak yeni kriterler eklenmiştir. Diğer bir kısıt ise konuda uzmanlaşmış kişi sayısının az olmasıdır. Uzman değerlendirmelerinde öznellik olduğundan, uzman sayısının artırılması sağlıklı sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda simbiyoz çalışmalarında sektöre özel seçim problemlerine rastlanmaması çalışmanın kısıtlayıcı noktalarından biridir.

İlerleyen zamanlarda farklı sektörler için kriter sayısının artırılması ile sürdürülebilir iş ortağı seçimi çalışmaları geliştirilebilecektir. Mevcut kriterler için farklı ÇKKV yöntemleri ile ağırlıklar ve sıralamalar araştırmacılar tarafından tekrar değerlendirilmeye açıktır.

9. KAYNAKLAR

2M Kablo, "Türk Kablo Sanayisi Tarihçesi | Özel Dosya [Çevrimiçi]". (12 Mayıs 2023)., <https://www.elektrikport.com/universite/turk-kablo-sanayisi-tarihcesi-ozel-dosya/8383.>, (2015).

Aguda, F.L., Bezerra, S.B., PAes L.A.B., ve Junior J.A.G., "Proposal of an assessment tool to diagnose industrial symbiosis readiness", *Sustainable Production and Consumption.*, 30, 916-929, (2022).

Agudo, F.L., Bezerra, B.S., ve Junior, J.A.G., "Symbiotic readiness: Factors that interfere with the industrial symbiosis implementation", *Journal of Cleaner Production.*, 387, (2023).

Akar, A.U., Şişman, S., Göktepeli, G., Yel, E., "A deterministic approach in waste management: delineation of potential territories in Turkey for industrial symbiosis of olive pomace, marble wastes and plastics by integrating Fuzzy AHP to GIS", *Environment, Development and Sustainability.*, 25, 5635-5662, (2023).

Akın, N.G., " Makine Seçimi Probleminde Entropi- ROV ve CRITIC- ROV Yöntemlerinin Karşılaştırılması", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.*, 62,20-39, (2019).

Akyüz, G., Aka, S., "Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Tedarikçi Performansı Değerlendirmede Toplamsal Bir Yaklaşım"., *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi.*, 15(2), 28-46, (2017).

Alakaş, H.M., Gür, Ş., Özcan E., Eren, T., "Ranking of sustainability criteria for industrial symbiosis applications based on ANP", *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management.* 28(4), 192-201, (2020).

Aydoğdu A., Gül S., "New entropy propositions for interval-valued spherical fuzzy sets and their usage in an extension of ARAS (ARAS-IVSFS)", *Expert System-WILEY.*, doi: 10.1111/exsy.12898., (2021).

Ayres, R.U., "Industrial Metabolism in technology and environment".(eds: Ausubel J. ve Sladovich H.). *National Academy Press. - Washington.*, 23-49, (1989).

Bacudío, L.L., Benjamin, M.F.D., Eusebio, R.C.P., Holaysan, S.A.K., Promentilla, M.A.B., Yu, K.D.S., Aviso, K.B., "Analyzing barriers to implementing industrial symbiosis networks using DEMATEL", *Sustainable Production and Consumption*, 7, 57-65, (2016).

Biswas S., Bandyopadhyay G., Mukhopadhyaya J.Y., "A multi-criteria framework comparing dividend pay capabilities: Evidence from Indian FMCG and consumer durable sector.", *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 5(2), 140-175, (2022).

C´arcamo E.A.B., Peñabazena-Niebles R., "Opportunities and challenges for the waste management in emerging and frontier countries through industrial symbiosis", *Journal of Cleaner Production*. 363, 132607-132626, (2022)

Castiglione C., Yazan D.M., Alfieri A., Mes M., "A holistic technological eco-innovation methodology for industrial symbiosis development", *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1538-1551, (2021).

Chang, C.W., Wu, C.R., Lin, C.T., Chen, H.C., "An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine", *Computers & Industrial Engineering*. 52, 296-307, (2007).

