



BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ

T.C.

BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANA BİLİM DALI

**TEDARİKÇİ SEÇİMİ VE ENTEGRE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK
ZİNCİRİ AĞ TASARIMI PROBLEMLERİ İÇİN BİR KARAR
DESTEK SİSTEMİ**

SİBEL ERİŞKAN

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. YUSUF ŞAHİN

BURDUR – 2023

T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI

TEDARİKÇİ SEÇİMİ VE ENTEGRE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK
ZİNCİRİ AĞ TASARIMI PROBLEMLERİ İÇİN BİR KARAR
DESTEK SİSTEMİ

Sibel ERİŞKAN
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Yusuf ŞAHİN

ÜYELER

Doç. Dr. Erdal AYDEMİR

Doç. Dr. Muhammet Burak KILIÇ

Doç. Dr. Ahmet Buğra HAMŞIOĞLU

Doç. Dr. Kenan KARAGÜL

BURDUR – 2023

T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

ETİK BEYAN

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'ne göre hazırlamış olduğum “*Tedarikçi Seçimi ve Entegre Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemleri için Bir Karar Destek Sistemi*” adlı tezin hazırlanması sürecinde akademik ve etik kuralları ihlal etmediğimi, tezimin özgün olduğunu, başvurduğum kaynakları metin içinde, dipnotlarda ve kaynakçada eksiksiz ve bilimsel kurallara uygun olarak gösterdiğimi taahhüt ederim.

27.07.2023

Sibel ERİŞKAN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sürecinde ve akademik hayatımda benden desteğini esirgemeyen, çalışma kabiliyetime güvenen ve büyük bir empati ile motive eden danışman hocam Doç. Dr. Yusuf ŞAHİN’e teşekkürü bir borç bilirim.

Tecrübeleri ve fikirleri ile çalışmama yön veren, vakit ayıran ve akademik hayatımda yol gösterici olan tez izleme komitesi üyelerim Doç. Dr. Erdal AYDEMİR ve Doç. Dr. Muhammet Burak KILIÇ Hocalarıma ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım. Değerli katkıları için jüri üyelerim Doç. Dr. Ahmet Buğra HAMŞIOĞLU ve Doç. Dr. Kenan KARAGÜL Hocalarıma içten teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayatımın bana önemli bir katkısı olan, büyük bir cömertlikle her daim yardım eli uzatan, kıymetli bilgileriyle yön gösteren hocam Doç. Dr. Mehmet SOYSAL’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecimde alana yönelik tecrübelerini paylaşarak destek sağlayan, görüşlerini paylaşan uzmanlara ve isimlerini teker teker belirtemesem de büyük bir anlayış ile akademik ve özel hayatımda bana destek olan bütün arkadaşlarıma içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezim için okumalar yapıp, kıymetli geri bildirimlerini sunan, motivasyonumu artıran meslektaşım ve arkadaşım Arş. Gör. Zehra Burçin KANIK NABİ ve Arş. Gör. Dr. Faruk TEMEL’e ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Son ve sonsuz olarak ise koşulsuz destekleriyle her zaman yolumu aydınlatan, içten sevgileriyle sarıp sarmalayan, çocukları olduğum için kıymetli hissettiğim annem Solmaz ERİŞKAN’a ve babam Mehmet ERİŞKAN’a çok teşekkür ederim. Hayatımın her aşamasında büyük bir ilgi ve sevgiyle desteklerini sunan ve ilham veren biricik kardeşlerime ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Günümüzde organizasyonlar, rekabetçi bir pazarda ayakta kalmak ve başarılı olmak için etkili bir tedarik zinciri yönetimi stratejisi benimsemek durumundadırlar. Etkin bir strateji geliştirebilmenin iki önemli anahtarı iyi planlanmış bir kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı ve işletmenin kriterlerine uygun tedarikçinin seçimidir. Kapalı döngü tedarik zinciri, malzemelerin, nakdin ve bilginin özenli bir şekilde yönetilerek, organizasyon içerisinde geri dönüşüm ve tekrar kullanım süreçlerini de gözeterek, ağ kararlarının optimize edilmesini sağlayan bir yaklaşımdır. Tedarikçi seçimi ise, işletmenin hammadde, malzeme ve hizmetleri temin etmek için doğru tedarikçileri seçmesini ve bu süreçte rekabet avantajını gözetmesini sağlayabilen kritik bir karar sürecidir.

Kapalı döngü tedarik zinciri ve tedarikçi seçimi, işletmelerin sürdürülebilirlik, maliyet etkinliği, kalite güvencesi ve müşteri memnuniyeti gibi temel hedeflere ulaşmasında büyük öneme sahiptir. Bu tez, kapalı döngü tedarik zinciri ve tedarikçi seçimi problemlerini anlamak, analiz etmek ve çözümlmek için bir adım olacaktır. Bu çalışma, işletmelere bu konularda stratejik bir perspektif sunacak ve karar verme süreçlerini iyileştirerek rekabet avantajı sağlamalarına yardımcı olacaktır. Bu tez çalışmasında, COVID-19 pandemi sürecinde LARG (“*Lean*: yalın”, “*Agility*: çevik”, “*Resilience*: esnek” ve “*Green*: yeşil” boyutlar) tedarikçi seçimi ile başlayan bir süreçte ürün bozulabilirliğini dikkate alan bir kapalı döngü ağ tasarımı model önerisi sunmak amaçlanmaktadır.

Tedarikçi seçimi problemine yönelik dikkate alınan kriterler; geleneksel, sosyal, LARG odaklı ve pandemi özel kriterler olmak üzere ilgili literatür incelenerek belirlenmiştir. Elde edilen kriterler dikkate alınarak Sezgisel Bulanık Küme Teorisi (“IFS: *Intuitionistic Fuzzy Sets*”) ve Tam Tutarlılık (“FUCOM: *FULL C*onsistency *M*ethod”) Yöntemleri ile kriter ağırlıklandırma süreci kurgulanmıştır. Kriter ağırlıklandırmada farklı uzmanlardan elde edilen değerlendirmeleri dikkate alan ve Olasılıksal Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama yaklaşımı ile kriter ağırlıklarını belirleyen bir ağırlıklandırma yöntemi bulunmaktadır. Tedarikçi değerlendirmesi yapmak

ve önerilen matematiksel modelde dikkate alınacak bir parametre olan tedarikçi puanları parametresini elde etmek amacıyla Nispi Ağırlıklandırma Yönteminin (“COPRAS: *Complex PROportional ASsessment*”) uygulanabilirliği sunulmaktadır.

Çalışmada bozulabilir nitelikte bir ürün için sürdürülebilirliği dikkate alan kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarım modeli önerisi bulunmaktadır. Pandemi sürecinde meydana gelen arz belirsizliğinin etkisi altında olasılıksal tam sayılı doğrusal programlama model önerisi sunulmaktadır. Önerilen matematiksel modelin araştırma kısmında sağlık sektörü ele alınmış olup, Türkiye’de faaliyet gösteren bir hastane üzerinden ağ tasarımı gözlemlenmektedir. Yapılan literatür araştırmasında, sağlık sektöründe tedarikçi seçimi ve ağ tasarımı problemleri için önemli bir boşluk görülmektedir. Bu doğrultuda, sağlık sektörüne yönelerek literatüre yeni bir perspektif sunma amacı güdülmektedir. Çözümler üzerinde tedarikçi puanı, raf ömrü ve tedarikçi kapasitesi parametreleri üzerine duyarlılık analizi yapılmaktadır. Örnek olayın çözümü IBM ILOG CPLEX 20.1.0 programı akademik versiyonu kullanılmaktadır. Elde edilen çözümler bozulabilir nitelikteki bir ürün için kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımında tedarikçi seçiminin önemini vurgularken optimal bir envanter takibi yapılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tedarikçi Seçimi, FUCOM, Sezgisel Bulanık Küme Teorisi, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı, Olasılıksal Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama.

(ERISKAN, Sibel, *A Decision Support System for Supplier Selection and Integrated Closed-Loop Supply Chain Network Design Problems*, PhD. Thesis, Burdur, 2023)

ABSTRACT

In today's business environment, organizations must adopt an effective supply chain management strategy to survive and succeed in a competitive market. Two critical factors in developing an effective strategy are a well-planned closed-loop supply chain network design and the selection of suitable suppliers that meet the criteria of the business. A closed-loop supply chain is an approach that optimizes network decisions by carefully managing materials, cash, and information, considering recycling and reuse processes within the organization. Supplier selection is a critical decision-making process that enables businesses to choose suitable suppliers for sourcing raw materials, goods, and services while considering competitive advantage.

Closed-loop supply chain and supplier selection are essential for organizations to achieve fundamental goals such as sustainability, cost-effectiveness, quality assurance, and customer satisfaction. This thesis will be a step towards understanding, analyzing, and solving closed-loop supply chain and supplier selection problems. The study will give businesses a strategic perspective in these areas and help improve their decision-making processes to gain a competitive advantage. The study aims to propose a closed-loop network design model that considers product perishability, starting with LARG (lean, agile, resilient, and green) supplier selection in a process affected by the COVID-19 pandemic.

The criteria considered for supplier selection include traditional, social, LARG-focused, and pandemic-specific criteria, determined by reviewing relevant literature. The obtained criteria are used to construct a criterion weighting process using Intuitionistic Fuzzy Set Theory (IFS) and Full Consistency Methods (FUCOM). The weighting process considers evaluations from different experts and determines criterion weights using a mathematical modeling approach. To evaluate suppliers and obtain the supplier scores, which are a parameter to be considered in the proposed mathematical model, the applicability of the Complex Proportional Assessment (COPRAS) Method is presented in the study.

The study proposes a closed-loop supply chain network design model that considers sustainability for a perishable product. Under the influence of supply uncertainty during the pandemic, the Probabilistic-Mixed Integer Linear Programming Model is proposed in the study. The research part of the proposed mathematical model focuses on the healthcare sector and observes network design through a hospital operating in Turkey. Sensitivity analysis is performed on supplier scores, shelf life, and supplier capacity parameters in the solutions. The IBM ILOG CPLEX 20.1.0 program is used to solve the case. The obtained solutions highlight the importance of supplier selection in closed-loop supply chain network design for a perishable product and demonstrate the possibility of optimal inventory tracking.

Keywords: Supplier Selection, FUCOM, Intuitionistic Fuzzy Set Theory, Closed Loop Supply Chain Network Design, Probabilistic-Mixed Integer Linear Programming.

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

1.1. Kavramsal Açıklamalar ve Tedarik Zinciri Yönetimi	4
1.2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri	5
1.3. LARG Tedarik Zinciri	9

İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1. COVID-19 Pandemi Sürecinde Tedarikçi Seçimi Problemi İle İlgili Literatür Araştırması	16
2.2. Tedarikçi Seçimi Ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemi İle İlgili Literatür Araştırması.....	21

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ENTEĞRE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ MODEL ÖNERİSİ:

OLASILIKSAL KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

3.1. Problem Tanımı	30
3.2. Matematiksel Model	32
3.3. Tedarikçi Skorları Belirlemede Sezgisel Bulanık Küme Teorisi ve Çok Kriterli Karar Verme	39
3.3.1. Sezgisel Bulanık Küme Teorisi	39
3.3.2. FUCOM Tam Tutarlılık Yöntemi.....	41
3.3.3. Tedarikçi Skoru Belirlemede Karmaşık Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi (COPRAS).....	46

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	
ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMININ BİR HASTANE ZİNCİRİNDE	
UYGULANMASI	
4.1. Matematiksel Modelde Kullanılan Veri Setinin Tanıtılması.....	50
4.2. Karar Kriterleri	54
4.3. Bulanık Sezgisel Küme Teorisi (IFS).....	59
4.4. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	60
4.4.1. FUCOM Yöntemi ile Ana Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	61
4.4.2. Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	62
4.4.2.1. Geleneksel Kriterler için Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	63
4.4.2.2. Sosyal Kriterler için Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	64
4.4.2.3. LARG Odaklı Kriterler için Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	66
4.4.2.4. Pandemi Özel Kriterler için Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	69
4.5. Tedarikçi Skoru Belirlemede Karmaşık Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi (COPRAS).....	74
4.6. Matematiksel Modelin Çözümü ve Sonuçların Değerlendirilmesi	77
4.7. Duyarlılık Analizi	83
4.7.1. Tedarikçi Puanları Etkisi	83
4.7.2. Tedarikçi Kapasitesinin Etkisi	85
4.7.3. Raf Ömrü Etkisi	86
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKÇA	95
EKLER.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	119

KISALTMALAR DİZİNİ

(F)AHP	(Bulanık) Analitik Hiyerarşi Süreci
(F)TOPSIS	(Bulanık) İdeal Çözüme Benzerlik Temelli Sıralama Tekniği
A	Çevik
ANP	Analitik Ağ Süreci
BWM	En İyi-En Kötü Yöntemi
COPRAS	Karmaşık Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı
F-BWM	Bulanık En İyi-En Kötü Yöntemi
FDEA	Bulanık Veri Zarflama Analizi
FGP	Bulanık Hedef Programlama
FLP	Bulanık Doğrusal Programlama
F-MOORA	Bulanık Oran Analizine Dayalı Çok Hedefli Optimizasyon
FPP	Bulanık Tercih Programlama
FST	Bulanık Küme Teorisi
FUCOM	Tam Tutarlılık Yöntemi
G	Yeşil
GP	Hedef Programlama
GRE	Yeşil ve Dayanıklı

IFCM	Sezgisel Bulanık Bilişsel Haritalar
IFCOPRAS	Bulanık Sezgisel Karmaşık Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi
IFS	Bulanık Sezgisel Küme Teorisi
L	Yalın
LARG	Yalın Esnek Çevik ve Yeşil Paradigma
MABAC	Çoklu Öznitelik Tabanlı Karşılaştırma
MILP	Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama
MO-MILP	Çok Amaçlı Karma Tamsayı Doğrusal Programlama
MO-MINLP	Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama
MULTIMOORA	Oran Analizi ve Tam Çarpanlı Form ile Çok Hedefli Optimizasyon
NFGP	Yeni Bulanık Hedef Programlama
OCRA	Operasyonel Rekabetçilik Derecelendirme Analizi
OPA-F	Bulanık Sıralı Öncelik Yaklaşımı
R	Dayanıklı
SB-SLP	Senaryo Tabanlı Stokastik Doğrusal Programlama
SLP	Stokastik Doğrusal Programlama
TFN	Bulanık Üçgen Sayılar

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Yalın ve Çevik Tedarik Zinciri Ayırt Edici Özellikleri	11
Tablo 2. COVID-19 Pandemi Sürecinde Tedarikçi Seçimi Problemi.....	18
Tablo 3. WOS'ta Tedarikçi Seçimi ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemi Üzerine Bir Literatür Taraması.....	26
Tablo 4. Dilsel Terimlerin Sezgisel Bulanık Sayılar Olarak Gösterimi.....	41
Tablo 5. Örnek Olayda Tedarikçi Merkezi Depo ve Geri Dönüşüm Merkezi Gösterimleri	50
Tablo 6. Örnek Olayda Hastane Konumları ve Sayısı	51
Tablo 7. Tedarikçi ve Depo Döğümleri Arası Mesafeler (km)	51
Tablo 8. Depo ve Hastane Döğümleri Arası Mesafeler (km).....	52
Tablo 9. Depolar Arası Mesafeler (km)	52
Tablo 10. Depo ve Geri Dönüşüm Merkezleri Döğümleri Arası Mesafeler (km)	52
Tablo 11. Tedarikçi ve Depo Döğümleri Arası Taşıma Maliyetleri	52
Tablo 12. Depo ve Hastaneler Arası Taşıma Maliyetleri	52
Tablo 13. Depolar Arası Taşıma Maliyetleri.....	53
Tablo 14. Depo ve Geri Dönüşüm Merkezi Döğümleri Arası Taşıma Maliyetleri.....	53
Tablo 15. Birim Kapasite Verileri	53
Tablo 16. On İki Zaman Diliminde Hastaneler için Birim Talep Miktarları	53
Tablo 17. Parametrelere İlişkin Veri Edinme Şekli ve Değerler.....	54
Tablo 18. Tedarikçi Seçiminde Kullanılabilecek Değerlendirme Kriterleri	55
Tablo 19. Karar Verici Bilgileri	59
Tablo 20. Karar Verici Değerlendirmesi	59
Tablo 21. Karar Verici Uzmanların Önem Ağırlıkları	59
Tablo 22. Ana ve Alt Kriterler için Uzman Tercih Sıralaması.....	60
Tablo 23. Uzman Tercih Sıralamaları	61
Tablo 24. Uzman Tercih Değerleri.....	61
Tablo 25. Uzman Tercih Dereceleri	61
Tablo 26. Tedarikçi Seçiminde Geleneksel Boyuta İlişkin Alt Kriter Sıralama ve Tercih Değerleri	63
Tablo 27. Tedarikçi Seçiminde Geleneksel Boyuta İlişkin Alt Kriter Öncelik Dereceleri	63

Tablo 28. Tedarikçi Seçiminde Sosyal Boyuta İlişkin Alt Kriter Sıralama ve Tercih Değerleri	65
Tablo 29. Tedarikçi Seçiminde LARG Odaklı Boyuta İlişkin Alt Kriterlerin Öncelik Sıralamaları.....	66
Tablo 30. Tedarikçi Seçiminde Geleneksel Boyuta İlişkin Alt Kriterlerin Tercih Değerleri	67
Tablo 31. Tedarikçi Seçiminde Pandemi Özel Boyuta İlişkin Alt Kriter Sıralama ve Tercih Değerleri.....	69
Tablo 32. Tedarikçi Seçim Kriterlerine İlişkin Nihai ve Global Ağırlık Değerleri	72
Tablo 33. Global ve Nihai Ağırlıklar Tablosu	73
Tablo 34. Kriterlerin Nihai Ağırlık Değerleri	73
Tablo 35. Başlangıç Karar Matrisi	74
Tablo 36. Normalize Karar Matrisi	75
Tablo 37. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi	75
Tablo 38. Fayda ve Maliyet Odaklı Toplam Ağırlıklı Normalize Değerler.....	76
Tablo 39. Alternatifler için Göreceli Önem Değerleri	76
Tablo 40. İndeks Değerleri	76
Tablo 41. Tercih Sıralaması	76
Tablo 42. Temel Performans Kriterleri	77
Tablo 43. Tedarikçiden Depoya Gelen Parti Sayısı	79
Tablo 44. Depodan Giden Akışlar.....	79
Tablo 45. Depoya Gelen Birim Ürün	80
Tablo 46. Depodan Giden Birim Ürün.....	81
Tablo 47. Senaryo 1 için W1 Deposunun Envanter Takibi.....	82
Tablo 48. Senaryo 1 için W2 Deposunun Envanter Takibi.....	82
Tablo 49. Tedarikçi Puanları Etkisi için Parametre Değişimi.....	83
Tablo 50. Eski Tedarikçi Puanları ile Çözümde Tedarikçilerden Depolara Sipariş Miktarları	84
Tablo 51. Yeni Tedarikçi Puanları ile Çözümde Tedarikçilerden Depolara Sipariş Miktarları	84
Tablo 52. Yeni Tedarikçi Puanları ile Temel Performans Kriterleri.....	85
Tablo 53. Kapasite Gerçekleşme Durumları için Temel Performans Kriterleri.....	86

Tablo 54. Raf Ömrü Parametresi Değişiminde Temel Performans Kriterleri.....	87
Tablo 55. Bir Numaralı Depo için Senaryo İki Çözümlerinde Raf Ömrü Parametresi İki İken Envanter Takibi	89
Tablo 56. Bir Numaralı Depo için Senaryo İki Çözümlerinde Raf Ömrü Parametresi Üç İken Envanter Takibi	89
Tablo 57. İki Numaralı Depo için Senaryo İki Çözümlerinde Raf Ömrü Parametresi İki İken Envanter Takibi	89
Tablo 58. İki Numaralı Depo için Senaryo İki Çözümlerinde Raf Ömrü Parametresi Üç İken Envanter Takibi	90



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Literatür Taramasının Aşamaları	15
Şekil 2. Literatür Taramasında Tedarikçi Seçimi ve Değerlendirmesi için Kullanıldığı Görülen Yöntemler	21
Şekil 3. Örnek Bir Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı	32
Şekil 4. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Aktörleri Yerleşimi	51
Şekil 5. Örnek Akış Diyagramı.....	78



GİRİŞ

Günümüz tedarik zinciri değişim ve dönüşüm süreci içerisinde. Geleneksel dönemlerde iyi fiyatla tedarik tek başına yeterli bir kıstas iken günümüzde sadece bu kriteri değerlendirmek paydaşların ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalmaktadır (Yu ve Solvang, 2020: 1). Maliyetlerin yanı sıra, sosyal sorumluluk bilinci tedarik zinciri faaliyetlerinin çevre üzerine etkilerinin gözetilmesi gibi dikkat edilmesi gereken başka unsurlar da vardır. Karar vericiler ekonomik, çevresel ve sosyal faktörleri göz önüne alan sürdürülebilir bir tedarik zinciri ağ tasarımı sunmak istemektedir (Zhang vd., 2019: 1).