Chen, X., Dong, M., Zhang, L., Luan X., Cui, X., Cui, Z., "Comprehensive evaluation of environmental and economic benefits of industrial symbiosis in industrial parks". *Journal of Cleaner Production*. 354, (2022).

Chertow, M.R., "Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy", *Annual review of energy and the environment*. 25, 131-337, (2000).

Chertow, M.R., "Uncovering industrial symbiosis.", *Journal of Industrial Ecology*. 11, 11-30, (2007).

Chertow, M.R., Ehrenfeld J.R., " Organizing Self-Organizing Systems ", *Journal of Industrial Ecology*. 16(1), (2012).

Cohen-Rosenthal Ed., "A Walk on the Human Side of Industrial Ecology" *American Behavioral Scientist*. 44(2), 245-264, (2000).

Cote R. P., Cohen-Rosenthal E., "Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences", *Journal of Cleaner Production*. 6(3-4), 181-188, (1998).

Çakır, P., Perçin, S., "Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lojistik Firmalarında Performans Ölçümü", *Ege Akademik Bakış Dergisi*. 13(4), 449-459, (2013).

Çevre ve Orman Bakanlığı, "Türkiye’de Temiz Üretim Uygulamalarının Yaygınlaştırılması için Çerçeve Koşulları ve Ar-Ge İhtiyacının Belirlenmesi Projesi Sonuç Raporu [Çevrimiçi]", (17 Temmuz 2023), <http://www.ttg.gov.tr/tr/temiz-uretim>, (2010)

Demircioğlu, E.N., Ever D., "Döngüsel ekonomiye geçişte endüstriyel simbiyozun maliyetler üzerine etkisi", *Çanakkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 29(3), 463-473, (2020).

Demirer G.N., "Endüstriyel simbiyoz kavramı ve uygulama örnekleri", "Gaziantep Endüstriyel Simbiyoz Projesi Bilgilendirme Toplantısı", Gaziantep, (2015).

Ecer, F., Pamucar D., "A novel LOPCOW-DOBI multi-criteria sustainability performance assessment methodology: An application in developing country banking sector", *Omega*. 112, (2022).

Ehrenfeld J., Gertler N., "Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg", *Journal of Industrial Ecology*. 1 (1), 67-79, (2008).

Erdoğan M., "Assessing farmers' perception to Agriculture 4.0 technologies: A new interval-valued spherical fuzzy sets based approach", *Int. J. of Intelligent Systems*. 37(2),1751-1801, (2021).

Fahmy, M., Hall, P.W., Suckling, I.D., Bennett, P., Wijeyekoon, S., "Identifying and evaluating symbiotic opportunities for wood processing through techno-economic superstructure optimisation – A methodology and case study for the Kawerau industrial cluster in New Zealand", *Journal of Cleaner Production*. 328, (2022).

Farrokhzadeh, E., Seyfi-Shishavan, S., Gündoğdu, F.K., Donyatalab, Y., Kahraman, C., Seifi, S.H., "A spherical fuzzy methodology integrating maximizing deviation and TOPSIS methods", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 101, (2021).

Filimonau, V., Ermolaev, V.A. "Exploring the potential of industrial symbiosis to recover food waste from the food service sector in Russia", *Sustainable Production and Consumption*, 29, 467-478, (2022).

Foong, S.Z.Y., ve Ng, D.K.S., "Simultaneous design and integration of multiple processes for ecoindustrial park development", *Journal of Cleaner Production*. 298, 126797-126833, (2021).

Fraccascia, L., Giannoccaro, I., Vito A., "Rethinking Resilience in Industrial Symbiosis: Conceptualization", *Ecological Economics*. 137, 148-162, (2017).

Frosch, R., Gallopoulos, N., "Strategies for Manufacturing". *Scientific American*, 261(3), 144-150, (1989).

Gabrijela P., Dorde P., Florentin S., "MEREK-COBRA approach in e-commerce development strategy selection.", *Journal of Process Management and New Technologies*, 10,66-67,(2022).

Garner, A., "Industrial Ecology: An Introduction In pollution prevention and industrial ecology", (ed:Keoleian, G.A.), National Pollution Prevention Center for higher Education-USA, (1995).

Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S., "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems", *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32, (2016).

GIŠOVIC, L., Pamucar, D., Bajić, Z., Milicevic, M., "The combination of expert judgment and GIS MAIRCA analysis for the selection of sites for ammunition depots" *Sustainability-MDPI*. 8(5), (2016).

Golev, A., Corder, G.D., Giurco, D.P., "Barriers to industrial symbiosis: insights from the use of a maturity grid", *Journal of Industrial Ecology*, 19(1), 141-153, (2015).

Gonela, V., Zhang, J., Osmani, A., "Stochastic optimization of sustainable industrial symbiosis based hybrid generation bioethanol supply chains", *Computers & Industrial Engineering*,87, 40-65, (2015).

Grant, G.B., Seager, T.P., Massard, G., Nies, L., "Information and communication technology for industrial symbiosis", *Journal of Industrial Ecology*, 14(5), 740-753, (2010).

Gündoğdu, F.K., "Generalization of Intuitionistic, Pythagorean and Neutrosophic fuzzy sets: Spherical sets an decision making", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, (2019).

Gündoğdu, F.K., Kahraman C., "Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(1),337-352, (2019a).

Gündoğdu, F.K., Kahraman C., "A novel fuzzy TOPSIS method using emerging interval-valued spherical fuzzy sets", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 85, 307-323, (2019b).

Gündüzalp, A.A., Güven, S., "Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği", *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 9(1), 1-19, (2016).

Hendiani, S., Liao, H., Ren, R., Lev, B., "A likelihood-based multi-criteria sustainable supplier selection approach with complex preference information", *Information Sciences*, 536, 135-155, (2020).

Herczeg, G., Akkerman, R., Hauschild M.Z., "Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks", *Journal of Clean Production*, 171, 1058-1067, (2018).

Ho, T. H., Hull, J. J., Sriharı, S. N., "On Multiple Classifier Systems Pattern Recognition", *Ieee Int. Conference On Pattern Recognition*, 3-85, (1992).

Huang L., Zhen L., Yin L., "Waste material recycling and exchanging decisions for industrial symbiosis network optimization", *Journal of Cleaner Production*, 276, 1-15,(2020).

Huang M., Zhenzhen W., Chen T., "Analysis on the theory and practice of industrial symbiosis based on bibliometrics and social network analysis", *Journal of Cleaner Production*, 213, 956-967, (2019).

Jahan, A., Edwards, K.L., Bahraminasab, M., "*Multi Criteria Decision Analysis For Supporting The Selection of Engineering Materials in Product Design*", Butterworth Heinemann-USA, (2016).

Kabak, M., Erdebilli, B., "*Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri*", Ankara: Nobel, (2021).

Kahraman, C., Süder A., Kaya İ., "Fuzzy multi-criteria evaluation of health research investments", *Technological and Economic Development of Economy*. 20(2), 210-226, (2014).

"Kalundborg Symbiose: Forside [Çevrimiçi]", (11 Mayıs 2023), https://www.dropbox.com/s/952tcc0a1ht5y2w/Kalundborg_Symbiose_two-pager_16_partners_.pdf?dl=0, (2022).

Kaya, İ., Çolak, M., Terzi F., "A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making", *Energy Strategy Reviews*, 24, 207-228, (2019).

Kaya, İ., Kılınç, M.S., Çevikcan, E., "Makine-teçhizat seçim probleminde bulanık karar verme süreci", *Mühendis ve Makine*, 576(49), 8-14, (2007).

Kaza, S., Woerden F.V., Yao L., Bhada-Tata P., "What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050", Washington, DC : World Bank, (2018).

Khan, F., Ali, Y., "A facilitating framework for a developing country to adopt smart waste management in the context of circular economy", *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 26336-26351, (2022).