Yakın bir tarih olan 31 Aralık 2019'da ortaya çıkan şiddetli akut solunum sendromu Koronavirüs 2'nin (SARS-CoV-2) neden olduğu Koronavirüs (COVID-19) adlı viral hastalık sürdürülebilir tedarik zincirinin önemini göstermektedir. Pandemi başlangıç dönemi düşünüldüğünde ekonomik-sosyal hayatta, tedarik zinciri ve lojistik alanında aksaklıklar yaşanmıştır. Süreç içerisinde salgını kontrol altına alabilmek amacıyla karantina uygulamaları, lojistik faaliyetlerinde kısıtlamalar, sevkiyatlarda gecikmeler meydana gelmiştir. Karantinaların ve ardından gelen ekonomik hasarın kesin bir bitiş tarihinin olmayışı küresel boyutta önem arz eden bir konu olarak gündeme gelmiştir. Hammade temininde aksaklıklar ve temin sürelerinin belirsizliği durumunun ortaya çıkışıyla birlikte lojistik maliyetleri ciddi oranda artış göstermiş; bu dönemde arz, talep ve lojistik altyapısındaki eşzamanlı kesintiler, tedarikçiler tarafından karşılanmayan teslimat yükümlülükleri, öngörülemeyen müşteri talepleri ve panik satın alma davranışları şirketleri belirsizlikle karşı karşıya bırakmıştır (Amimo vd., 2021: 2; İllahi ve Mir, 2021: 11157; Majumdar vd., 2020: 150; Naz vd., 2021: 2; Tordecilla vd., 2021: 2).

COVID-19'un etkisi ile işçi sağlık sorunları, deniz konteyner hareketlerinin azalması ve ulaşım hizmetlerinin yasal olarak kapanması gibi çeşitli ulaşım riskleri meydana gelmiştir. Bu süreçte karar vericiler sürdürülebilirliği dikkate alırken yaşanan küresel salgında ortaya çıkan belirsizlik durumlarını ve gecikmeleri yönetmek durumunda kalmıştır. Pandemi sürecinde karar vericiler esnek bir planlama yapmak, riskleri değerlendirmek noktasında sınanmıştır. COVID-19 sınırlama önlemleri ile ilişkili aksaklıklar nedeniyle birçok işletme sürdürülebilirliğini kaybetme riski yaşarken

pandemi nedeniyle lojistik yönetiminde ulaşım ve iletişimin hızının önemi bir kez daha gün yüzüne çıkmıştır (Sharma vd., 2020: 3; Illahi ve Mir, 2021: 11171).

COVID-19 salgınının tedarik zinciri ve lojistik faaliyetleri üzerinde gösterdiği etkiye bakıldığında, tedarik zinciri yönetimine yeni bir bakış açısının gerekliliği görülebilir. Bu bakış açısıyla bu çalışmada gereksiz atıkların minimize edildiği (“Lean: yalın”), pazardaki değişime hızlı yanıt becerisinin (“Agile”: çevik) ve değişen çevre şartlarına uyum kabiliyetinin (“Resilient”: esnek) geliştirildiği, çevre üzerine olumsuz etkilerin en aza indirildiği (“Green”: yeşil) bir tedarik zincirinin, LARG tedarik zincirinin, gözetilmesi gerekli görülmektedir.

Çalışmanın başlangıç kısımlarında tedarik zincirini ve tedarikçi seçim problemini anlamak, pandemi sürecinin ve belirsizlik durumlarının etkilerini değerlendirmek ve tedarikçi seçiminde güncel kriterlere yönelik bir inceleme sunmak amaçlanmaktadır. COVID-19 pandemisinde LARG paradigmalarına uygunluk kriterlerini dikkate alan bir tedarikçi değerlendirmesi sunularak kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarım problemine bu hususu entegre eden genel bir matematiksel model önerilmektedir.

Tedarikçi seçimi problemi için kriter önerisi sunarak, dikkat edilmesi gerekli görülen geleneksel, sosyal, LARG odaklı ve pandemi özel kriterlerle tedarikçi seçimine yönelik yöntem önerileriyle bir ağ tasarımı model sunmak çalışmanın ana motivasyon kaynağıdır. Bu motivasyonla çalışmanın yapılanışı şu şekildedir: Araştırma kapsamında tedarik zinciri faaliyetlerinin pandemi sürecindeki durumunu mevcut literatür üzerinden analiz etmek amacıyla birinci bölümde tedarik zinciri hakkında genel bilgiler verilerek kapalı döngü tedarik zinciri ve LARG tedarik zinciri konularına yer verilmektedir. Konunun önemini ve güncelliğini değerlendirmek amacıyla takip eden ikinci bölümde COVID-19 pandemi sürecinde tedarikçi seçim problemi, tedarikçi seçimi ve kapalı döngü tedarik zinciri problemlerini bütünleşmiş bir şekilde ele alan çalışmalara yönelik literatür araştırması sunulmaktadır. Üçüncü bölümde kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımına ilişkin bir model önerisi ve tedarikçi seçimi probleminde kullanımına uygun olan karar destek yöntemleri önerilmektedir. Dördüncü bölümde konunun uygulanabilirliğine ilişkin bir örnek oluşturması amacıyla sağlık sektöründe bir örnek olay incelemesi yer almaktadır. Uygulama kısmında sağlık sektörünün seçilme motivasyonunu literatüre katkı sunma amacı oluşturmaktadır. Yapılan taramada tedarikçi seçimi ve kapalı döngü

tedarik zinciri ağ tasarımı problemlerini birlikte ele alan ve sağlık sektöründe uygulama yapan çalışmalar az olduğu için bu sektör üzerinde bir inceleme sunulmaktadır.



BİRİNCİ BÖLÜM

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

COVID-19 pandemisi etkisi, tedarik zincirinde belirsizlik ve risk durumları hususlarının gündeme gelmesi ile konuyu yeniden ele alma gerekliliğini doğurmuştur. Bu nedenle çalışmanın ilk bölümünde tedarik zinciri yönetimi üzerine genel açıklamalara yer verilecektir. Bölümün devamında tez araştırmasında odak noktalardan birisi olan tersine lojistik ve kapalı döngü tedarik zinciri hususları açıklanacaktır. Ardından LARG'ın paradigmaları; yalın, çevik, esnek ve yeşil boyutları ve LARG tedarik zinciri açıklanacaktır.

1.1.Kavramsal Açıklamalar ve Tedarik Zinciri Yönetimi

Taraflar arasında bilgi ve nakit akışı sağlanırken temin edilen varlığın ara ürüne veya nihai ürüne dönüştürülmesini ve tüketicisine ulaştırılmasını sağlayan ağa, şebekeye tedarik zinciri adı verilmektedir. Tedarik zinciri kavramı işletme ve işletme çevresi arasında gerekli olan iletişimi ve etkileşimi sağlayarak taraflara etkin bir üretim ve dağıtım ağı sunmak amacıyla ortaya çıkmıştır (Karaaslan, 2013: 3). Tedarik zinciri tedarikçi, üretici, toptancı, perakendeci ve müşteri arasında ürün, para ve bilgi akışı sağlayan ağ olarak tanımlanabilir (Karaaslan, 2013: 7).

Tedarik zincirinin bütün elemanları arasında ağ boyunca gerçekleşen kararlar yönetsel bir bakış açısıyla takip edilir. Tedarik zinciri yönetimi tüm tedarik zinciri elemanlarının faydasını düşünerek, hammadde arzından nihai tüketicinin ihtiyacının karşılanması ve hatta sunulan faydaya yönelik geri bildirimin sağlanması aşamasına kadar bütünleşik bir formda planlanır. Tedarik zinciri yönetimi doğru ürünün, doğru zamanda, doğru yerde ve doğru yollarla bir bütün halinde ihtiyaca yönlendirilmesi amacıyla bir planlama sunar.

Tedarik zinciri yönetsel bir yapıda tedarikçilere yarı mamul/mamul sağlayan tedarikçilerden ilgili yarı mamul/mamulü talep eden müşteriye kadar geniş bir halka içerisinde planlama, organizasyon ve kontrol çabalarını bünyesinde barındırır. Tedarik zinciri hammadde temininden nihai ürünün elde edilmesine kadar geçen sürede üretim sürecinde aktif rol alan taşıma, depolama ve bulundurma gibi gerekli bütün faaliyetleri kapsayan bir terimdir (Karagül vd., 2019: 161).

Tedarik zincirini oluşturan halkada rol alan elemanlar arasında üretici, toptancı, lojistik hizmet sağlayıcıları, müşteriler, perakendeciler, parça veya hammadde tedarikçileri bulunmaktadır (Chopra ve Meindl, 2016: 3; Görgülü, 2021: 37). Müşteri istek ve ihtiyaçlarının yerine getirilmesinde doğrudan veya dolaylı olarak görev alan tedarik zinciri hammadde, yarı mamul ve malzeme temini sağlarken temin edilen kaynakların nihai ürüne dönüşümü, değer katımı ve ilgisine ulaştırılması sürecinde yer alan kararları verir (Karaaslan, 2013: 4-5).

Tedarik zincirinde toplama, muayene etme, yeniden işleme, bertaraf etme, yeniden dağıtım kararları verilir. Tedarik zinciri yönetimi kararları arasında kaynak temini, üretim, lojistik, pazarlama, envanter yönetimi, tedarik ve teslimat kararlarının yanı sıra tedarik zincirinde satış tahmini kararlarını ve müşterilere sunulacak olan hizmete ilişkin kararlar bulunmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi ve müşteri ilişkileri yönetimi, talep yönetimi, sipariş yönetimi, üretim ve malzeme yönetimi, tedarikçi ilişkileri yönetimi, geri dönüşüm yönetimi gibi çok fonksiyonlu bir bakış açısı sunar (Croxtton vd., 2001: 14).

Bilgi alışverişi, iş süreci senkronizasyonu, düşünsel sermayenin oluşturulması adımları tedarik zincirinde önem arz eden hususlardır. Tedarik zinciri yönetimi organizasyonlara çevrim zamanı takibi, stok ve ilgili maliyeti takibi, ürün hatalarının tespiti, faaliyet maliyetini azaltıcı etkisi ve müşteri tatminini artırıcı etkisi ile fayda sağlar. Ağ elemanlarına hızlı yanıt kabiliyeti, tutarlılık, konsolidasyon (taşıma birleştirme) ve kalite artış fırsatı sunar (Görgülü, 2021: 6; Karaaslan, 2013).

1.2.Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

Küresel düzeyde çevre sorunlarının artışı, artan nüfusun ihtiyaçları karşılanırken gelecek nesillerin ihtiyaçlarının da gözetilmesi gerekliliği ve ekonomik kalkınmanın sağlanması amacıyla sürdürülebilir kalkınmaya duyulan ihtiyaç artmaktadır. 1987 yılında yayımlanan Brundtland Raporunda sürdürülebilir kalkınma tanımı yapılarak bugünün ihtiyaçları karşılanırken ekonomik kalkınma, sosyal adalet ve çevrenin korunması bileşenlerinin gerekliliği gündeme gelmiştir. Takip eden dönemlerde Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı kararlarında ekonomik kalkınmanın sağlanabilmesi için kaynak kullanımı ve mobilizasyonu maddeleri ile tersine tedarik zinciri yeniden gündeme gelmiştir. Sonraki dönemlerde bütünleşik sistemler (Thierry vd., 1995: 28), tersine lojistik

gibi kavramlarla literatürde yerini almıştır (Özmen, 2013). Özetle seksenli yılların sonunda doksanlı yılların başında gündeme gelen tersine tedarik zinciri, söz konusu çalışmalar akabinde tedarik zinciri ve lojistik alanında yapılan eğitim, araştırma ve yayın faaliyetleri sonucunda; lojistikte yenilikçi çözümler için geri dönüşüm, yeniden kullanım, ürün kullanım ömrünün geliştirilmesi ve yenilenmesi ile ilgili fikirlerin tartışılması nihayetinde gelişerek günümüze ulaşmaktadır.

Endüstriyel üretim süreçlerinde ihtiyaç duyulan yeniden kullanılabilir ürün ve malzemelerin endüstriye geri dönüşünün yönetimine yönelik ilgi artarak devam etmiştir (Moritz Fleischmann vd., 1997: 1). Geri dönüşüm faaliyetlerinin organizasyonu için kullanılan bir strateji olarak tersine tedarik zinciri, geri dönüşümün planlanması, ağ tasarımı, sevkiyatın ve maliyetlerin yönetimi kararlarında geri dönüşlerin yönetimini optimize etmeyi amaçlamaktadır.

Geri dönüşler çeşitli nedenlere dayanır, üretici, dağıtıcı veya müşteri kaynaklı olarak geri dönüşler yaşanabilmektedir. Kalite kontrol sonucu ürün geri çağrılabilceği gibi üretim veya dağıtım hatalarından kaynaklı geri dönüşler de yaşanabilir. Ayrıca modası geçmiş veya rafta kalmış ürünlerin geri çekilmesinden, işlevsel olarak palet, şişe vb. ürünlerin geri dönüşü gibi üretici-dağıtıcı kaynaklı geri dönüşler yaşanabilir. Müşteri kaynaklı dönüşler arasında ise garanti veya servis hizmeti gereği geri dönüşler olabileceği gibi kullanım ömrünü tamamlamış ürün veyahut da atık kullanımına olanak sunan ürünlerin geri dönüşü sayılabilir (Özmen, 2013: 13).

Geleneksel tedarik zinciri ve lojistik uygulamaları tedarik, üretim, dağıtım, tüketim, tasarım, işletim ve kontrol faaliyetlerini organize etmektedir. Tersine tedarik zinciri ise ürün veya hammadde geri çağırma, atık toplama, ayrıştırma, atık depolama ve dağıtım ve atık bertarafı faaliyetlerini gözetmektedir. Toplama, muayene/ayıklama faaliyetlerinin organizasyonunda geri kazanım ya da yeniden dağıtım kararı verilirken karşımıza çıkmaktadır (Çalık, 2016: 26; Özmen, 2013: 17). Geri kazanım faaliyetleri içerisinde ürün yaşam döngüsünü uzatma stratejisi olarak yeniden kullanım, tamir, yenileme ve yeniden üretim kararları da bulunmaktadır. Ayrıca üründen parça alma, ürün fonksiyonel özelliğini kayben ürünün geri dönüşümünü sağlama veya bertaraf kararları da tersine tedarik zinciri uygulamalarındandır (Torğul, 2022: 38-40).

Tersine tedarik zinciri ağı tasarımı kısıtlı kaynakların etkin kullanımını teşvik eden, israfi önleme ve kaynaklardan tasarruf etme amacı taşıyan zor bir problemdir. Geri dönen ürünlere yeniden değer katarak tekrar kullanım imkânı sunmaktadır. Tersine tedarik zinciri ağ tasarım problemleri toplama, atık ayrıştırma, geri dönüşüm ve yeniden üretim merkezleri için malzeme akışı, kapasite yönetimi, yerleşim yeri seçimi ve tesis sayısı kararlarını incelemektedir (Şişman, 2015). Araştırmalar atık oluşumunda tedarik zincirinin azımsanamayacak etkisini gözler önüne sermektedir. Yapılan incelemelere göre gıda sektöründe gerçekleşen atığın %40'ı tedarik zinciri faaliyetleri esnasında gerçekleşmektedir (Van Gogh vd., 2013: 5).

Üretimde önemli ve aktif bir rol oynayan tedarik zincirinin sürdürülebilirliği sağlanmak durumundadır. Kaynakların azalması ve çevreci uygulamaların artışı, geri kazanım faaliyetlerinin gerekliliğini doğurmaktadır. Günümüzde bilinçli tüketiciler, yasalar ve ilgili mevzuatlar yeşil tedarik zincirine duyulan ihtiyacı arttırmıştır (Acar vd., 2022). Doğal çevrenin korunması, hammadde tüketiminin azalması, kıt kaynakların etkin ve verimli kullanımı ile kirliliğin azaltılması amacıyla tersine tedarik zinciri uygulamaları önerilmektedir (Eroğlu ve Şahin, 2023: 21). Organizasyonlar mevcut kaynakları işletme çevresini de gözeterek en uygun şekilde dağıtmakla yükümlüdür (Şahin ve Supçiller, 2015: 91). Kullanım ömrünü tamamlamış ürünler tekrar değer elde etmek için üretim merkezine yönlendirilerek, doğrusal tedarik zinciri dairesel bir hale dönüştürülerek geri kazanılmaktadır (Torğul, 2022: 35).