Klir G. J. ve Yuan B. "Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications" Prentice Hall: Upper Saddle River, (1995).

Kristić, M., Agnusdei, G.P., Miglietta, P.P., Tadic, S., Roso, V., "Applicability of Industry 4.0 Technologies in the Reverse Logistics: A Circular Economy Approach Based on Comprehensive Distance Based Ranking (COBRA) Method", *MDPI - Sustainability*, 14(9), (2022).

Kristić, M., Tadic, S., Agnusdei L., "Evaluating Governance Models in Intermodal Terminal Operations: A Hybrid Grey MCDM Approach", *Journal of Intelligent Management Decision*, 2(4),179-191,(2023).

Kulak, O., "Denizli'nin Öncü Sektörleri için Ar-Ge ve Yenilikçilik Olgunluk Düzeyi Analizi", Denizli: Bilal Ofset, (2015).

Lansdowne, Z.F., Woodward, B.S., "Applying the Borda Ranking Method", *Air Force Journal of Logistics*, 20(2),27-29, (1996).

Lashgari S., Antucheviciene J., Delavari A., Kheirkhah O., "Using QSPM and WASPAS methods for determining outsourcing strategies", *Journal of Business Economics and Management*, 15(4), 79-82, (2014).

Lawal, M., Alwi, S.R.W., Manan, Z.A., Ho, W.S., "Industrial symbiosis tools: A review", *Journal of Cleaner Production*. 280(1), (2021).

Leea, H., Changb, C., "Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 92, 883-896, (2018).

Leong, Y.T., Tan, R.R., Aviso, K.B., Chew, I.M.L., "Fuzzy analytic hierarchy process and targeting for inter-plant chilled and cooling water network synthesis", *Journal of Clean Production*, 110, 40-63, (2016).

Lyons, D., "Integrating waste, manufacturing and industrial symbiosis: an analysis of recycling, remanufacturing and waste treatment firms in Texas", *Local Environmental*. 10(1), 71-86, (2005).

Maabool, A.S., Mendez, A.F., Van, E.G., "An assessment of European information technology tools to support industrial symbiosis", *MDPI-Sustainability*. 11, (2019).

Malek, J., Desai, T.N., "Investigating the role of sustainable manufacturing adoption in improving the organizational performance", *Technology in Society*, 68, (2022).

Maranesi, C., Giovanni, P.D., "Modern Circular Economy: Corporate Strategy, Supply Chain, and Industrial Symbiosis", *MDPI-Sustainability*, 12(22), (2020).

Menekşe, A., Akdağ, H.C., "Medical waste disposal planning for healthcare units using spherical fuzzy CRITIC-WASPAS", *Applied Soft Computing*, 144, (2023).

Misrol, M.A., Alwi, S.R.W., Lim, J.S., Manan, Z.A., "An optimal resource recovery of biogas, water regeneration, and reuse network integrating domestic and industrial sources", *Journal of Cleaner Production*, 286 - 125372-125388, (2021).

Moberg, A., "Environmental systems analysis tools for decision-making", Yüksek Lisans Tezi, *Royal Institute of Technology*, Stockholm- İsveç, (2006).

Montemanni, R., Jamal, J., "Industrial cluster optimization based on linear programming", *5th International Conference on Industrial Engineering and Applications*. - ICIEA , (2018).

Mücevher, M.H., "Örgütlerde Simbiyotik Yaşam: İşbirlikçiler, Sığıntılar ve Asalaklar", *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 15(6) 172-184, (2021).

Neri, A., Butturi, M.A., Lolli, F., Gamberini, R., "Inter-firm exchanges, distributed renewable energy generation, and battery energy storage system integration via microgrids for energy symbiosis", *Journal of Cleaner Production*. 414, (2023).

Onan, A., "Metasezgisel Yöntemler ve Uygulama Alanları", *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*. 17(2), 135-147, (2013).

Öktem, B., "Atık Yönetiminde Enterge Uygulama", *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*,6(2/1),135-147, (2016).

Özkan, A., Günkaya, Z., Özdemir, A., Banar, M., "Sanayide temiz üretim ve döngüsel ekonomiye geçişte endüstriyel simbiyoz yaklaşımı: bir değerlendirme", *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 84-97, (2018).

Park, J., Duque-Hernández, J., ve Díaz-Posada, N., "Facilitating Business Collaborations for Industrial Symbiosis: The Pilot Experience of the Sustainable Industrial Network Program in Colombia", *MDPI-Sustainability*, 10(10), (2018).

Pekküçükşen, Ş., Solak, S.G., "Türkiye'de Kentsel Katı Atık Yönetimi: Karşılaştırmalı Bir Analiz", *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(3), (2018).

Probert, D., Cole T., "The partner selection process in an industrial symbiosis", Cambridge: *University of Cambridge*, (2015).

Ren, J., Liang, H., Dong, L., Sun, L., Gao, Z., "Design for sustainability of industrial symbiosis based on emergy and multi-objective particle swarm optimization", *Science Total Enviromental*, 562, 789-801, (2016).

Schlüter, L., Mortensen, L., Drustrup, R., Gjerding, A.N., Kornov, L., Lyhne, I., "Uncovering the role of the industrial symbiosis facilitator in literature and practice in Nordic countries: An action-skill framework, *Journal of Cleaner Production*, 379, (2022).

Sellitto, M.A., Murakami, F.K., Butturi, M.A., Marinelli, S., Junior, N.K., Rimini, B., "Barriers, drivers, and relationships in industrial symbiosis of a network of Brazilian manufacturing companies", *Sustainable Production and Consumption*, 26, 443-454, (2021).

Shi, H., Chertow, M., Song, Y., "Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological

Development Area in China", *Journal of Clean Production*, 18, 191-199, (2010).

Soba, M., Eren, K., "TOPSIS Yöntemini Kullanarak Finansal ve Finansal Olmayan Oranlara Göre Performans Değerlendirilmesi; Şehirlerarası Otobüs Sektöründe Bir Uygulama", *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 21(11), 23-40, (2011).

Sonel, E., Gür, Ş., Eren, T., "Analysis of factors affecting industrial symbiosis collaboration", *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 8479-8486, (2022).

Södergren, K., Palm, J., "The role of local governments in overcoming barriers to industrial symbiosis", *Clean Environmental Systems*, 2, (2021).

Supçiller, A.A., Öktem, T., "Bir kablo firması için bulanık CRITIC ve bulanık MAIRCA ile ekstrüder hattı seçimi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(8), 836-845 (2023).

Susur, E., Hidalgo, A., Chiaroni, D., "The emergence of regional industrial ecosystem niches: A conceptual framework and a case study", *Journal of Cleaner Production*, 208, 1642-1657, (2019).

T.C Resmî Gazete, "Çevre Kanunu [Çevrimiçi]", (17 Temmuz 2023), <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2872&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>, (1983).

Tadic S., Kristic M., Dabic-Miletic S., Bozic M., " Smart material handling solutions for city logistics systems.", *Sustainability*, 15(8), 6693, (2023).

Taha, H.A., "*Operations Research an Introduction*", Harlow: Global Edition, (2017).

Taqi, H.M.M., Meem, E.R., Bhattacharjee, P., Salman, S., Ali, S.M., Sankaranarayanan, B., "What are the challenges that make the journey towards industrial symbiosis complicated?", *Journal of Cleaner Production*, 370, 133384-133396, (2022).

Temiz Üretim Teknolojileri Mükemmeliyet Merkezi [Çevrimiçi], (9 Mayıs 2023), <https://www.temizuretimmerkezi.org/endustriyel-simbiyoz>, (2023).

Tezel, Ö., Yıldız, E., "Sürdürülebilir Atık Yönetimi Uygulamalarında Dünya ve Türkiye Karşılaştırması", *Social Sciences Research Journal*, 9(2), 35-48, (2020).