Geleneksel tedarik zinciri faaliyetlerinde, işletmelerin devamlılığı için ihtiyaç duyulan geri akışları da gözetme ve planlama faaliyetlerini kazandıran kapalı döngü tedarik zinciri bakış açısı gerekli görülmektedir. *Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ) yaklaşımı* ilk kez 1995 yılında “*bütünleşik sistemler*” ifadesiyle “*ürün geri kazanımı ile ilgili stratejik konular*” adlı kaynakta karşımıza çıkmaktadır (Özmen, 2013).

Ürünlerin yaşam ömrü sonunda bertarafı veya yeniden kazanımı hususlarında strateji geliştirmek amaçlı KDTZ uygulamaları karşımıza çıkmaktadır. KDTZ geleneksel bakış açısıyla ileri yönlü akışları planlayan tedarik zinciri ile tersine tedarik zinciri faaliyetlerini de entegre etmektedir. KDTZ ileri yönlü ve geri yönlü tedarik zinciri ağ yönetiminin birlikte ele alındığı sistemler şeklinde tanımlanabilir (Fleischmann vd., 1997; Özmen, 2013; Soysal, 2016: 31).

KDTZ operasyonel ve finansal avantajlar sağlamasının yanı sıra, çevresel, sürdürülebilir ve ekonomik katkılar da sunmaktadır. Geleneksel tedarik zinciri, ekonomi ve verimlilik odaklı olup tek yönlü, geri döndürülemez, beşikten mezara ve tüketici çıkarı gözetilerek kurgulanmaktadır (Torğul, 2022: 37). KDTZ ise ekolojik etkenleri göz önünde bulundurarak şekillenmektedir. KDTZ kaynakları gözeterek bir planlama sunmaktadır. Enerji tasarrufu, CO2 emisyon salınımı, kirlilik azaltma, sosyal açıdan sorumlu bir ağ tasarlama, beşikten reenkarnasyona bakış açısı sunma gibi problemler ile karşımıza çıkmaktadır (Torğul, 2022: 37). KDTZ atık için ikinci hayatı mümkün kılar, döngüsel ürün akışını ön plana alır ve bu nedenle yönetimi nispeten karmaşıktır. KDTZ’nde kontrol önemli bir husustur. Ürün yaşam döngüsü boyunca gerçekleştirilen kurumsal sosyal sorumluluk bilinci ve sürdürülebilir tüketim eğitimi ile teşvik edilebilir. Hükümet mevzuatları ve ilgili yasal düzenlemeler bu konuda bir yaptırım sunabilir (Torğul, 2022: 37; Çalık, 2016: 7).

Kısa vadeli günlük planlama gerektiren KDTZ operasyonel kararları arasında araç rotalama, demontaj faaliyetleri ve parti büyüklükleri çizelgeleme kararları bulunmaktadır. Orta vadeye etki eden, bulunulan çevre şartlarına göre haftalık veya aylık planlama gerektiren taktiksel KDTZ kararları arasında atık ürünün geri dönüşü faaliyetleri ile alakalı miktar, kalite geri kazanım süreci faaliyetlerinin yürütülmesi kararları yer almaktadır. Uzun vadeli, yıllık periyotta gözetim gerektiren stratejik düzeyde KDTZ kararları arasında ağ tasarımı, geri kazanım stratejilerinin belirlenmesi, üretici veya üçüncü firma lojistik sağlayıcıları tarafından ürünün geri toplanması kararları, yasal mevzuatta gerekli politikalar ve organizasyonun bu politikalara cevap verme yeteneğine ilişkin özelliklerin geliştirilmesi kararları gösterilmektedir (Özmen, 2013: 1-2).

Ürünlerin tedarik zincirindeki konumlarına ve organizasyonların geri dönüş politikalarına bağlı olarak KDTZ, müşterilerden veya depolardan gerçekleştirilmektedir. KDTZ, meydana gelen geri yönlü akışların yönetimine karar veren bir planlama stratejisi sunmaktadır. Kapalı döngü tedarik zincirlerinin verimli bir şekilde uygulanması, kullanılmış ve geri kazanılmış ürünlerin ortaya çıkan akışları için uygun lojistik yapıların kurulmasını gerektirmektedir (Moritz Fleischmann vd., 2001: 156).

1.3.LARG Tedarik Zinciri

Dikkatle planlanmış bir tedarik zinciri ağ tasarımı bir firmanın gelişmesinde uzun dönemli etkiye bulunan önemli bir stratejik karar olma özelliğini bünyesinde barındırmaktadır. Müşteri ile ilişkileri güçlendirmek, kaynakların etkin kullanımını sağlamak ve artan karlılık gibi örgütlerce önem arz eden noktalarda firmalara katkı sunmaktadır (Zhang vd., 2019: 2). Tedarik zincirinin performansı cevap verebilirliği ve verimliliği tesis, envanter, taşıma, bilgi kaynak ve fiyatlama bileşenlerinin etkileşim içerisinde yürütülmesini gerektirmektedir (Chopra ve Meindl, 2016: 3). Etkin bir şekilde yönetilen tedarik zinciri bileşenleri, tedarik zincirinin başarısını doğrudan etkilemektedir.

COVID-19 pandemisi sürecinde dengeli bir şekilde LARG paradigmasını tedarik zinciri yönetimine entegre etmek etkin bir tedarik zinciri için gerekliliğini göstermiştir. LARG tedarik zinciri organizasyonlar için sosyal, çevresel ve ekonomik ihtiyaçlara dolayısıyla tedarik zincirinin sürdürülebilirliğine hizmet etmektedir. Yalın, çevik, esnek ve yeşil bir tedarik zinciri ağ tasarımı ile organizasyondaki bütün paydaşlar için katkı sağlanabilirken, ihtiyaçlara cevap verilebilirlik artmakta, tedarik zincirine iyileştirmeler sunulmakta, etkin ve verimli bir ağ tasarımı sağlanmaktadır.

Ağ tasarımında önem arz eden LARG tedarik zinciri için paradigmaları/boyutları detaylandırarak olursak, yalın paradigma ile gerçek katma değeri artırmanın, müşteri ihtiyaçlarını karşılamanın ve karlılığı sürdürmenin bir yolu olarak gereksiz israfın azaltılmasına odaklanılır. İsraf, üretim süreci ve tedarik zinciri için gerekli olan minimum ekipman, malzeme, bileşen ve çalışma süresi dışında kalan her şeydir (Zhou ve Ji, 2015: 1). Yalın tedarik zincirinde sistematik bir bakış açısı ile bakılarak değer yaratmayan bütün faaliyetler ile atıklar belirlenir; sürekli bir değerlendirme ve gelişim süreci ile minimuma indirilmek istenir. Yalın dağıtım, müşteri siparişlerinin alındığı andan itibaren operasyonların akışını hızlandırmak, hataları azaltmak, gereksiz işlemleri ortadan kaldırmak, tesislerin kullanımını en üst düzeye çıkarmak ve envanter yönetimini iyileştirmek için araç ve tekniklerin uygulanması anlamına gelir (Moyano-Fuentes vd., 2019: 20).

Ürün, hizmet, finans ve bilginin tedarik zincirinde yukarı ve aşağı akışlarında israfı minimum tutarak maliyette azalma, kalitede iyileşme ve verimlilikte artış sağlamak amaçlanır. Yalın tedarik zinciri stok seviyesini azaltma, teslim süresini kısaltma,

malİYETLERİ DÜŞÜRME ve böylece daha yüksek müşteri memnuniyeti sağlama imkanı sunar (Rivera vd., 2007: 242). Böylece tüm tedarik zincirinde esneklikte iyileşme ve rekabet gücünde artış sağlanır. Yalın tedarik zincirinde karşılıklı güven ilişkisi, iş birliği, uzun vadeli ilişkiler ve hızlı bir bilgi akışı gereklidir. Sınırlı sayıda tedarikçi ve düşük dikey entegrasyon da yalın tedarik zincirinin gereklilikleri arasındadır (Moyano-Fuentes vd., 2019: 21).

Alt dağıtımıcılarda ve perakendecilerde yalınlığın olmaması, bilgi bozulmasına ve talep abartmasına yol açabilir. Bu durum üreticide önemli miktarda stok birikmesine yani tedarik zincirinde kamçı etkisine neden olabilir (Zhou ve Ji, 2015: 2). Bu nedenle yalın tedarik zincirinde nihai müşterilerin talepleri, fırsatları, sorumlulukları vb. dahil olmak üzere tedarik zinciri boyunca bilgilerin şeffaf olması gerekir. Böylece tüm tedarik zinciri üyeleri kendilerini müşteri talebiyle uyumlu hale getirirken, genel faydaya katkı sunabilir ve kamçı etkisi önlenmiş olur (Rivera vd., 2007: 248).

Minimum hammadde, süreç içi çalışma ve bitmiş ürünle mal ve hizmetin tam olarak ihtiyaç duyulduğunda hazır olması gerekliliğini teşvik eden tam zamanında üretim felsefesi yalın yaklaşım örneği olarak verilebilir. Bir diğer yalın paradigma örneği ise kümelenme stratejisidir. Küçük parti üretimi ve sık teslimatları gerektiren tesislere yakın lojistik parkların kurulumunu destekleyen kümelenme stratejisi, şirketler arasında güveni teşkil ederken hacim ve çeşitlilik açısından tedarik zincirine iyileştirmeler sunmaktadır (Azevedo vd., 2016: 1473).

Klasik yalın üretim anlayışında tek bir organizasyona odaklanılırken yalın tedarik zinciri ile birden fazla organizasyon için yalın anlayış sürece dahil edilir. Yalın üretim uygulamaları içe dönüktür ve uzman odaklı projeler temelinde yürütülür. Yalın tedarik zinciri uygulamaları ise dışa dönüktür ve tam iş birlikleri temelinde yürütülür (Rivera vd., 2007: 248)

LARG paradigmalarından ikincisi olan çeviklik, organizasyon yapıları, bilgi sistemleri, lojistik süreçleri ile yakından ilişkili bir yetenektir. Çeviklik, bir organizasyonun hem hacim hem de çeşitlilik açısından talepteki değişimlere hızlı yanıt verme yeteneği olarak tanımlanabilir (Christopher, 2000: 37). Çevik tedarik zinciri, hızlı büyüme ve sürekli değişen pazara yanıt verme stratejisi olarak diğer LARG paradigmaları gibi sürdürülebilirlik odaklı bir paradigmadır. Bu paradigmada amaç tedarik zincirine

maliyet, zaman, etkinlik ve dayanaklılık kazandırmaktır. Çeviklik paradigması için işbirlikçi ilişkiler, süreç entegrasyonu, bilgi entegrasyonu ve müşteri/pazar duyarlılığı gerekmektedir (Lin vd., 2006: 286). Tedarik zinciri aktörlerinin gerçekleşen talebi okuyabildiği ve yanıtlayabildiği, alıcılar ve tedarikçiler arasında veri paylaşmak için bilgi teknolojisinin kullanıldığı sistemlerde çeviklik sağlanabilir (Bruce vd., 2004: 154). Çevik tedarik zincirinde sık ürün tanıtımları, gelişmiş müşteri hizmetleri, iş birlikleri, koordineli-bütünleşik çalışma gerekli görülür. Çok ürünlü üretim sistemleri üretimle senkronize taşımacılık çeviklik örneği olarak gösterilebilir.

Çevik tedarik zincirinde talebin değişken ve önceden tahmininin zor olduğu çevresel durumlar ön plandadır. Pandemi sürecinin açıkça gösterdiği gibi piyasa koşulları değişken ve öngörülemeyen talebi bünyesinde barındırır. İş dünyasındaki belirsizlikler, müşteri gereksinimleri, rekabet kriterleri, pazarın yapısı ve meydana gelen teknolojik yenilikler çevik tedarik zincirine duyulan gereksinimi artırır (Christopher, 2000: 37).

Yalın ve çevik paradigmaları kıyaslamak paradigmaların anlaşılabilirliğini artırır. Bu nedenle Tablo 1'e bakmak yararlı olacaktır. Tabloda yer alan iki paradigma, ayırt edici noktalar açısından yalın tedarik ve çevik tedarik için değerlendirilmiştir. Yalın tedarik zincirinde geçmiş dönem verileri tahmin yöntemleri ile değerlendirilip talebi öngörmek için kullanılırken, çevik tedarik zincirinde geçmiş veriler bir yol gösterici olarak danışman mahiyetinde kullanılmaktadır.

Tablo 1. Yalın ve Çevik Tedarik Zinciri Ayırt Edici Özellikleri

Ayırt Edici Nitelikler	Yalın Tedarik	Çevik Tedarik
Tipik ürünler	Ürün	Moda ürünü
Pazar yeri talebi	Öngörülebilir	Değişken
Ürün çeşitliliği	Düşük	Yüksek
Ürün yaşam döngüsü	Uzun	Kısa
Müşteri odağı	Maliyet	Kullanılabilirlik
Kar marjları	Düşük	Yüksek
Baskın maliyetler	Fiziksel maliyetler	Pazarlanabilirlik maliyetleri
Stok	Uzun vadeli sözleşmeli	Anında ve değişken
Satın alma politikası	Mal satın al	Atama kapasitesi
Bilgi zenginleştirme	Yüksek arzu edilen	Zorunlu
Tahmin mekanizması	Algoritmik	Danışman

Kaynak: (Bruce vd., 2004: 155; Mason-Jones vd., 2000: 56).

Üçüncü paradigma olan tedarik zincirinde esneklik ile bir kesintiden orijinal veya arzu edilen duruma zamanında ve uygun maliyetle dönme, iyileşme yeteneği ifade edilir (Mahmoudi vd., 2021: 3; Tukamuhabwa vd., 2015: 5592). Kabul edilebilir bir süre içinde

ve maliyetle sistemin bozulan durumdan arzu edilen duruma getirilmesi yeteneğidir. Potansiyel bir tehdit karşısında bozulma etkisini azaltarak etkinlik düzeyini artırmak da bir esneklik becerisidir (Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021: 25). Esneklik paradigması, sürdürülebilir kalkınma, risk ve afet yönetimi ve tedarik zincirinde kesinti durumları bağlamlarıyla yakından ilişkilidir (Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021: 3).

Lojistik hizmet sağlayıcıları, olumsuz olaylar tarafından tetiklenen belirsizlikler ve risklerle yüzleşmek için esnekliğin nasıl sağlanacağını öğrenmiştir (Gultekin vd., 2022: 40). Bir kesinti durumunda stoksuz kalma oranını düşürmek için stratejik stok bulundurmak, esnek taşımacılık (çoklu modda taşımacılık, taşıma yönteminin çeşitlendirilmesi, alternatif güzergahların kullanılması gibi) bu uygulamalara örnektir (Mohammed, Yazdani, Oukil, ve Santibanez Gonzalez, 2021: 8). Kesintisiz bir malzeme akışı sağlamak esneklik için önemlidir (Carvalho vd., 2014: 955). Temin süresinin azaltılması, tahsis edilmiş bir transit filosunun bulunması, esnek kaynak kullanımı, tedarikçilerin değiştirilmesine izin verecek kaynak bulma stratejileri de tedarik zincirinin esnekliğine katkı sunan diğer uygulamalardır (Azevedo vd., 2016: 1473).

Son paradigma olan yeşil tedarik zincirinde, ürün yaşam döngüsü boyunca her aşamada ürün ve hizmetlerin üretim sürecinde çevreye olumsuz etkisinin en aza indirilmesi ile operasyonların atık maliyetlerinin değerlendirilmesi gerekir (Mahmoudi vd., 2021: 3; Mota vd., 2016: 537). Tedarik zinciri ağ tasarımıyla yeşil tedarik zincirinin boyutlarıyla (maliyet, zaman/esneklik, lojistik ağ, depolama ve e-ticaret) birlikte değerlendirilmesi ve çevre dostu uygulamalar geliştirilmesi önerilir (Azevedo vd., 2016: 1473).

Yeşil tedarik zincirinde müşteri memnuniyetini artırmak, çevresel maliyetleri ve iş atıklarını azaltmak için çevre dostu ambalajlama stratejisinden yararlanılabilir. İade edilebilir, parçalanabilir veya geri dönüşümü kolay ambalaj malzemelerinin kullanımı ile yeşil tedarik zincirine katkıda bulunulur (Carvalho vd., 2014: 3). Tersine lojistik uygulamaları ve tedarikçilerle ve müşterilerle yapılan çevresel iş birlikleri, enerji tüketiminin azaltılması da yeşil tedarik zincirine yönelik uygulamalardandır (Srivastava, 2007: 18). Bir yeşil paradigma örneği olarak tüm paydaşların daha çevre dostu uygulamalar benimsemesini gerekli gören ISO 14001 sertifikası, kaynak kullanımının ve

israfın azaltılmasını teşvik ederek kalitenin iyileştirilmesine katkıda bulunur (González-Benito ve González-Benito, 2008: 60). Literatürde yeşil ve esnek paradigmalar “gresilience” kavramı ile birlikte de değerlendirilmektedir. Çevresel olarak sürdürülebilir bir tedarik zincirinin, bir kesinti durumunda orijinal veya daha arzu edilen (iyileştirilmiş) durumuna zamanında ve uygun maliyetle dönme yeteneği olarak tanımlanır (Mahmoudi vd., 2021: 3). Çeviklik ile yalın yeteneklerin birleştirildiği “*leagile*” tedarik zincirinde de iki paradigma birlikte ele alınmaktadır (Bruce vd., 2004: 155; van Hoek, 2000: 196; Mason-Jones vd., 2000: 55).

LARG paradigmalarını dikkate alarak tasarlanan bir ağda; i) her türlü israf (ürün kalitesinden kaynaklanan israflar, zaman israfı, maliyet israfı vb.) azalır; ii) şirketlerin piyasadaki öngörülemeyen değişikliklere hızlı ve uygun maliyetli yanıt verme yeteneği gelişir; iii) beklenmedik olaylara anında tepki vermek için otomatik mekanizmalar kullanılır; iv) süreçlerin çevresel olumsuz etkileri azalır (Carvalho vd., 2014: 956-957). LARG paradigmalarının tedarik zincirine uyarlanması, sistemin zaruri kesintilere neden olan öngörülemeyen koşullarda kriz yönetimine destek olur, karar vericilerin operasyonel eylemlere dinamik olarak tepki vermesine olanak tanır (Azevedo vd., 2016: 1477; Carvalho vd., 2014: 956).

Tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliği, farklı ve bazen birbiriyle çelişen faktörlerin bir kombinasyonunun iyileştirilmesi anlamına gelir (Bloemhof ve Soysal, 2017: 398). Benzer bir mantıkla paradigmaların tamamını aynı anda ve aynı oranda kapsamaya çalışmak her tedarik zinciri için işlevsel olmayabilir. Tedarik zinciri ihtiyaçları firmalar için farklılık gösterir. Bu nedenle LARG paradigmaları arasında bazı değiş-tokuşlar yapılarak işlevsellik sağlanabilir. Örneğin: yalın ve yeşil paradigmalar envanter seviyesinin en aza indirilmesini öngörürken, esneklik paradigmasına uygunluk için tercih edilen stratejik stok yönetimi ise bu duruma aykırılık teşkil etmektedir. Envanter ve stok seviyesinin azlığı malzeme tedarikinin kesintiye uğradığı beklenmedik durumlara (doğal afet, salgın gibi) karşı tedarik zincirini savunmasız bırakabilir (Azevedo vd., 2016: 1498; Carvalho vd., 2014: 956). Bu nedenle, tedarikçiler LARG’da en iyi kombinasyonu bularak tedarik zincirinde bir denge kurmak durumundadır.

İyi bir kombinasyonla tasarlanmış LARG tedarik zincirinde tedarikçi seçim problemi önemli bir adımı temsil eder. Küreselleşme ve stratejik kaynak sağlama

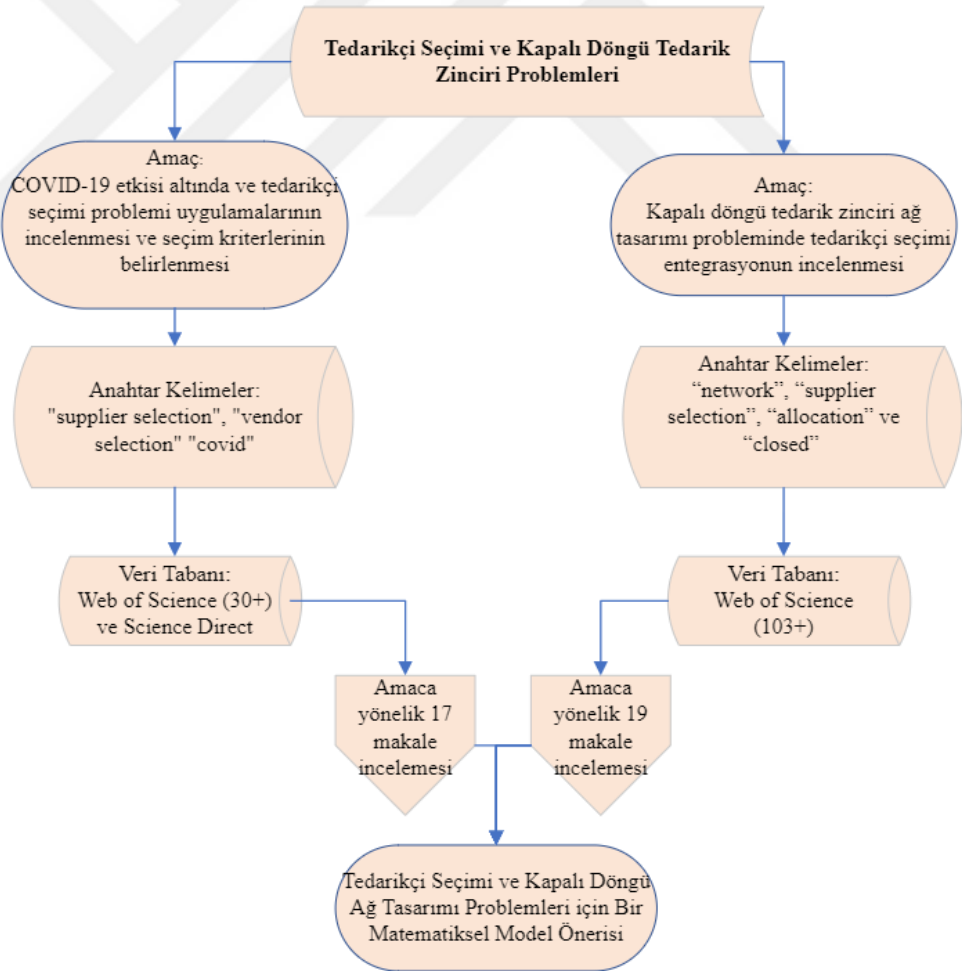
ilkelerine uygun olarak iyi tedarikçilerin seçilmesi, tedarik zincirinin başarısı ile yakından ilişkilidir (Mohammed, Yazdani, Oukil, ve Santibanez Gonzalez, 2021: 958). Tedarik zincirinin başarısını artırmada önemli bir adım olan tedarikçi seçim problemi ve COVID-19 pandemisinin tedarikçi seçimine etkisi takip eden bölümde incelenecektir.



İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Çalışmanın ikinci bölümünde pandemi sürecinde tedarikçi seçim problemi incelenmektedir. bu amaçla çalışmanın bu kısmında tedarikçi seçimi ve kapalı döngü tedarik zinciri problemlerini birlikte ele alan çalışmalar değerlendirilmektedir. Yapılan literatür araştırması iki aşamalı olarak planlanmıştır. İlk aşamada, tedarikçi seçimi ve COVID-19 pandemisi ile ilgili çalışmalardan hareketle pandemi vb. olağanüstü durumlarda karar vericilerin dikkate alması gereken kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. İkinci aşamada ise, tedarikçi seçimi ve kapalı döngü ağ tasarım problemleri için bir araştırma ile söz konusu iki problemin bütünleşik halde düşünüldüğü literatür incelenmiştir. Literatür incelemesi için izlenen yol Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Literatür Taramasının Aşamaları

2.1. COVID-19 Pandemi Sürecinde Tedarikçi Seçimi Problemi ile İlgili Literatür Araştırması

Son dönemlerde pandemi sürecinin tedarik zincirine etkilerini ortaya koymak için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu kısımda, çalışma kapsamında tedarikçi seçiminde dikkat edilecek hususları belirlemek ve karar problemine dahil etmek amacıyla 2022 yılına kadar olan makale çalışmaları ele alınmış olup, kitap bölümü, konferans bildirisi, tez, teknik notlar taramada kapsam dışı bırakılmıştır. Konuya ilişkin araştırma kapsamında 2021 yılında Web of Knowledge veri tabanında COVID-19 ve tedarikçi seçimi problemi üzerine tarama yapılmış 30 makale incelenmiş ve 7 tanesinin seçim kriterleri önererek araştırmamıza katkı sunduğu görülmüştür. Ardından bakış açısını genişletmek amacıyla Science Direct veri tabanı taramasıyla araştırma genişletilmiş ve amaca uygun olarak detaylı incelenen makale sayısı 17'ye çıkarılmıştır. “Web of Science (WoS)” ve “Science Direct” veri tabanlarında “*supplier selection, vendor selecton, procurement*” ana başlığı altında çalışılan makalelerde “*covid*” ve “*pandemic*” anahtar kelimeleri ile tarama yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Literatürde COVID-19 ve tedarik zinciri literatür araştırması sunan makalelerde sağlık sektörü üzerine yoğunlaşan çalışmalar karşımıza çıkmaktadır. Amimo vd. (2021), Afrika’da COVID-19 çıkış noktasıyla, evrensel sağlık sigortası için temel ilaçlara ve aşılar eşit erişime yönelik riskleri değerlendirmek amacıyla Ekim 2020'ye kadar olan tıbbi veri tabanlarında gri yaklaşıma ilişkin literatürü incelemiştir. Çalışmada uluslararası teknoloji transferi ve araştırma ve geliştirmeye önemli yatırım ihtiyacının yanı sıra sürdürülebilir sağlık finansmanına olan ihtiyaç vurgulanmaktadır. Benzer bir biçimde düşük ve orta gelirli ülkeler için COVID-19 aşılara adil erişim için katkı sunan faktörlerin belirlenmesi amacıyla da bir literatür incelemesi yapılmıştır (Peacocke vd., 2021).

Peacocke vd. (2021), COVID-19 aşılara erişimde dört potansiyel faktör sunmuştur. Bunlar; küresel anlaşmalar, ikili sözleşmeler ve aşı fiyatları, teknik bilgi paylaşımıyla desteklenen aşı üretimi ve ülkelerin aşı programlarını uygulamadaki gücüdür. Ghaffari vd. (2021), hızlı tanı kitlerinin seçimi ve tedariki konusuna yönelik bir inceleme sunmuştur. Riera vd. (2021), pandemi nedeniyle yaşanan gecikmelerin ve kesintilerin kanser hastalığına etkisini incelemiştir. Hatap vd. (2021) ise pandeminin

gelişmekte olan ülkelerdeki hayvancılık sistemlerine etkisi ile ilgili literatür araştırması yapmıştır.

Literatür araştırması yapılan bazı çalışmalarda sağlık sektöründen ziyade genel etkileri değerlendirme odaklı olarak konuya yaklaşmıştır. Illahi ve Mir (2021), COVID-19 etkisinde lojistik davranışları, mevcut amaçlar, kısıtlar, optimizasyon teknikleri, problem türleri, belirlilik durumu, tedarik zincirinde koordinasyonun önemi üzerine yoğunlaşmışlardır. Naz vd. (2021), COVID-19 dönemi aksaklıklar, riskler ve kesintiler sonrası dönem için yapay zekanın tedarik zinciri esnekliğine etkisi üzerine yoğunlaşarak bir inceleme sunmuşlardır.

Su vd. (2021), sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında yapısal, kavramsal ve entelektüel düzeyde yapılan incelemeler ve ortaya çıkan eğilimlerin aydınlatılması amacıyla ortak kelime analizi ve ortak alıntı analizi yapmıştır. Pandeminin etkisi ile yaşanan yüksek düzeyde belirsizlikle mücadele için talep belirsizliği, paydaşların (rakipler, son kullanıcılar veya hükümetler) baskısıyla zorlu bir pazarın mevcudiyeti, itibar riski, kurumsal sosyal sorumluluk hususlarının tedarik zincirinde önem arz eden konular olduğu bulgusu sunulmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalardan da görülebileceği üzere COVID-19 salgını nedeniyle arzda yaşanan kesintilerden yola çıkarak tedarik zinciri için belirsizlik ve eksiklikten kaynaklanan problemler tedarikçi seçim problemini de etkisi altına almıştır. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde belirsizliklerin güncel literatürdeki yeri, belirsizlikte karar almak için yararlanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ve salgın sürecinde ön plana çıkan tedarikçi seçim kriterleri sonraki çalışmalara yön göstermesi açısından değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Tablo 2’de görülebileceği gibi, güncel bazı çalışmalarda LARG paradigmaları tedarikçi seçim sürecinde doğrudan seçim kriteri olarak yer alırken, bazılarında dolaylı olarak yer almakta veya önem verilmemektedir. Tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesi problemine yönelik COVID-19 pandemi etkisi değerlendirilirken, ÇKKV yöntemlerinden sıklıkla yararlanılmaktadır.

Tablo 2’de yer alan çalışmalardan Petrudi vd. (2021), sosyal sürdürülebilirliğe odaklanan bir tedarikçi değerlendirmesi sunarak, COVID-19 döneminde tedarikçi seçiminde gerekli kriterleri ele almıştır. Ilyas vd. (2021), tedarikçiler için potansiyel

riskleri sıralamak amacıyla bir araştırma yapmış ve kümeleme analizi ile literatürden elde edilen riskleri değerlendirmiştir.

Tablo 2. COVID-19 Pandemi Sürecinde Tedarikçi Seçimi Problemi

Makale	Uygulama Alanı	LARG Boyutu	Yöntem	Belirsizlik
Mahmoudi vd., (2021)	Elektrikli otomobil üretim şirketi	GRE	OPA-F, Bulanık doğrusal programlama	Bulanık üçgen sayılar
Mohammed vd., (2021)	Senaryo tabanlı	R	DEMATEL, MABAC, OCRA, TOPSIS, VIKOR	-
T. Chen vd., (2021)	Tayvanlı bir dökümhane	G	Bulanık TOPSIS, FWI	Bulanık geometrik ortalama
Fallahpour vd., (2021)	Bir gıda işleme şirketi	G	FAHP-FPP, F-MOORA	Bulanık sayılar
Orji ve Ojadi, (2021)	Nigerian üretim sektörü	G	Bulanık AHP, MULTIMOORA	Bulanık üçgen sayılar
Goker, (2021)	Türk beyaz eşya endüstrisi	A	IFCM, IFCOPRAS	Bulanık küme teorisi
U-Dominic vd., (2021)	Üretim endüstrisi	G	AHP	-
Ilyas vd., (2021)	Otomotiv endüstrisi	-	BWM, FTOPSIS	Bulanık sayılar
Petrudi vd., (2021)	İran'daki bir kiremit üreticisi	-	BWM, Gri İlişkisel Analiz	Gri sayılar
Afrasiabi vd., (2022)	İran'daki en büyük endüstriyel vana, bağlantı parçası ve boru üreticisi	R	Bulanık BWM, Gri İlişkisel Analiz, TOPSIS	Bulanık üçgen sayılar ve gri sayılar
Pratap vd., (2021)	Ürün bazlı bir şirket örneği	-	Veri Zarflama Analizi	-
Shao vd., (2022)	Örnek olay değerlendirme	R, G	Çok amaçlı optimizasyon modeli	-
Shang vd., (2022)	Çin'de bir uluslararası forklift üreticisi	G	Grup BWM, Bulanık Shannon Entropi, MULTIMOORA	Bulanık sayılar
Tavana vd., (2021)	Kuzey Pennsylvania'da orta ölçekli bir imalat şirketi	-	Bulanık BWM, MULTIMOORA, COPRAS	Bulanık küme
Wang vd., (2022)	Tekstil endüstrisi	G	TOPSIS, Bulanık AHP	Bulanık üçgen sayılar
Magableh ve Mistarihi, (2022)	Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgesi için temsili bir örnek	R	ANP-TOPSIS	-

GRE: Yeşil ve Dayanıklı, **L:** Yalın, **A:** Çevik, **R:** Dayanıklı, **G:** Yeşil, **OPA-F:** Bulanık Sıralı Öncelik Yaklaşımı, **DEMATEL:** Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı, **MABAC:** Çoklu Öznitelik Tabanlı Karşılaştırma, **OCRA:** Operasyonel Rekabetçilik Derecelendirme Analizi, **(F)TOPSIS:** (Bulanık) İdeal Çözüme Benzerlik Temelli Sıralama Tekniği, **(F)AHP:** (Bulanık) Analitik Hiyerarşi Süreci, **FPP:** Bulanık Tercih Programlama, **ANP:** Analitik Ağ Süreci, **F-MOORA:** Bulanık Oran Analizine Dayalı Çok Hedefli Optimizasyon, **MULTIMOORA:** Oran Analizi ve Tam Çarpanlı Form ile Çok Hedefli Optimizasyon, **IFCM:** Sezgisel Bulanık Bilişsel Haritalar, **IFCOPRAS:** Bulanık Sezgisel Karmaşık Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi, **BWM:** En İyi-En Kötü Yöntemi.

Pratap vd. (2021), e-ticaret yapabilen tedarikçiler için temel performans faktörleri belirlenerek tedarikçi değerlendirmesi sunarken, girdi maliyeti minimizasyonu ile çıktı kalitesi maksimizasyonunu sağlayan bir model önerisi sunmuştur. Tavana vd. (2021), ÇKKV yöntemleri ile tedarikçi sıralaması sunmuş ve tüm tedarikçileri tek seferde değerlendirmek için bir sezgisel model önerisinde bulunmuştur.

Goker vd. (2021), COVID-19 pandemisinin çevik tedarikçi değerlendirme/seçim kararı üzerindeki etkilerini anlamak için bir senaryo analizi sunarken; Mahmoudi vd. (2021), tedarik zincirinde bir kesinti olması durumunda “gresilient” yani yeşil ve esnek tedarik zincirine entegrasyonu ve bu süreçte yenilikçi teknolojinin yeri ve önemini incelemiştir. Mohammed vd. (2021), esnek bir tedarik zinciri inşası ile kaynak sağlama maliyetlerini indirirken yıkıcı tehditler karşısında potansiyel kayıpları önlediğini vurgulayarak temel esneklik kriterlerini ve geleneksel kriterleri tanımlamıştır. Bu çerçevede esnek tedarikçi seçimi problemi çalışılmıştır. ÇKKV yöntemleri ile belirlenen tedarikçi sıralaması arasındaki korelasyon Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı Yaklaşımı ile sunulmuştur. Afrasiabi vd. (2022), sürdürülebilirlik odaklı ve esnek bir tedarikçi seçimi için karar vericilere yol gösterme amaçlı bir çalışma sunmuştur. Shao vd. (2022), COVID-19 döneminde tedarik kesintisini dikkate alarak sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi sorununu çözmeyi amaçlayan bir çok amaçlı model önerisinde bulunmuştur. Fallahpour vd. (2021), Chen vd. (2021), U-Dominic vd. (2021), (Shang vd., 2022), Wang vd. (2022) yeşil tedarik zincirini tedarikçi seçim probleminde ön plana alan diğer çalışmalardır.

Çalışmalarda belirsizliğin modele dahil edildiği durumlarda bulanık veya gri sayılar kullanılmıştır. Araştırmaların yüzde 76’sında bulanık sayılar tercih edilmiştir. Bulanık sayılar, alternatiflerin karşılaştırmasında kullanılan kriterlere ilgili alternatifin değeri olarak atanmakta ve karşılaştırma matrisini belirlemek için kullanılmaktadır. Uzman görüşü yardımıyla alternatif tedarikçinin seçim kriterleri için değerlendirmeleri bulanık sayılarla modele dahil edilmektedir (i alternatifinin j kriteri için). Petrudi vd., (2021) çalışmalarında belirsizlik durumunu gri sayılarla ele alırken, Pratap vd. (2021), Shao vd. (2022) ve Magableh ve Mistarihi (2022) bu durumları modele dahil etmemiştir.

COVID-19, araştırmalarda aksaklık (Mahmoudi vd., 2021), belirsizlik (Fallahpour vd., 2021) ve kesinti (Afrasiabi vd., 2022; Shao vd., 2022) unsuru olarak

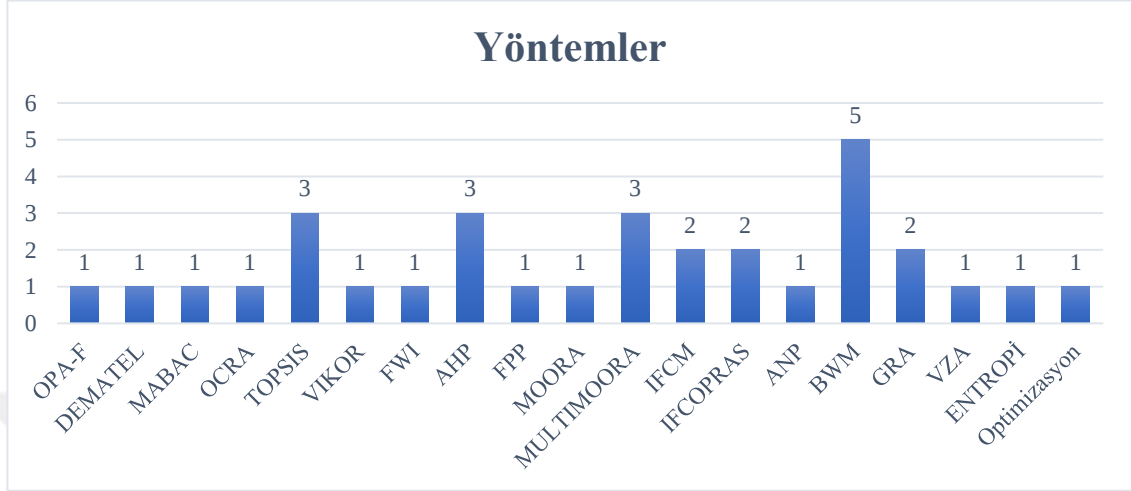
tanımlanmış ve bu nedenle seçim problemi için ek kriterler (Orji ve Ojadi, 2021) gündeme getirilmiştir. Pandeminin tedarik zincirine etkisi (Guan vd., 2020; Magableh ve Mistarihi, 2022; Tavana vd., 2021; U-Dominic vd., 2021), e-ticaret (Pratap vd., 2021) ve risk yönetimi (Shang vd., 2022) ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Sağlık bakımından tedarikçi performansı değerlendirmesi (Mohammed vd., 2021) yapılmıştır. Pandemi sosyal sürdürülebilirlik uygulamalarının kullanılmasının önemini vurgulayan bir gelişme olarak nitelenmiş (Petrudi vd., 2021) ve çevik tedarikçiye yönelimi motive eden (Goker, 2021), kırılganlık unsuru (Ilyas vd., 2021) olarak değerlendirilmiştir.