Tırmıkçioğlu, N., "Sezgisel Bulanık WASPAS Yöntemi ve Depo Yeri Seçimi Problemi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 1330-1342, (2021).

Tok, M.Ç., "Stok Sınıflandırma Probleminin AHP- ABC-XYZ Bütünleşik Yöntemiyle Çözümü ve Kablo Üretim Sektöründe Uygulanması", *İstanbul : İstanbul Ticaret Üniversitesi*, (2021).

Tseng, M., Bui, T., "Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach", *Journal of Cleaner Production*, 140(2), 1376-1389, (2017).

Tudor, T., Adam, E., Bates, M., "Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): A literature review", *Ecological Economics*, 3(2), 199-207, (2007).

Turken, N., Geda, A., "Supply chain implications of industrial symbiosis: A review and avenues for future research", *Resources, Conservation & Recycling*, 161, 921-942, (2020).

Ulutaş F., "Endüstriyel Ekoloji [Çevrimiçi]", (11 Mayıs 2023), *Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları*, https://recturkey.files.wordpress.com/2017/02/endc3bcstriyel_ekoloji.pdf, (2020)

Uusikartano, J., Saha, P., Aarikka-Stenross, L., "The industrial symbiosis process as an interplay of public and private agency: Comparing two cases", *Journal of Cleaner Production*, 344, (2022).

Wang, L., Zhang Q., Wang, H., "Effect of policy on industrial symbiosis: Simulation study from the perspective of enterprise operation", *Sustainable Production and Consumption*, 30, 962-972, (2022).

Wang, S., Zhang, Z., Wang, Z., Liu, G., "Exploring the multidimensional factors and emergence mechanisms of industrial symbiotic relationships based on machine learning", *Journal Of Clean Production*, 381, (2022).

Wei, G., Lu J., Wang, J., Wu, J., "Similarity measures of spherical fuzzy sets based on cosine function and their applications", *IEEE Access*, 7, (2019).

Wu, J., Jin, R., "Exploring the impact of symbiotic measures on the evolution of structure and function of the iron and steel industrial symbiosis network", *Journal of Cleaner Production*, 273, 1-13, (2020).

Wu, J., Lu, J., Jin R., "Quantitative indicators for evolution of a typical iron and steel industrial symbiosis network", *Journal of Cleaner Production*, 287, 125491-125502, (2021).

Xin, İ C., Wen, Z., Zhao, X., Wang, Y., Zhang H., "Quantitative assessment of energy conservation and emission reduction effects of nationwide industrial symbiosis in China", *Science of the Total Environment*, 717, 1-11, (2020).

Yazdani, M., Chatterjee, P., Pamucar, D., Doval, M., "A risk-based integrated decision-making model for green supplier selection", *Kybernetes*, 49(4), 1229-1252, doi: 10.1108/K-09-2018-0509, (2019).

Yazgan, A.E., Agamyradova, H., "SWARA ve MAIRCA yöntemleri ile bankacılık sektöründe personel seçimi", *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 16(2), 281-290, (2021).

Yazıcı, E., Alakaş, H.M., Eren, T., "Prioritizing of sectors for establishing a sustainable industrial symbiosis network with Pythagorean fuzzy AHP- Pythagorean fuzzy TOPSIS method: a case of industrial park in Ankara", *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 77875-77889, (2023).

Yazıcı, E., Alakaş, H.M., Eren, T., "Analysis of operations research methods for decision problems in the industrial symbiosis: a literature review", *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 70658-70673, (2022).

Yeşilkaya, M., Daş, S.G., Türker, A.K., "A multi-objective multi-period mathematical model for an industrial symbiosis network based on the forest products industry", *Computers & Industrial Engineering*, 150, (2020).

Yu, C., Davis, C., Dijkema, G.P.J., "Understanding the evolution of industrial symbiosis research" *Journal of Industrial Ecology*, 18(2), 280-293, (2014).