Tedarikçi seçim süreci, karar vericiler için rekabetçi bir tedarik zincirine ulaşma yolundaki kilit faaliyetlerden biridir. Tedarikçi seçim süreci dört adımdan oluşur: Problemin tanımlanması ile başlayan karar verme süreci, değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi, potansiyel tedarikçilerin ön yeterliliğinin yapılması ve en iyi tedarikçinin/tedarikçilerin seçilmesi ile devam etmektedir (De Boer vd., 2001; J. Chen vd., 2018; Amin ve Zhang, 2013: 1407).

Seçilen tedarikçinin işletme amaçlarına, doğal çevre koşullarına ve tedarik zincirinin yapısına uygun olması, seçim kriterlerinin doğru belirlenmesine bağlıdır. İyi değerlendirilmesi gereken bir süreç olarak tedarikçi seçimi, son yirmi yılda derinleşmiştir. Geleneksel değerlendirme araçlarına (fiyat ve kalite odaklılık gibi) ek olarak nicel ve nitel faktörlerin sürece dahil olması, seçim sürecini karmaşık hale getirmiştir (Mohammed vd., 2019). Bu çalışma kapsamında COVID-19 etkisiyle meydana gelen lojistik belirsizliği durumunda tedarikçi seçiminde değerlendirilmesi önerilen kriterler çalışılmıştır. Karar vericilere yol gösterici olması amacıyla genel kapsayıcı kriterler değerlendirilmiş ve ilerleyen bölümlerde karar probleminde kullanılmıştır. LARG paradigmasının ayrı olarak değerlendirilmesi gerekliliği ile taramada paradigmaları dikkate alan çalışmalara özen gösterilmiştir.

COVID-19 dönemi, tedarikçi seçim problemini ele alan yöntemler değerlendirildiğinde, bazı çalışmalarda bulanık yöntemlerin tercih edildiği (OPA-F (Mahmoudi vd., 2021), FWI (Chen vd., 2021), IFCM (Fallahpour vd., 2021; Wang vd., 2022), IFCOPRAS (Tavana vd., 2021; Wang vd., 2022), FPP- MOORA (Fallahpour vd., 2021)), bazı çalışmalarda ise gri ilişkisel analiz yönteminin tercih edildiği görülmektedir (Afrasiabi vd., 2022; Petrudi vd., 2021). Belirsizlikle baş etmede kesin olmayan

verilerden bulanık ve gri yaklaşımlarla değerlendirme sunulabildiği gibi deterministik, net verilerle de çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 2’de görülebileceği üzere, BWM (5), TOPSIS (3), AHP (3), MULTIMOORA (3) sıklıkla tercih edilen yöntemlerdir.



Şekil 2. Literatür Taramasında Tedarikçi Seçimi ve Değerlendirmesi için Kullanıldığı Görülen Yöntemler

Yapılan literatür taramasında; IFS, FUCOM ve COPRAS yöntemlerinin bütünleşmiş bir şekilde ele alındığı araştırmalara rastlanmamıştır. Probleme uygun olması nedeniyle bu üç yöntem ilerleyen bölümlerde görülebileceği üzere tedarikçi değerlendirme amacıyla tercih edilmektedir.

Literatürde tedarikçi seçimi probleminde COVID-19 krizinin etkisine ve LARG tedarik zinciri yapısına yönelik bir boşluk bulunmaktadır. Buradan hareketle bu çalışmada çok kriterli karar verme ile bütünleştirilen matematiksel modellere yalın, çevik, esnek ve yeşil bir tedarik zinciri tasarımı kavramları eklenmiştir.

2.2.Tedarikçi Seçimi ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemi ile İlgili Literatür Araştırması

Tedarik zinciri ağı, tedarikçiden hammaddenin temin edilmesinden başlayarak, ürünün takip eden yaşam döngüsünde gerekli aktörlerin belli bir yapı biçiminde tasarlanmasını gerektirir. Oldukça geniş bir ağda ürünün dönüşüm süreci takip edilerek nihai tüketicisine ulaşımı ve hatta tüketim sonrası geri bildirim, iade, atık ürünün takibi vb. süreçleri planlanır. Stratejik kararlar arasında sayılan ağ tasarım kararları uzun vadeli etki eden ve iyi bir planlama gerektiren kararlardır (Şişman, 2015: 41).

Günümüzde, tedarik zinciri yönetiminin önem kazanması ile zincirde yer alan aktörler bazı sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Tedarik zincirinde ürün, para ve bilgi akışı sağlanırken kapalı döngü takibin sağlanması, hizmet sağlayıcılarından en uygun tedarikçilerin seçilmesi yaygın olarak karşılaşılan problemlerdendir. Stratejik kararlardan olan ulaştırma modu seçimi, üretim bileşiminin belirlenmesi ve üretim sisteminin seçimi, dağıtım stratejisinin belirlenmesi kararlarının yanı sıra müşteri hizmet düzeyinin denetimini sağlamak ve sürekli hale getirmek amacıyla lojistik hizmet takibi, stok takibi, rakiplerin hizmet düzeyleri takibi vb. taktiksel kararların takibi de yapılır. Firma ve lojistik stratejileri eşanlı olarak değerlendirilir.

İleri ve geri yönlü akış olmak üzere iki bileşeni bütünleşmiş halde bünyesinde barındıran KDTZ, ağ tasarımı ileri yönlü akışı destekleyen ilk bileşen geleneksel Tedarik Zinciri (TZ) noktalarıdır. Geleneksel TZ ağ tasarım elemanları arasında tedarikçi, üretim tesisi, dağıtım noktaları ve talep merkezleri bulunmaktadır. KDTZ ikinci bileşeni, ürün ve atıkların geri dönüşünü takip eden sistem elemanları arasında geri dönüşüme entegre dağıtım, geri kazanım ve toplama merkezleri gelmektedir.

Dağıtım kanalında görevli üyelerin (tedarikçi, üretici, perakendeci vb.) belirlenmesi kararları da yer almaktadır. Planlanan üretim ve lojistik hizmetlerinde yararlanılan tesislerin kapasitesi, sayısı ve kuruluş yerinin belirlenmesi, aktörler arası ürün akışını dengeleme ve ağ üzerindeki bu merkezler arasındaki akış takibi kararlarıdır. Bu problemler çeşitli matematiksel yöntemlerle rasyonel ve amaca en uygun biçimde çözülebilmektedir. Bu amaçla yöneylem araştırması teknikleri, çok kriterli karar verme yöntemleri karar sürecinde destek sağlamaktadır.

Çok fonksiyonlu bir planlama gerektiren kapalı döngü tedarik zinciri ağı belirlenen bir amaç doğrultusunda planlanır. Planlama sürecinde değerlendirilmek üzere literatürde konuya ilişkin çalışılan makaleler incelenerek mevcut durum değerlendirilebilir. Bu amaçla “Web of Science Core Collection” veri tabanında yapılan taramada “*network*”, “*supplier selection*”, “*allocation*” ve “*closed*” anahtar kelimeleriyle bir tarama yapılmıştır ve yapılan tarama sonuçları Tablo 3’te sunulmuştur.

Yapılan literatür incelemesinde, deterministik modeller ve belirsizlik içeren modeller karşımıza çıkmaktadır. Parametrelerin kesin ve net değerler aldığı deterministik modellerden farklı olarak modelde kesin olmayan durumların değerlendirildiği

Çalışmalarda belirsizlik karşımıza robust, stokastik, bulanık, gri yaklaşımlarla çıkmaktadır.

Deterministik modellere yer veren çalışmalardan Amin ve Zhang (2012), tedarikçi seçimi, sipariş tahsisi ve KDTZ ağ yapılandırmasını aynı anda dikkate alan ilk model olarak karşımıza çıkar. Çalışmada, küme teorisi yardımıyla kalitatif kriterlere dayalı tedarikçi değerlendirmesi kurgulanmıştır. Moghaddam (2015), AHP/ANP ile tedarikçi öncelikleri hesaplar ve daha sonra bu öncelikler, çok amaçlı bir matematiksel programlamada amaç fonksiyonu ağrılıkları olarak kullanılır. Ürünlerin yeniden kullanılabilir parçalarının imalata ve imha tesisine demonte edilmesi için iade edilmesi durumu değerlendirilir. Sajadiyan vd. (2022), eksiklik, iş birliği ağı güvenilirliği, yetkinlikler, modül ataması, aynı zamanda yedek tedarikçiler, ürün tasarımının erken aşamalarında modüllerin optimum konfigürasyonu kararlarını da değerlendirmektedir. Yaklaşımda işbirlikçi maliyetler, döngüsel kriterler, kayıp satış, iş birliği ağı güvenilirliği, sipariş tahsisi, kapasiteyi ve yedek tedarikçileri aynı anda dikkate alan en uygun konfigürasyon araştırılmaktadır. Lotfi vd. (2023), AHS yaklaşımı ile yeşil üreticileri değerlendirmektedir ve akabinde toplam maliyet, çevresel ve sosyal konuları dikkate alan çok amaçlı, doğrusal olmayan bir matematiksel model önermektedir. Önerilen matematiksel model GAMS yazılımı yardımıyla LP-metrik yöntemi kullanılarak doğrusallaştırılmakta ve özölmektedir.

Tedarikçi seçimi ve ağ tasarımı problemleri için robust optimizasyonun kullanıldığı çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Kisomi vd. (2016), bu problemlerin çözümü için robust optimizasyonun kullanıldığı entegre bir matematiksel model önermiştir. Önerilen modelde müşteriilere fiyat indirimleri sunan heterojen kapasiteye sahip tedarikçilerden ileriye doğru bir akış ve müşteri bölgelerinden atık merkezlerine veya üretim tesislerine doğru bir ters akış bulunmaktadır. Modelde seçilen tedarikçilere sipariş dağıtımı, her katmandaki tesis yerleri ve aralarındaki akış miktarlarını belirlenmek ve tedarik zinciri ağının toplam maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır. Kesinlik içermeyen parametre değerleri için robust yaklaşımla üç tür belirsizlik seti tanımlanmıştır. Atabaki vd. (2020), maliyet, emisyon, enerji tüketimi dikkate alınarak tedarikçi seçimi, geri yönlü akışlar, yer tahsisi, nakliye modu ve montaj teknolojisi seçimi kararlarının verildiği bir robust optimizasyon modeli önermektedir.

Stokastik yaklaşıma yer veren çalışmalardan Ebrahimi (2018), belirsizlik altında sürdürülebilirlik ve miktar indirimini dikkate alarak kapalı döngü bir tedarik zinciri ağı tasarlamaktadır. Bu amaçla, tedarikçi seçimi ve yer-dağıtım-rotalama problemleri için stokastik çok amaçlı bir optimizasyon formüle edilmektedir. Mota vd. (2017), ağ yapısı, üretim, envanter ve tedarik planlaması gibi sınırlı bir dizi kararın verildiği tedarik zinciri maliyetlerini göz önünde bulundurarak bir model önerisinde bulunmaktadır. Çalışmada, nakliye ve tesis kurulumunun çevresel etkisindeki olası varyasyonları dikkate alınmaktadır. Rezaei vd. (2020), bozulma riski, talep, piyasa fiyatı ve iade edilen ürün sayısına ilişkin belirsizlikler eş zamanlı olarak ele alınarak belirsizlik durumlarında yedek tedarikçilerden ve spot piyasadan alım yapılması düşünülerek iki aşamalı bir stokastik programlama modeli önermektedir. Govindan vd. (2023), parçalı teslimat, depolama imkânı, eksiklik, tedarikçi seçimi, sipariş dağılımı, heterojen araçlar ve belirsiz talep gibi sorunların dikkate alındığı; yer seçimi, envanter ve rotalama kararları veren bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermektedir. İlgili modelde talep belirsizliği ile başa çıkmak için stokastik senaryo tabanlı bir yaklaşım söz konusudur.

KDTZ ile ilgili çalışmalarda bulanık mantık esaslı yöntemler de kullanılmıştır. Mohammadzadeh vd. (2017), Bulanık AHP ile tedarikçi puanı sunmaktadır. Çok amaçlı tüm tesislerin sayısını ve yerini, KDTZ için her kademedeki akışı ve tedarikçi seçimini ve sipariş tahsisini (hibrit karar) belirleyen doğrusal olmayan çok amaçlı bir karma tamsayılı bir model önerilir. Belirsiz talep olasılıksal dağılım fonksiyonu yardımıyla karar sürecinde incelenir. Rad ve Nahavandi (2018), en iyi tedarikçileri, satın alma miktarını, yer-dağıtım tesislerini, ulaşım modunu, teknoloji tipini, karbondioksit emisyonlarını, envanter seviyelerini ve tesisler arasındaki akışları belirleyerek ekonomik maliyetin ve çevresel emisyonların minimizasyonu ve müşteri memnuniyetinin maksimize edilmesini hedefleyen bir matematiksel model sunmaktadır. Ahmadi ve Amin (2019), KDTZ ağında tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi için niteliksel ağırlıkları tahmin etmek için bulanık bir yöntem geliştirmektedir. Ulaşım modu seçimi ve montaj teknolojisi seçimi kararları da modelde bulunmaktadır. Cavone vd. (2020), Bulanık Veri Zarflama Analizi ve Oyun Teorisi yardımıyla bir ağ tasarım model önerisi sunmaktadır. Talep belirsizliği, Bulanık Üçgen Sayılar yardımıyla modele dahil edilmektedir. Çalışmada, perakendeci ileri yönlü ve geri yönlü akışlarda rol almaktadır. Govindan vd. (2020), heterojen araçlar kullanan yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için birçok amaçlı karma tamsayılı doğrusal

programlama modeli önermektedir. Maliyet ve yok satma durumunu minimize etmek amacı taşıyan modelde, belirsizlik durumu ve çok amaçlı matematiksel modelin tek amaca düşürülmesi hususlarında bulanık yaklaşımdan yararlanılmaktadır. Nasr vd. (2021), çapraz yükleme planlama bileşeni, kayıp satışlar ve alternatif ulaşım modları bulunması durumlarını da modele dahil etmiştir. Tavana vd. (2022), sürdürülebilir KDTZ ağ tasarımı için lokasyon, envanter, rotalama kararlarını verirken tedarikçi seçimi, sipariş atama, taşıma modu seçimi kararlarını da modele dahil eden bir yapı sunar. Çalışmada, akıllı bir simülasyon algoritması KDTZ ağ verilerini olasılık dağılım fonksiyonları ve uygun çözüm uzayı ile üretmek için kullanılmaktadır. Modelde, bulanık hedef programlama yaklaşımı çok amaçlı modelde çözüm için kullanılmaktadır.

Belirsizlik ile yüzleşmede gri sayılardan yararlanan araştırmalardan Ghoushchi ve Hushyar (2020)'nin çalışmasında üçüncü parti lojistik (3PL) sağlayıcılardan destek alınan yeşil paradigmayı önemseyen bir KDTZ ağ tasarımı bulunmaktadır. Gri teori yaklaşımı ile 3PL'lerin, tedarikçilerin ve tedarik merkezlerinin seçimi aynı anda ele alınmakta ve kriterlerin ağırlıkları uzmanlar tarafından dilsel değişkenler olarak atanmaktadır. Govindan vd. (2017), tedarikçi seçimi ve ağ tasarımı problemini araştırdığı çalışmasında araç seçimi kararını da alır. Tedarikçi seçiminde tedarikçi ağırlıklarını maksimize etmek için AHP yönteminden yararlanır. Modelde yalnızca bir tedarikçiden ürün grubu çekilmesi tercih edilmektedir. Özet literatür taraması tablosu Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. WOS'ta Tedarikçi Seçimi ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemi Üzerine Bir Literatür Taraması

	Problem								Model	Belirsiz Parametreler	Amaç	Lojistik Ağ Tasarımında Tersine Akış Merkezleri	MCDM	Sektör
	Çok Aşamalı	Çok Ürünlü	Çok Periyotlu	Tesis Kapasitesi	Miktar İndirimi	Tesis Yeri	Rotalama	Sipariş Atama						
Amin ve Zhang, (2012)	9	✓	✓	✓				✓	MO-MILP		Kar ↑ Tedarikçi puanı ↑ Kusur oranı ↓	Sökme, Yenileme, İmha Noktaları	FST TFN	
Moghaddam, (2015)	8	✓						✓	GP	Talep, Geri akışlar	Kar ↑ Tedarikçi puanı ↑	Sökme, İmha Noktaları	FST- AHP	Cep telefonu
Kisomi vd., (2016)	6	✓		✓	✓			✓	MILP	Talep, Değişken maliyet, Nakliye maliyeti	Maliyet ↓	Toplama/Sökme, İmha Noktaları		
Govindan vd., (2017)	9		✓					✓	MO-MILP	Talep, Geri akışlar	Tedarikçi puanı ↑ Maliyet ↓ Emisyon ↓	Toplama, Hibrit Sökme, İmha, Geri dönüşüm, Yedek Ürün Market, İmalat Merkezi, İkincil Ürün Pazarı	AHP	
Mohammadzadeh vd., (2017)	11	✓	✓			✓	✓	✓	MO-MINLP	Talep	Kar ↑ Tedarikçi puanı ↑ Emisyon ↓	İmalat Merkezi, İkincil Ürün Pazarı	F-AHP TFN	
Ebrahimi, (2018)	7	✓			✓	✓	✓	✓	MO-MINLP	Talep, Akışlar	Maliyet ↓ Emisyon ↓	Modası Geçmiş Ürün Pazarı, Geri Dönüşüm Merkezi		Araç Lastiği
Rad ve Nahavandi, (2018)	7	✓	✓	✓	✓			✓	FGP	Talep	Müşteri Tatmin Düzeyi ↑ Maliyet ↓ Emisyon ↓	Toplama, Üretim/ Geri Kazanım, Hibrit Merkez, İmha Noktaları		

Tablo 3. Devamı

	Problem									Model	Belirsiz Parametreler	Amaç	Lojistik Ağ Tasarımında Tersine Akış Merkezleri	MCDM	Sektör
	Çok Aşamalı	Çok Ürünlü	Çok Periyotlu	Tesis Kapasitesi	Miktar İndirimi	Tesis Yeri	Rotalama	Sipariş Atama	Envanter						
Mota vd., (2017)	4	✓	✓					✓	✓	MO-MILP	Talep, Akışlar	Müşteri Tatmin Düzeyi↑ Net Bugünkü Değer↑ Çevresel Etki↓			Elektronik
Ahmadi ve Amin, (2019)	8	✓	✓					✓	✓	MO-MILP	Talep, Geri akışlar	Kar↑ Tedarikçi Puanı↑	Perakendeci, İkinci Müşteri, Bırakma Noktası, Konsolidasyon Merkezi	TFN	Cep Telefonu
Atabaki vd., (2020)	12					✓		✓		MO-MILP	Talep, Akışlar, İşletme ve Tesis Kuruluş Maliyeti	Sosyal Fayda↑ Maliyet↓ Emisyon ↓ Enerji Tüketimi↓	Toplama Merkezi, Sökme Noktası, Toplu Geri Dönüşüm, Malzeme Geri Dönüşümü, İmha Noktası, Yeniden üretim merkezi, Yenileme Noktası, Geri Dönüşümlü Malzeme Pazarı		
Cavone vd., (2020)	6	✓						✓		FLP Oyun Teorisi	Talep	Maliyet ↓ Tedarikçi Puanı↑ Kar↑	Perakendeci, Kurtarma Merkezi	TFN	
Ghouschi ve Hushyar, (2020)	11	✓	✓					✓		MO-MILP		Toplam Gelir↑ Tadrikçi Puanı↑ Başarısızlık↓	Toplama, Sökme, Yenileme, Üçüncü Parti Lojistik Sağlayıcıları, İmha Noktaları	Gri Teori	Elektronik

Tablo 3. Devamı

	Problem									Model	Belirsiz Parametreler	Amaç	Lojistik Ağ Tasarımında Tersine Akış Merkezleri	MCDM	Sektör
	Çok Aşamalı	Çok Ürünli	Çok Periyotlu	Tesis Kapasitesi	Miktar İndirimi	Tesis Yeri	Rotalama	Sipariş Atama	Envanter						
Rezaei vd., (2020)	11	✓						✓		SLP	Talep, Geri Akış, Pazar Fiyatı, Arz	Kar↑ Risk↓	Sökme, İmha etmek, Yenileme Noktaları		
Nasr vd., (2021)	8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	NFGP	Talep, Miktar İndirimi	Satın Alma Değeri↑ İş İmkânı↑ Ağ Maliyeti↓ Çevresel Etki↓	Toplama, Geri Dönüşüm, Yeniden Üretim Merkezleri	F-BWM	Giysi Dağıtımı
Sajadiyan vd., (2022)	6			✓				✓		MO-MINLP		Tedarik İş Birliği ve Modül Maliyeti↓	Toplama, İmha, Yeniden üretim (geri dönüşüm)		Elektro-Optik Kamera
Tavana vd., (2022)	6	✓	✓			✓	✓	✓	✓	FGP MO-MILP	Talep	Sosyal Fayda↑ Toplam Maliyet↓ Emisyon↓	İmha, Yeniden Üretim		
Govindan vd., (2023)	7					✓	✓	✓	✓	SB-SLP	Talep	Maliyet↓ Kayıp Satış↓	Toplama, Geri Dönüşüm, İmha Noktaları		Otomotiv Teli
Bu çalışma	4		✓					✓	✓	Olasılıksal MILP	Kapasite	Maliyet↓	Geri Dönüşüm Merkezi	IFS, FUCOM, COPRAS	Sağlık
MO-MILP: Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama, MILP: Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama, MO-MINLP: Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama, SB-SLP: Senaryo Tabanlı Stokastik Doğrusal Programlama, FGP: Bulanık Hedef Programlama, FLP: Bulanık Doğrusal Programlama, SLP: Stokastik Doğrusal Programlama, GP: Hedef Programlama, NFGP: Yeni Bulanık Hedef Programlama, FST: Bulanık Küme Teorisi, FDEA: Bulanık Veri Zarflama Analizi, F-BWM: Bulanık En İyi-En Kötü Yöntemi, ANP: Analitik Ağ Süreci, AHP: Analitik Hiyerarşi Süreci, TFN: Bulanık Üçgen Sayılar, IFS: Bulanık Sezgisel Küme Teorisi, FUCOM: Tam Tutarlılık Yöntemi, COPRAS: Karmaşık Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi.															

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ENTEGRE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ MODEL

ÖNERİSİ: OLASILIKSAL KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL

PROGRAMLAMA

Karar verme, belirli bir durum veya sorun karşısında bir seçenek veya alternatif arasından birini seçmek için bir süreç veya eylemdir. Karar verme genellikle bilgi, deneyim, değerler ve hedefler gibi çeşitli faktörlerin dikkate alınmasıyla gerçekleşir. Karar verme, kişisel yaşamda, iş dünyasında, yönetimde ve birçok farklı alanda önemli bir beceridir. İyi bir karar verme süreci, bilinçli seçimler yapma, riskleri değerlendirme ve hedeflere ulaşma konusunda yardımcı olur. Karmaşık ve zor bir süreç olarak karar verme problemin tanımlanmasıyla başlamaktadır; alternatiflerin, kriterlerin ve karar vericilerin belirlenmesi ile devam etmektedir. Çeşitli yöntemler yardımıyla karar vericilerin, kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesi neticesinde tedarikçi değerlendirme probleminde tedarikçi skorları ve sıralaması elde edilmektedir.

COVID-19 pandemisi etkisi altında tedarik zinciri yönetiminde yaşanan belirsizlikler (COVID-19 önlemleri, çalışan refahı, tahmin ufku, talep değişikliği ve hükümet düzenlemeleri) ve riskler (COVID-19 riski, teslimat gecikmeleri, tedarik zinciri kesintileri, finansal başarısızlık ve ürün iadeleri) organizasyonları faaliyet gösterme ve planlama yetenekleri üzerine etki etmektedir (Gultekin vd., 2022). Belirsizlik ve risk durumları altında iken karar vermek zorlayıcı olabilir; ancak çeşitli matematiksel yöntemler yardımıyla karar verme sürecini rasyonel hale getirmek mümkündür.

Bu bölümde, belirsizlik ve risk durumları altında satın alma kararlarının verilmesine yardımcı olacak olasılıksal karma tamsayılı programlama modeli önerisine yer verilmiştir. Çalışmada olasılıklar tedarikçi kapasitelerinin farklılığı şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Tedarikçi kapasitelerinin gerçekleşme olasılıkları çalışmada uzmanlar tarafından varsayımsal olarak belirlenerek karara dahil edilmektedir. Literatürde bu şekilde olasılıksal karma tam sayılı model önerileri yer almaktadır (Soysal, 2016). Çalışma kapsamında değerlendirilecek olan probleme ilişkin detaylı anlatım sunulurken, akabinde söz konusu problemin çözümü için geliştirilmiş olan matematiksel model önerisi sunulmaktadır. Bölümün devamında ise matematiksel modelde bir

parametre olarak yer alacak olan tedarikçi değerlendirme puanlarının hesaplanması için kullanılabilecek yöntemlerin anlatımı yer almaktadır.

3.1.Problem Tanımı

Çalışma çerçevesinde kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı problemi $G = \{V, A\}$ lojistik ağında tanımlanmaktadır. Ağ gösteriminde $V = \{S, W, M, R\}$ problemde yer alan düğümleri/aktörleri temsil etmektedir. Ele alınan problemde ürünlerin temin edildiği tedarikçiler $S = \{1, 2, \dots, |S|\}$, stok bulundurulmuş depolar $W = \{1, 2, \dots, |W|\}$, talep noktaları $M = \{1, 2, \dots, |M|\}$ ve geri dönüşüm merkezleri $R = \{1, 2, \dots, |R|\}$ bulunmaktadır. Düğümler arasındaki doğrudan akışlar A kümesi ile temsil edilmektedir. Tedarikçilerden depolara, depolardan talep noktalarına ve depolar arası doğrudan ürün akışları bulunmaktadır. Ayrıca, depolardan geri dönüşüm merkezlerine raf ömrünü tamamlamış, artık kullanılamaz durumda olan ürünler için doğrudan akışlar yer almaktadır.

Problemde, tek tip bir ürün ele alınmakta olup, ürün bozulabilir niteliktedir. Sonlu planlama ufkunu içeren bu çalışmada, çok periyotlu zaman dilimi ($T = \{1, 2, \dots, |T|\}$) bulunmaktadır. Tedarikçilerin arz büyüklükleri/kapasiteleri değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durum senaryolar ($I = \{1, 2, \dots, |I|\}$) ile ele alınmaktadır. Her bir $i \in I$ senaryosunun gerçekleşme olasılığının (p_i) bilindiği kabul edilmektedir. Planlama ufku başında değeri bilinen Kap_{si}^t parametresi, her bir $i \in I$ senaryosunda, $t \in T$ dönem başında, $s \in S$ tedarikçisinin kapasitesini temsil etmektedir. Tedarikçilerden depolara ürün akışı partiler halinde gerçekleşmektedir. Planlama ufkunun başında depolarda başlangıç stoğunun bulunmadığı kabul edilmektedir.

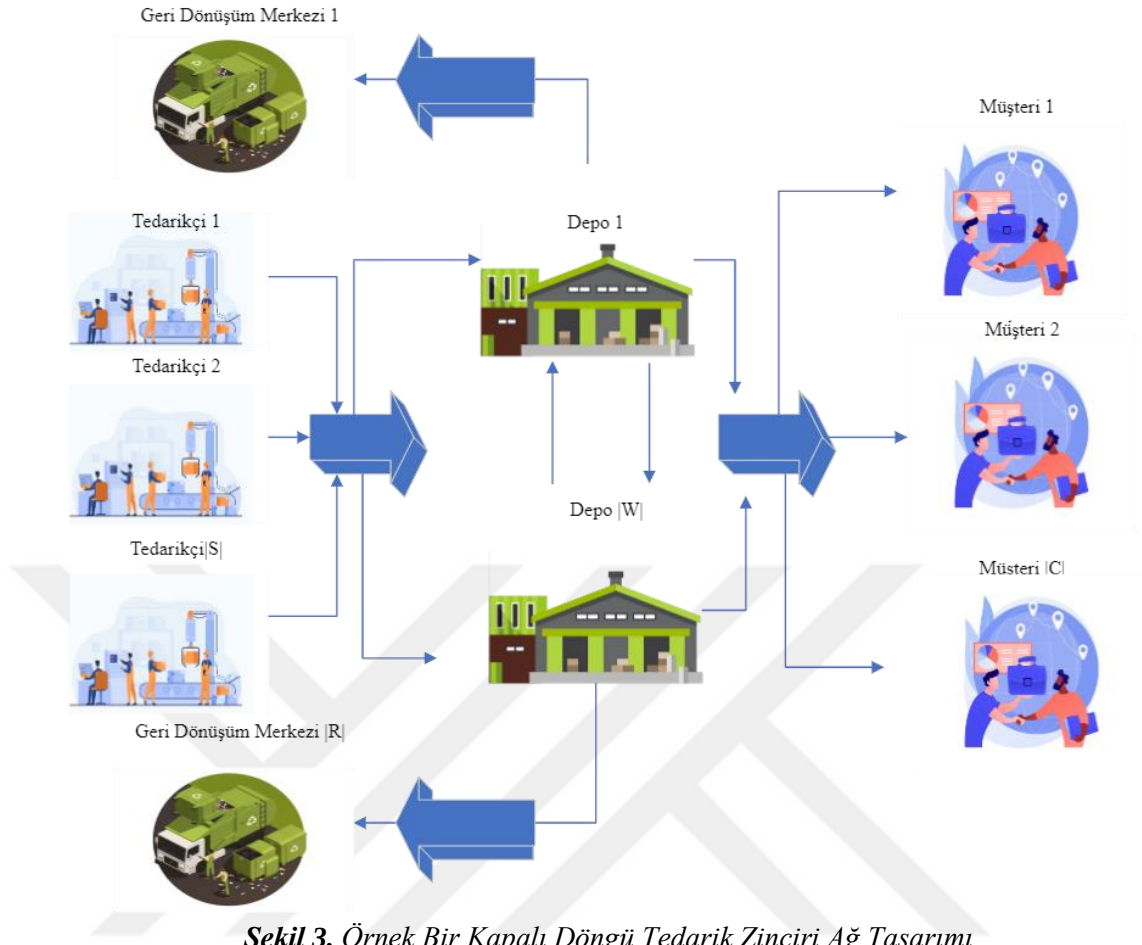
Pazar talebi, dem_m^t , her bir $m \in M$ talep merkezi için bir $t \in T$ dönemi başında biliniyor olmakla beraber bütünüyle karşılanmak durumundadır. Talep uygun olan yalnızca bir depo aracılığıyla karşılanmaktadır.

Her bir $w \in W$ deposu için b_w depo kapasitesi ölçüsünde stok tutabilmektedir. İhtiyaç halinde ilgili dönem talebinde kullanılması koşuluyla, $a, b \in W, (a \neq b)$ a deposundan b deposuna bir birim ürün taşıma maliyeti c_{ab} ile, ürün akışı sağlanabilmektedir. Stok takibi için ilk giren ilk çıkar (First-In, First-Out - FIFO) yöntemi kullanılmaktadır. Depoya ilk giren ürünler talebe ilk yönlendirilen ürünlerdir.

İncelenen ürün *shlf* raf ömrü boyunca depoda stoklanabilir özelliktedir. Ürünün depoda maksimum bulunma süresi/ raf ömrü (*shlf*) 2 dönemden büyük kabul edilirken, tedarik edilen ürün raf ömrü dolmadan dağıtıma çıkmazsa atık olarak değerlendirilmektedir. Her bir $w \in W$ deposunda raf ömrü dolan ürünler ceza ve ikincil pazara gönderim maliyeti sc_w ile geri dönüşüm merkezine yönlendirilmektedir. Her bir depo için atık ürünün yönlendirileceği geri dönüşüm merkezi tanımlanmıştır. Geri dönüşüm merkezinde biriken atık ürünlerin yeniden üretim veya imha merkezlerine yönlendirilmesinden tedarikçi sorumludur.

Problemde belirsiz arz durumunda bozulabilir ürünler için talep yönetimi, sipariş, kapasite tahsis kararları ve atık takibi kararları verilmektedir. Depolar aracılığı ile tedarikçilerden partiler halinde verilen sipariş birimler halinde talebe ve diğer depolara yönlendirilmektedir. Ürün bozulabilir nitelikte olduğu için depolarda raf ömrünü tamamlayan ürünlerin takibi yapılmakta ve geri dönüşüm merkezine yönlendirilecek miktarlar da ayrıca takip edilmektedir.

Problemde nihai hedef olarak belirsiz arz durumunda her bir $s \in S$ tedarikçisi için p_s tedarikçi değerlendirme puanı parametresi dikkate alınarak taşıma, bulundurma ve atık ürün maliyetlerinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Modelde geleneksel, sosyal, LARG odaklı ve pandemi özel kriterlerin dikkate alınması ile tedarikçilere matematiksel yöntemler yardımı ile puanlar atanmaktadır. Bütün tedarikçiler değerlendirilen kriterlere en uygun tedarikçiye kıyasla puanlanmış olup, puan parametreleri matematiksel modelde yüksek puan alan tedarikçiden alımı özendirmek maksadıyla amaç fonksiyonunda yer almaktadır. Kurgulanan ağın genel hali Şekil 3 yardımı ile görülebilir.



Şekil 3. Örnek Bir Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı

3.2. Matematiksel Model

Matematiksel modelde ihtiyaç duyulan notasyonların gösterimi aşağıda yer almaktadır. Çalışılan problemde sunulan model konu ile ilişkili Ghiani vd., (2013: 197-201) ve Chopra ve Meindl (2016: 118)'in çalışmaları temel alınarak oluşturulmuştur. Envanter ve atık takibi kısıtlarında Soysal vd. (2015: 121)'den ilham alınarak probleme uyarlanmıştır.