Yu, H., Da L., Li, Y., Chen Y., Geng, Q., Jia Z., Zhang Y., Li, J., Gao, C., "Industrial symbiosis promoting material exchanges in Ulan Buh Demonstration Eco-industrial Park: A multi-objective MILP model", *Journal of Cleaner Production*, 414, (2023).

Zadeh, L., "A. Fuzzy sets", *Information and Control*, 8(3), 338-353, (1965).

Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., Zakarevicius, A., "Optimization of weighted aggregated sum product assessment", *Electronics and Electrical Engineering*, 122(6), 3-6, (2012).

Zhang, X., Wang, Y., Wei, S., Dong, J., Zhao, J., Qian, G., "Assessing the chlorine metabolism and its resource efficiency in chlor-alkali industrial symbiosis- A case of Shanghai Chemical Industry Park", *Journal of Cleaner Production*, 380(2), (2022).

Zhao, H., Zhao, H., Guo, S., "Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy", *Journal of Cleaner Production*, 142(20), 2262-2276, (2017).

Zhu, Q.H., Cote, R., "Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group", *Journal Of Cleaner Production*, 12(8-10),1025-1035, (2004).

Zhu, Q., Hu, S., "Improved interactive inference approach for constructing a complex multi-industrial symbiosis network", *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 554001-55418, (2021).

Zolfani, S.H., Görener, A., Toker, K., "A hybrid fuzzy MCDM approach for prioritizing the solutions of resource recovery business model adoption to overcome its barriers in emerging economies", *Journal of Cleaner Production*. 413, (2023).

EKLER

10. EKLER

EK A

$$\begin{aligned}
 & C(A, B) = \\
 & \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{[(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 * ((\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2) + ((\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_A^U)^2 * ((\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_A^U)^2) + ((\pi_A^L)^2 + (\pi_A^U)^2 * ((\pi_A^L)^2 + (\pi_A^U)^2)]}{\sqrt{(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 + (\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_A^U)^2 + (\pi_A^L)^2 + (\pi_A^U)^2} * \sqrt{(\mu_B^L)^2 + (\mu_B^U)^2 + (\vartheta_B^L)^2 + (\vartheta_B^U)^2 + (\pi_B^L)^2 + (\pi_B^U)^2}
 \end{aligned} \tag{4.49}$$

$$\begin{aligned}
 & C(A_{ij}, A_j^+) = \\
 & \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{[(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 * ((\mu_A^{+L})^2 + (\mu_A^{+U})^2) + ((\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_A^U)^2 * ((\vartheta_A^{+L})^2 + (\vartheta_A^{+U})^2) + ((\pi_A^L)^2 + (\pi_A^U)^2 * ((\pi_A^{+L})^2 + (\pi_A^{+U})^2)]}{\sqrt{(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 + (\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_A^U)^2 + (\pi_A^L)^2 + (\pi_A^U)^2} * \sqrt{(\mu_B^{+L})^2 + (\mu_B^{+U})^2 + (\vartheta_B^{+L})^2 + (\vartheta_B^{+U})^2 + (\pi_B^{+L})^2 + (\pi_B^{+U})^2}
 \end{aligned} \tag{4.50}$$

$$\begin{aligned}
 & C(A_{ij}, A_j^-) = \\
 & \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{[(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 * ((\mu_A^{-L})^2 + (\mu_A^{-U})^2) + ((\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_A^U)^2 * ((\vartheta_A^{-L})^2 + (\vartheta_A^{-U})^2) + ((\pi_A^L)^2 + (\pi_A^U)^2 * ((\pi_A^{-L})^2 + (\pi_A^{-U})^2)]}{\sqrt{(\mu_A^L)^2 + (\mu_A^U)^2 + (\vartheta_A^L)^2 + (\vartheta_A^U)^2 + (\pi_A^L)^2 + (\pi_A^U)^2} * \sqrt{(\mu_B^{-L})^2 + (\mu_B^{-U})^2 + (\vartheta_B^{-L})^2 + (\vartheta_B^{-U})^2 + (\pi_B^{-L})^2 + (\pi_B^{-U})^2}
 \end{aligned} \tag{4.51}$$