Kümeler

I	$\{i_1, \dots, I \}$	senaryo
M	$\{m_1, \dots, M \}$	pazar
S	$\{s_1, \dots, S \}$	tedarikçi
T	$\{t_1, \dots, T \}$	zaman dilimi
W	$\{w_1, \dots, W \}$	depo

R $\{r_1, \dots, |R|\}$ geri dönüşüm merkezi

Parametreler

$c1_{sw}$	$s \in S$ tedarikçisinden $w \in W$ deposuna bir birim ürün taşıma maliyeti	(€/adet)
$c2_{wm}$	$w \in W$ deposundan $m \in M$ pazarına bir birim ürün taşıma maliyeti	(€/adet)
$c3_{ab}$	$a \in W$ deposundan $b \in W$ deposuna bir birim ürün taşıma maliyeti	(€/adet)
h_w	$w \in W$ deposunda bir birim ürünü bir periyot bulundurma maliyeti	(€/adet)
cap_{si}^t	$s \in S$ tedarikçisinin $i \in I$ senaryosuna göre $t \in T$ dönem başındaki kapasitesi	(adet)
dem	$m \in M$ pazarının $t \in T$ zamanındaki dönem başı talebi	(adet)
b_w	$w \in W$ deposunun bir dönemlik kapasitesi	(adet)
p_i	$i \in I$ senaryosunun gerçekleşme olasılığı	(0,...,1)
d_s	$s \in S$ tedarikçisinin sipariş parti büyüklüğü	(adet)
k_s	$s \in S$ tedarikçisi için sabit sipariş maliyeti	(€)
$shlf$	Sabit ürün raf ömrü ($shlf \geq 2$)	(dönem)
sc_w	Atık ürün için ceza maliyeti ve $w \in W$ deposunda oluşan atık ürün için en yakın atık merkezine imha veya geri kazanımı amacıyla gönderim maliyeti	(€/adet)
h_w	$w \in W$ deposunda bir birim ürünü bir periyot bulundurma maliyeti	(€/adet)
scr_s	Her bir tedarikçi $s \in S$ için hesaplanan tedarikçi puanı	(0,...,1)

Karar Değişkenleri

Tam sayılı değişkenler

X_{swi}^t $w \in W$ deposu için $s \in S$ tedarikçisinden $i \in I$ senaryosunda $t \in T$ dönemi başında verilen sipariş sayısı (adet)

Inv_{wi}^t $w \in W$ deposunda $i \in I$ senaryosunda $t \in T$ zamanı dönem sonunda bulunan envanter miktarı, başlangıç stoğu 0 (adet)

Z_{abi}^t $a \in W$ deposundan $b \in W$ deposuna ($a \neq b$) $i \in I$ senaryosunda $t \in T$ zamanı dönem başında gönderilen ürün miktarı (adet)

Sal_{wi}^t $w \in W$ deposunda $i \in I$ senaryosuna göre $t \in T$ dönem sonunda hesaplanan atık miktarı (adet)

Kesikli Değişken (0-1 Tamsayılı Değişken)

Y_{wmi}^t
 $= \begin{cases} 1, i \text{ senaryosunda } t. \text{ dönem başında } w \text{ deposundan } m \text{ pazarına ürün gönderilirse} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu

$$Z_{min} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 \quad (1)$$

Problemde maliyet minimizasyonunu amaçlayan amaç fonksiyonu altı parçadan oluşmaktadır. Bütün senaryolar dikkate alınarak fonksiyonun ilk parçasında sipariş parti büyüklüğü, verilen sipariş sayısı ve bir birim ürün taşıma maliyeti yardımıyla tedarikçilerden depolara gelen ürünler için taşıma maliyeti hesaplanmaktadır (2).

$$Z_1 = \sum_{i=1}^{|I|} p_i \left\{ \sum_{s=1}^{|S|} \sum_{w=1}^{|W|} \sum_{t=1}^{|T|} c1_{sw} X_{swi}^t d_s (2 - scr_s)^2 \right\} \quad (2)$$

Belirlenen kriterlere en uygun tedarikçiden alımı özendirmek amacıyla ÇKKV Yöntemleri ile elde edilen puan parametreleri fonksiyona ceza puanı olarak dahil edilir. Tedarikçilerin puanları kriterlere en uygun tedarikçi için 1 olup, bu tedarikçiden sipariş temini sağlanması durumunda ceza uygulanmayacaktır. Kriterlere en uygun tedarikçiye göre değerlendirilen diğer tedarikçiler aldıkları puanlar nispetinde cezalandırılır (2).

$$Z_2 = \sum_{i=1}^{|I|} p_i \left\{ \sum_{s=1}^{|S|} \sum_{w=1}^{|W|} \sum_{t=1}^{|T|} k_s X_{swi}^t (2 - scr_s)^2 \right\} \quad (3)$$

Amaç fonksiyonunun ikinci parçasında sipariş maliyeti takip edilmektedir. Fonksiyona ait bu parçada da Z_1 'de olduğu gibi tedarikçilere ait geleneksel, sosyal, LARG odaklı ve pandemi özel kriterlere uyumluluk için atanan puanlar gözetilmektedir (3).

$$Z_3 = \sum_{i=1}^{|I|} p_i \left\{ \sum_{w=1}^{|W|} \sum_{m=1}^{|M|} \sum_{t=1}^{|T|} c2_{wm} Y_{wmi}^t dem_m^t \right\} \quad (4)$$

Amaç fonksiyonunda dikkate alınan bir diğer maliyet pazar talebini dikkate alan bir akışla depolardan pazarlara taşıma maliyetidir (4).

$$Z_4 = \sum_{i=1}^{|I|} p_i \left\{ \sum_{a=1}^{|W|} \sum_{b=1}^{|W|} \sum_{t=1}^{|T|} c3_{ab} Z_{abi}^t \right\} \quad (5)$$

Amaç fonksiyonunda dikkate alınan başka maliyet depolar arasında akışın maliyetidir (5).

$$Z_5 = \sum_{i=1}^{|I|} p_i \left\{ \sum_{w=1}^{|W|} \sum_{t=1}^{|T|} h_w Inv_{wi}^t \right\} \quad (6)$$

Amaç fonksiyonunda dikkate alınan bir diğer maliyet depolarda envanter bulundurma maliyetidir (6).

$$Z_6 = \sum_{i=1}^{|I|} p_i \left\{ \sum_{w=1}^{|W|} \sum_{t=1}^{|T|} sc Sal_{wi}^t \right\} \quad (7)$$

Amaç fonksiyonunun son parçası, son maliyet unsuru depolarda oluşan hurda ürün maliyetidir (7).

Kısıtlar

$$\sum_{w=1}^{|W|} X_{swi}^t d_s \leq cap_{si}^t \quad \forall s \in S, i \in I, t \in T \quad (8)$$

Kısıt seti (8) her bir tedarikçiden her bir senaryo ve her bir zaman dilimi için bütün depolara çekilecek ürün miktarının kapasiteyi aşmamasını gerektirmektedir.

$$\sum_{w=1}^{|W|} Y_{wmi}^t = 1 \quad \forall m \in M, i \in I, t \in T \quad (9)$$

Kısıt seti (9) ile (15) arası envanter kısıtlarından oluşmaktadır. Kısıt (9)'da her bir pazara her bir senaryo ve zaman diliminde tek bir depodan ürün gönderimini sağlamaktadır.

$$Inv_{wi}^0 = 0 \quad \forall w \in W, i \in I \quad (10)$$

Kısıt seti (10)'da her bir depo ve senaryo için planlama ufku başındaki envanter takibi yapılmaktadır.

$$Inv_{wi}^t \leq b_w \quad \forall w \in W, i \in I, t \in T \quad (11)$$

Kısıt seti (11)'de her bir depo için her bir senaryo ve zaman diliminde elde bulundurulacak envanter miktarının ilgili deponun kapasitesini aşmaması gerekliliği sunulmaktadır.

$$\begin{aligned} Inv_{w,i}^t = & \sum_{\theta=1}^t \sum_{s=1}^{|S|} X_{swi}^{\theta} d_s + \sum_{\theta=1}^t \sum_{a=1 \atop (a \neq w)}^{|W|} Z_{awi}^{\theta} \\ & - \left(\sum_{\theta=1}^t \sum_{m=1}^{|M|} Y_{wmi}^{\theta} dem_m^{\theta} \right. \\ & \left. + \sum_{\theta=1}^t \sum_{b=1 \atop (b \neq w)}^{|W|} Z_{wbi}^{\theta} + \sum_{\theta=1}^t Sal_{wi}^{\theta} \right) \end{aligned} \quad \forall w \in W, i \in I, t \in T \quad (12)$$

Kısıt seti (12)'de her bir depo için her bir senaryo ve zaman diliminde elde bulundurulan envanter miktarı takip edilmektedir. Dönem sonunda elde bulundurulan envanter miktarı, her bir depo ve senaryo için, tüm zaman dilimlerinde depoya ürün giriş-çıkışları ve atıkların envanterden düşülmesi yardımıyla elde edilmektedir. İlgili dönem sonu envanter miktarına, bütün tedarikçilerden ve depolardan ilgili döneme kadarki dönem başı gelen ürünlerden bütün pazarlara ve depolara dönem başında gönderilen ürünlerin eksiltilmesi ve dönem sonu oluşan atık ürünlerin de envanterden düşülmesi ile ulaşılmaktadır.

$$\begin{aligned}
 \text{Sal}_{wi}^t \geq & \text{Inv}_{wi}^{t-\text{shlf}+1} \\
 & - \left(\sum_{\beta=t-\text{shlf}+2}^t \sum_{m=1}^{|M|} Y_{wmi}^{\beta} \text{dem}_m^{\beta} \right. \\
 & + \sum_{\beta=t-\text{shlf}+2}^t \sum_{b=1 \atop (b \neq w)}^{|W|} Z_{wbi}^{\beta} \\
 & + \sum_{\beta=t-\text{shlf}+2}^{t-1} \text{Sal}_{wi}^{\beta} \left. \right) \\
 & + \sum_{\beta=t-\text{shlf}+2}^t \sum_{a=1 \atop (a \neq w)}^{|W|} Z_{awi}^{\beta} \quad \forall w \in W, i \in I, t \in (1..|T|: \\
 & \quad \quad \quad t \geq \text{shlf})
 \end{aligned} \tag{13}$$

Kısıt seti (13)'te atık ürün takibi yapılmaktadır. İncelenen zaman dilimi ürün raf ömrünü aşan durumlarda atık miktarı oluşmaktadır. Atık miktarı her bir depo ve senaryo için ayrı ayrı incelenmektedir. Raf ömrü süresi kadar dönem geçtikten sonra raf ömrü uyarınca geriden bakarak envanter kontrolü yapılmakta, envantere giren ürün akışı takip edilmektedir. İlgili dönemlerde depoya ve talep yerlerine gönderilecek ürün miktarı ile oluşan atıkları işleme dahil edilerek ve ilgili dönemde diğer depodan gelecek olan akışı da dikkate alınarak envanter ile kıyaslanmakta ve dönemde atık olarak ayrılacak ürün miktarı belirlenmektedir. Akışları (ilgili depodan bütün pazarlara ve depolara akışı) kontrol edilerek hesaplama yapılmaktadır.

$$\text{Sal}_{wi}^t = 0 \quad \forall w \in W, i \in I, t \in (1..|T|: t < \text{shlf}) \tag{14}$$

Kısıt seti (14)'te hurda oluşmayan dönem takibi yapılmaktadır. İncelenen zaman dilimi ürün raf ömrünü aşmayan dönem ise bu dönemler için atık miktarı sıfırdır.

$$\sum_{a=1}^{|W|} Z_{awi}^t \leq \sum_{m=1}^{|M|} Y_{wmi}^t \text{ dem}_m^t \quad \forall w \in W, i \in I, t \in T \quad (15)$$

Kısıt seti (15)'te depolar arasında bir akış olması durumunda gelen envanterin ilgili depodan gidecek olan talebi karşılamak amacıyla kullanılması amaçlanarak gelen ürünün talepten küçük olması durumu değerlendirilmektedir. Kısıt seti (16)-(22) değişken tanımlarıdır.

$$X_{swi}^t \in Z^+ \cup 0 \quad \forall s \in S, w \in W, i \in I, t \in T \quad (16)$$

$$Q_{wmi}^t \in Z^+ \cup 0 \quad \forall s \in S, w \in W, i \in I, t \in T \quad (17)$$

$$Y_{wmi}^t \in \{0,1\} \quad \forall w \in W, m \in M, i \in I, t \in T \quad (18)$$

$$Z_{abi}^t \in Z^+ \cup 0 \quad \forall a \in W, b \in W (a \neq b), i \in I, t \in T \quad (19)$$

$$Inv_{wi}^t \in Z^+ \cup 0 \quad \forall w \in W, i \in I, t \in T \quad (20)$$

$$scr_s \in Z^+ \cup 0 \quad \forall w \in W, m \in M, t \in T \quad (21)$$

$$Sal_{wi}^t \in Z^+ \cup 0 \quad \forall w \in W, m \in M, t \in T \quad (22)$$

3.3. Tedarikçi Skorları Belirlemede Sezgisel Bulanık Küme Teorisi ve Çok Kriterli Karar Verme

Araştırmada dikkat edilen bir diğer husus da tedarikçilerin önemli görülen kriterler karşısında değerlendirilmesi ve ürün ve hizmet akışının bu hususa uygun biçimde gerçekleştirilmesidir. Nesnel bir yaklaşımla değerlendirme yapan uzmanların, değerlendirmeye esas alınan kriterlerin ve söz konusu tedarikçilerin çeşitli matematiksel yöntemlerle analiz edilmesi bu aşamada önem arz etmektedir.

Nesnel bir bakış açısı sunmanın önemli görüldüğü bu çalışmada karar vericilerin değerlendirildiği ve bu sayede birden fazla karar vericiden kriter değerlendirme noktasında görüş alınarak daha objektif bir yaklaşımla önem ağırlıkları belirlenebileceği bir yöntem olarak Sezgisel Bulanık Küme Teorisi (IFS) önerilmektedir. Belirlenen kriterlerin tedarikçi seçimindeki etkisini incelerken ve önem düzeylerini belirlerken, karar vericilerin değerlendirmesini önemseyerek en doğru kararı vermek amacıyla ÇKKV’de sübjektif ağırlıklandırma yöntemlerinden FUCOM Tam Tutarlılık Yöntemi önerilmektedir. Karar vericilerin değerlendirildiği ve belirtilen kriterlerin her bir karar verici için ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulduğu ve nihayetinde bu iki yaklaşım sayesinde kriter önem düzeylerinin nihai derecelerinin belirlenmesini tedarikçi değerlendirme aşaması takip etmektedir.

Çalışmada tedarikçi değerlendirme yöntemi olarak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden COPRAS Oransal/Nispi Değerlendirme Yöntemi önerilmektedir. Çalışmanın amacına uygun olarak COPRAS değerlendirme sonuçlarını 0 ile 1 arasında bir değer olarak verdiği için matematiksel modele entegrasyonu bakımından kolaylık sağlamaktadır. Aynı zamanda en iyi alternatife göre diğer tedarikçilerin görece önem düzeylerini vermesi bakımından karar vericiye anlaşılabilirlik sunmaktadır. Güvenilir ve geçerli bir yöntemdir.

3.3.1. Sezgisel Bulanık Küme Teorisi

Bu çalışmada COVID-19 Pandemi süreci etkisi olduğundan çalışılan problemin yapısı gereği belirsizlik ön planda görülmektedir. Gerçek hayat problemlerinde tedarikçi seçim ve süreç değerlendirme problemleri kesin ve net sayılarla ifade edilememektedir. Bu açığı kapatmak amacıyla uzman görüşüne başvururken kesin olmayan dilsel ifade kullanımları ile sezgisel yöntemlerden yararlanılabilir (Çınar vd., 2019). Dilsel ifadelerle

zor veya karmaşık durumları tanımlayarak karar vermeyi kolaylaştırma amacıyla bu çalışmada IFS (*Intuitionistic Fuzzy Sets*) karar vericileri sözel ifadelerle değerlendirmede kullanılacaktır. ÇKKV Yöntemlerinde hiyerarşik yapı oluşturulurken karar vericinin birden fazla olduğu durumlarda bu yöntemden destek alınabilir.

Atanassov tarafından 1986 yılında önerilen Sezgisel Bulanık Küme Teorisinde üye olma, üye olmama ve tereddüt endeksleri bulunmaktadır (Atanassov, 1986, 2016). Söz konusu endeksler şu şekilde görülür: U evreninde tanımlanan A kümesi sonlu bir evrensel küme iken teori Eşitlik (23) - (28) şeklinde ifade edilebilir (Liu ve Wang, 2007: 221; Yurtyapan, 2019: 19).

$$A = \{(u, \mu_A(u), \nu_A(u)) \mid u \in U\} \quad (23)$$

$$0 \leq \mu_A + \nu_A \leq 1 \quad (24)$$

$$u \in U \rightarrow \mu_A(u) \in [0,1] \text{ ve } \nu_A(u) \in [0,1] \quad (25)$$

$\mu_A(u)$: “u” elemanının A kümesine ait olmasını temsilen üyelik derecesidir.

$\nu_A(u)$: “u” elemanının A kümesine ait olmama, üye olmama derece fonksiyonudur. Üyelik derece fonksiyonları Eşitlik (24) şartını sağlar (Çınar et al., 2019: 26). Eşitlik (25)’te görülebileceği üzere bulanık kümelerin bir uzantısı olan sezgisel bulanık kümelerde (IFS) tereddüt endeksi bulunmaktadır.

$\pi_A(x)$: Tereddüt endeksidir. Tereddüt endeksinde “u” elemanı hakkında yetersiz bilginin olması durumu değerlendirilmektedir. Tereddüt endeksinin değerinin düşmesi bilginin belirsizlik derecesinin göreceli olarak azalması anlamını taşımaktadır. Değerin sıfır olması belirsizliğin bulunmadığı anlamına gelmektedir. Tereddüt endeksi fonksiyonu (26)’da tanımlanmıştır.

$$\pi_A(u) = 1 - \mu_A(u) - \nu_A(u) \quad (26)$$

Karar verici önem ağırlıklarını atamada IFS kullanılırken şu aşamalar takip edilir (Rouyendegh vd., 2020: 2219; Yurtyapan, 2019: 19).

Karar vericilere önemliliğine göre sözel ifadeler atanmakta ve Tablo 4’te görülen sezgisel bulanık numaralar (IFN) tanımlanmaktadır.

Tablo 4. Dilsel Terimlerin Sezgisel Bulanık Sayılar Olarak Gösterimi

Sözel İfade	IFN
Çok önemli (AI)	(0.80-0.10)
Önemli (VI)	(0.50-0.20)
Orta (FI)	(0.50-0.50)
Kötü (LI)	(0.30-0.50)
Çok Kötü (EI)	(0.20-0.70)

Kaynak: (Yurtyapan ve Aydemir, 2022: 87)

$Dl = [\mu_l, v_l, \pi_l]$, l . Karar verici sıralaması için atanan sezgisel bulanık sayılardır.

λ_1 : Karar verici önem ağırlığıdır ve Eşitlik (27) ve (28) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\lambda_1 = \frac{[\mu_l + \pi_l(\frac{\mu_l}{\mu_l + v_l})]}{\sum_{l=1}^k [\mu_l + \pi_l(\frac{\mu_l}{\mu_l + v_l})]} \quad (27)$$

$$\lambda_1 \in [0,1] \text{ ve } \sum_{l=1}^k \lambda_l = 1 \quad (28)$$

3.3.2. FUCOM Tam Tutarlılık Yöntemi

Çok kriterli karar verme problemlerinde önemli bir aşama ağırlıklandırma, yani seçim kriterlerinin önem derecelerinin belirlenmesi aşamasıdır. Ağırlıklandırmada tercih edilebilir yöntemler objektif/nesnel yöntemler (Entropy, CRITIC, CILOS TOPSIS, Çok Amaçlı Optimizasyon, Çoklu Korelasyon Analizi vb.), subjektif/öznel (AHP, Delphi, İkili Karşılaştırma, BWM, FUCOM, DEMATEL, SWARA vb.) ve karma (Çarpımsal Sentez, Toplamsal Sentez) yöntemler olarak üç biçimde karşımıza çıkmaktadır (Atan ve Altan, 2020; Karadağ Albayrak, 2021). Nesnel yaklaşımlarda karar vericinin/uzmanların tutarsızlık veya belirsizlik içerebilen görüşleri dikkate alınmakta, karar matrisi verileri ve çeşitli matematiksel modellemelerle kriter ağırlıkları hesaplanmaktadır. Öznel yaklaşımlar bireysel yargıları yansıttığından, karar sürecine dahil kişilerden ek bilgiler alınarak, karar vericilerin sezgilerinden yararlanılmakta ve hesaplama tabi tutulmaktadır (Atan ve Altan, 2020).

Bu çalışmada subjektif ağırlıklandırma yöntemlerinden FUCOM- Tam Tutarlılık Yöntemi kriter ağırlıklandırmasında kullanılmaktadır. Belirli bir hiyerarşide

karşılaştırmaya tabi tutulan kriter için üç adım takip edilerek matematiksel model kurulmaktadır. Doğrusal programlama modelinin çözümü ile ilgili kriter ağırlıklarının optimal değeri ve tam tutarlılıktan sapma değeri elde edilmektedir (Demir ve Bircan, 2020:175; Pamučar, Badi, vd., 2018:5-6). Yöntem Pamucar, Stevic ve Sremac tarafından 2018 yılında sunulmuştur (Pamuçar, Stević, vd., 2018; Ecer, 2020: 119). Kriterlere ilişkin bir sıralama yapılması üzerinden yola çıkan FUCOM kriterlerin kendi aralarında kıyaslama ve karşılaştırmaya tabi tutulmaları neticesinde kriter ağırlıklarını elde etmektedir (Şahin ve Karagül, 2022: 3). Yöntemin önemli bir avantajı az sayıda ikili karşılaştırmaya gereksinim duyması ve değerlendirmeci uzmanlara kolaylık sağlamasıdır (Ecer, 2021: 25).

Bir ağırlıklandırma yöntemi olarak bu çalışmada FUCOM'un seçilme nedenlerine bakılırsa, bir matematiksel model yardımıyla kriter ağırlıklarını hesaplayan FUCOM'da tutarlılık ve matematiksel geçişlilik şartları dikkate alınmaktadır. Aynı amacı güden diğer subjektif ağırlıklandırma yöntemlerinden (AHP ve BWM gibi) farklı olarak FUCOM'da toplam tutarlılık da dikkate alınmaktadır. Tutarlılık özelliği model kısıtlarında kriterlerin ağırlık katsayıları arası ilişkilerin söz konusu kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerine eşit olması kısıtı ile sağlanmaktadır. Ayrıca yöntem ikili karşılaştırmalarda toplam tutarlılık vadederek toplam tutarlılığı da göz önüne almaktadır. Basitleştirilerek toplam tutarlılık şu şekilde ifade edilebilir: Bir uygulamada X, Y'den önemli ($X \gg Y$) ve Y, Z'den önemli ($Y \gg Z$) ise Z'nin X'den önemli olması ($Z \gg X$) durumu açıkça bir tutarsızlık yaratmaktadır. Ancak FUCOM Yönteminde toplam tutarlılığın göz önünde olması, sapmaların minimize edilmesi amaçlandığı için güvenilirlik sağlanmaktadır (Ecer, 2020: 121). Tutarlılığa ek olarak modelde matematiksel geçişlilik koşulu da bulunmaktadır. Geçişlilik koşulu modelde kısıt kümesi olarak ifade edilmektedir.

FUCOM modeli çözümünde kriter ağırlıkları ve tam tutarlılıktan sapma $TSS_{(x)}$ derecesi elde edilmektedir. TTS değeri elde edilen kriter ağırlıklarının kriterlerin tahmini karşılaştırmalı önceliklerinden sapma derecesidir ve modelde amaç fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. TTS, kriter ağırlıklarının güvenilir olduğunun bir göstergesidir ve 0 veya sıfıra yakın bir değer alması amaçlanmaktadır.

Yöntemin bir diğer güçlü yanı ise güvenilirliğidir. Güncel hayat problemlerinde kriter sayısı arttıkça tutarlılık azalmaktadır. Benzer amaç taşıyan ve ikili karşılaştırmalar

içeren BWM, AHP, DEMATEL Yöntemlerinde kriter sayısı ardışık artarken karşılaştırmalar üstel olarak artmakta ve bu durum karar vericilere değerlendirmede zorluk teşkil etmektedir. FUCOM Yönteminde n adet kriterin bulunduğu bir problemde (n-1) adet kriter karşılaştırması yapmak yeterlidir. Az sayıda ikili karşılaştırma gerektirmesi nedeniyle fazla sayıda alternatif veya kriterin bulunduğu problemlerde tercih edilebilirlik ve kolaylık sağlamaktadır. (n-1) sayıda ikili karşılaştırma, çözüm için yeterlidir. Yöntem tam sayı veya ondalıklı sayılarla ikili karşılaştırma imkanı sunmaktadır (Pamuçar, Stević, vd., 2018). Bu üstün niteliklere sahip olması nedeniyle bu araştırmada Doğrusal Programlama temelli FUCOM Yöntemi ağırlık katsayılarının optimal değerlerini hesaplamada kullanılacaktır.

ÇKKV modeli matematiksel eşitlik hali olarak şu şekilde ifade edilebilir (Matić vd., 2019; Prentkovskis vd., 2018):

$$\text{Max } [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)], n \geq 2, x \in A = [a_1, a_2, \dots, a_m];$$

n	Kriter (adet)	sayısı	A	Alternatif kümesi	A= [a ₁ , a ₂ , ..., a _m]
m	Alternatif sayısı(adet)		a _i	Alternatif değerleri	i = (1, 2, ..., m)
f_j	Kriter değerleri		j=(1, 2, ..., n)		

$$f_{ij} = f_j(a_i), \forall (i, j);$$

f_{ij} Her bir f_j kriteri ve her bir a_i alternatifi için göreceli tercih değeri i = (1, 2, ..., m), j = (1, 2, ..., n)

n adet kriter, m adet alternatif için f_j kriterleri temsil eder (j=(1, 2, ..., n) ve A alternatif kümesini oluşturur, a_i (i = 1, 2, ..., m). f_{ij} değeri her bir f_j kriteri ve her bir a_i alternatifi için göreceli tercih değeridir.

$f_{ij} = f_j(a_i), \forall (i, j); i = (1, 2, \dots, m); j = (1, 2, \dots, n)$ (Pamuçar, Stević, vd., 2018b: 5).

Yöntem üç adımda çözülebilmektedir.

Adım 1: Değerlendirme kriterleri kümesi (C) Eşitlik (29) şeklinde oluşturulmakta ve (n) adet kriter Eşitlik (30) şeklinde önem derecelerine göre sıralanmaktadır.

C Değerlendirme kriterleri kümesi

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (29)$$

Ardından kriterler hiyerarşik bir yapıda karşılaştırmaya tabi tutulmaktadır. Sıralama kriterlerin önemine göre en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenen kriterden önem derecesi en düşük olan kritere doğru yapılmakta, bu durum “>>” ifadesi ile temsil edilmektedir. Eşitlikte “k” ifadesi, ilgili kriterin derecesini göstermekte ve gözlemlenen kriterin sırasını temsil etmektedir.

k	Gözlemlenen kriterin derecesi	Saaty'nin (1-9) ölçeğine göre (Saaty, 2001; Saaty ve Vargas, 2007)
$C_{j(k)}$	j Kriterinin k gözlem derecesi	$j = (1, 2, \dots, n)$
$C_{j(1)} \gg C_{j(2)} \gg \dots \gg C_{j(k)}$		(30)

Aynı önem derecesine sahip iki veya daha fazla kriterin varlığı yargısı varsa bu kriterler arasına büyüklük yerine eşitlik (=) ifadesi tercih edilmektedir.

Adım 2: Sıralanan kriterler için karşılaştırmalı öncelik değerleri $\frac{\varphi_{k-1}}{k}$ hesaplanmaktadır. “n” kriter sayısı olmak üzere üstünlük dereceleri (n-1) kadar olacaktır.

Üstünlük dereceleri kümesi gösterimi Eşitlik (31)’de gösterilmektedir.

$$\frac{\varphi_{k-1}}{k} \quad \text{Sıralı kriterler için karşılaştırmalı öncelik değerleri} \quad (n-1) \text{ adet}$$

$$\varphi = [\varphi_{\frac{1}{2}}, \varphi_{\frac{2}{3}}, \varphi_{\frac{3}{4}}, \dots, \varphi_{\frac{k-1}{k}}] \quad (31)$$

Adım 3: Doğrusal programlama modeli yardımıyla sapma değerlerini en küçükleyen amaç fonksiyonu yardımıyla hazırlanmaktadır. Belirtilen üstünlük değerlerinin tutarlılığı sapma değerlerinin küçülmesini sağlamaktadır. x : Sapma değeri olmak üzere amaç fonksiyonu Eşitlik (32) şeklinde ifade edilebilir.

x Tam tutarlılıktan sapma değeri

$$Z_{min} = x \quad (32)$$

Doğrusal programlama modelindeki kısıtlar üç ana kategoride takip eden kısımda incelenmektedir.

Kriterler arasında hiyerarşik sıralı üstünlük değerleri kısıtı bulunmaktadır. Kısıt kategorisi Eşitlik (33)'te kriterler arasında karşılaştırmalı üstünlük dereceleri hesaplanmaktadır. Karşılaştırmalı öncelik vektörleri $\varphi_{\frac{k-1}{k}}: C_{j(k-1)}$ kriterinin $C_{j(k)}$ kriter sıralamasına göre avantaj değeridir.

$\varphi_{\frac{k-1}{k}}$ $C_{j(k-1)}$ kriterinin $C_{j(k)}$ kriter sıralamasına göre avantaj değeri

$w_{j(k)}$ Gözlemlenen k kriterin ağırlık katsayısı oranı

$$\left| \frac{w_{j(k-1)}}{w_{j(k)}} - \varphi_{\frac{k-1}{k}} \right| \leq x \quad (33)$$

Birinci koşul altında n kısıt sayısı olmak üzere (n-1) adet kısıt seti bulunmaktadır. İkinci koşul altında kısıt setinde (n-2) adet kısıt fonksiyonu bulunmakta ve Eşitlik (34)'te ifade edildiği şekilde formüle edilmektedir.

$$\left| \frac{w_{j(k-2)}}{w_{j(k)}} - (\varphi_{\frac{k-2}{k-1}})(\varphi_{\frac{k-1}{k}}) \right| \leq x \quad (34)$$

Üçüncü kısıt setinde ağırlık değerleri toplamının 1'e eşit olması gerekliliği girilmektedir. Kısıt Eşitlik (35)'te görülmektedir.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (35)$$

Son olarak doğrusal programlama gereği negatif olmama doğal şartı ile model sonlandırılmaktadır. Eşitlik (36)'da negatif olmama şartı görülmektedir.

$$w_j \geq 0, \forall j \text{ için} \quad (36)$$

Doğrusal programlama modelinin Excel Çözücü kullanılarak alınan çözümü ile kriter ağırlıkları elde edilecektir.

3.3.3. Tedarikçi Skoru Belirlemede Karmaşık Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi (COPRAS)

Alternatifler için önem fayda dereceleri değerlendirmesi yapan COPRAS (Complex Propostional Assesment) Yöntemi, 1996 yılında Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesi araştırmacıları Kazimieras Zavadskas, Kaklauskas ve Šarka tarafından 1994 yılında literatüre kazandırılmıştır. Yöntem alternatiflerin performans değerlerinin fayda derecesini oransal olarak değerlendirmektedir. Nihayetinde bir karar alternatifinin ideal alternatife kıyasla benzerlik yüzdesi bilinebilmektedir.

COPRAS Yöntemi nicel ve nitel faktörleri değerlendirebilme özelliği ile kullanıcı dostu bir yapı ortaya koymaktadır. Karar alternatiflerini fayda/maliyet odaklı olmasına göre en yüksek ve en düşük değerleriyle değerlendirmektedir. Aşamalı bir değerlendirme imkânı sunan COPRAS'ın diğer ÇKKV Yöntemlerine kıyasla COPRAS'ın bir adım öne geçmesini sağlayan özelliği, alternatifler arasındaki kıyasta yüzdesel olarak iyi veya kötü olma durumunu ortaya koymasıdır. Karar alternatifleri arasında ikili kıyaslamaya ihtiyaç duymamakta böylece işlem sürecinde rahatlık sağlamaktadır. Karar vericiye alternatifleri performans bazında sıralama olanağı sunmaktadır (Atan ve Altan, 2020: 147; Özbek, 2017: 269). Yöntem aşamalar halinde anlatılmaktadır (Hezer vd., 2021: 778-779; Matić vd., 2019; Seker vd., 2023; Zheng vd., 2018).

Adım 1: Karar matrisi oluşturulmaktadır. m adet alternatif ve n adet kriterin bulunduğu bir problemde x_{ij} : $i=(1,2,...,m)$ alternatifinin $j=(1,2,...,n)$ kriteri karşısında performans değeri olmak üzere; X karar matrisi Eşitlik (37) şeklinde sunulmaktadır.

x_{ij} $i=(1,2,...,m)$ alternatifinin $j=(1,2,...,n)$ kriteri karşısında performans değeri

$$[x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (37)$$

Adım 2: Karar matrisi normalize edilmektedir. Farklı ölçek ve birim kullanımından kaynaklanan problemten kurtulup seriler arasında sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla normalize değerler hesaplanmaktadır. Ayrıca normalizasyon işlemi geniş aralıkta değerler içeren problemlerde verileri küçülterek anlaşılmayı kolaylaştırmaktadır. Eşitlik (38) yardımıyla X karar matrisi normalize

edilmekte ve Eşitlik (39)'da bütün alternatiflerin aldığı normalize performans değerleri toplamı Eşitlik (40)'da görülebileceği üzere 1'dir.

$\bar{x}_{ij}$ $i=(1,2,\dots,m)$ alternatifinin $j=(1,2,\dots,n)$ kriteri karşısında normalize performans değeri

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (38)$$

$$X = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (39)$$

$$\sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij} = 1 \quad j = (1,2,\dots,n) \quad (40)$$

Adım 3: Ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilmektedir. Alternatif incelemesinde kriterlerin karara etki oranları, önem düzeyleri eşit değildir. Bu nedenle kriterler ağırlıklandırma işlemine tabi tutulur. Eşitlik (41)'de görülebileceği üzere kriter ağırlık değerleri toplamı 1'dir.

w_j : j kriteri oransal önem ağırlığı olmak üzere, ağırlıklı normalize performans değerleri Eşitlik (42) yardımıyla elde edilir ve yeni ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik (43)'de olduğu gibi gösterilebilir.

w_j $j = (1,2,\dots,n)$ Kriteri için ağırlık katsayısı

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, \quad j = (1,2,\dots,n) \quad (41)$$

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j \quad (42)$$

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (43)$$

$$\sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij} = w_j, \quad j = (1, 2, \dots, n) \quad (44)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} = 1 \quad (45)$$

Yeni durumda her bir kriter için bütün alternatiflerin ağırlıklı performans değerleri toplamı Eşitlik (44) şeklinde ilgili kriterin ağırlığına eşittir. Matris elemanları toplamı, bütün alternatif ve kriterler için elde edilen ağırlıklı performans değerleri toplamı, Eşitlik (45)'de görülebileceği şekilde 1'dir.

Adım 4: Fayda ve maliyet odaklı toplam ağırlıklı normalize değerler hesaplanır. Büyük olmaları amaca uygun olan fayda yönlü kriterler toplamı (S_{+i} değerleri) Eşitlik (46) yardımıyla, küçük olması arzu edilen maliyet yönlü kriterler toplamı (S_{-i} değerleri) Eşitlik (47) yardımıyla hesaplanır.

$\bar{x}_{+ij}$	Fayda yönlü $i = (1, 2, \dots, m)$ alternatifinin karşısındaki ağırlıklı performans değerleri	$j = (1, 2, \dots, n)$ kriteri
$\bar{x}_{-ij}$	Maliyet yönlü $i = (1, 2, \dots, m)$ alternatifinin karşısındaki ağırlıklı performans değerleri	$j = (1, 2, \dots, n)$ kriteri
S_{+i}	Fayda yönlü toplam ağırlıklı normalize değerler	
S_{-i}	Maliyet yönlü toplam ağırlıklı normalize değerler	
k	$j = (1, 2, \dots, n)$ Kriterlerinin maksimizasyon amacı taşıyan kriterleri kümesi $k \in \{1, 2, \dots, n \mid \text{maksimizasyon}\}$	

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k \bar{x}_{+ij} \quad (46)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=k+1}^n \bar{x}_{-ij} \quad (47)$$

Eşitsizliklerde bulunan $\bar{x}_{+ij}$ ve $\bar{x}_{-ij}$ ağırlıklı normalize performans değerleri fayda ve maliyet yönlü olma durumuna göre ayrılmış değerleri ifade etmektedir.

Adım 5: Alternatifler için göreceli önem değerlerinin hesaplanması.

Dördüncü adımda elde edilen fayda maliyet odaklı S_{+i} , S_{-i} toplam değerleri her bir alternatif için hedeflenen amaca ulaşılma derecesidir. Elde edilen toplam parametreler Q_i : i . Alternatif için göreceli önem değeri olmak üzere, Eşitlik (48) kullanılarak elde edilmektedir. Eşitlikte bulunan S_{-min} değeri en küçük S_{-i} değerini ifade etmektedir. Q_i Değerinin yüksek olması ilgili alternatif için istenilen durumdur.

Q_i $i = (1, 2, \dots, m)$ Alternatifi için göreceli önem değeri

S_{-min} En küçük S_{-i} değeri

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_{-min}}{S_{-i}} \right)} \quad (48)$$

Adım 6: Performans indeks değerlerinin hesaplanması adıımıdır. Eşitlik (49) yardımıyla hesaplanan alternatiflerin yüzdesel performans endeksi alternatiflerin en ideal alternatif ile kıyaslanması amacıyla kullanılmaktadır.

P_i $i = (1, 2, \dots, m)$ Alternatifi için performans indeks değeri

$$P_i = \left[\frac{Q_i}{Q_{maks}} \right] \%100, \quad i = (1, 2, \dots, m) \quad (49)$$

Oransal bir yüzde olan performans değerleri, ideal alternatif yüzde yüz iken alternatiflere %0 ve %100 aralığında değerler sunmaktadır.

Adım 7: Alternatiflerin değerlendirilmesi, tercih sıralamasının elde edilmesi aşamasıdır. Son olarak P_i değerleri büyük değerden küçük değere doğru sıralanarak mevcut kriterlerle problem değerlendirilmiş olmaktadır ve alternatif sıralaması iyiden kötüye şeklinde elde edilmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMININ BİR HASTANE ZİNCİRİNDE UYGULANMASI

Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarım problemi modelinin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla yapılan örnek olay incelemesine ve bulgulara yer verilecektir. Yöntemin uygulanabilirliğini denetlemek amacıyla Türkiye’de faaliyet gösteren bir hastane üzerinde inceleme yapılmıştır.

Matematiksel modelde kullanılan veri setinin tanıtımı ile başlayan bölüm, IFS ve ÇKKV ile tedarikçi değerlendirme yöntemleri ile tedarikçi puan parametresinin oluşturulması aşaması ile devam etmektedir. Araştırma sonuçları ve tartışma kısmı ile devam eden bölüm seçilen bazı parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerini gözlemlemek amacıyla gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile sonlandırılmaktadır. Problem IBM ILOG CPLEX 20.1.0 programı akademik versiyonu vasıtasıyla Intel (R) Core (TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30 GHz işlemcili, 64 bit işletim sistemli, 16.0GB RAM takılı bilgisayar ile çözülmüştür.

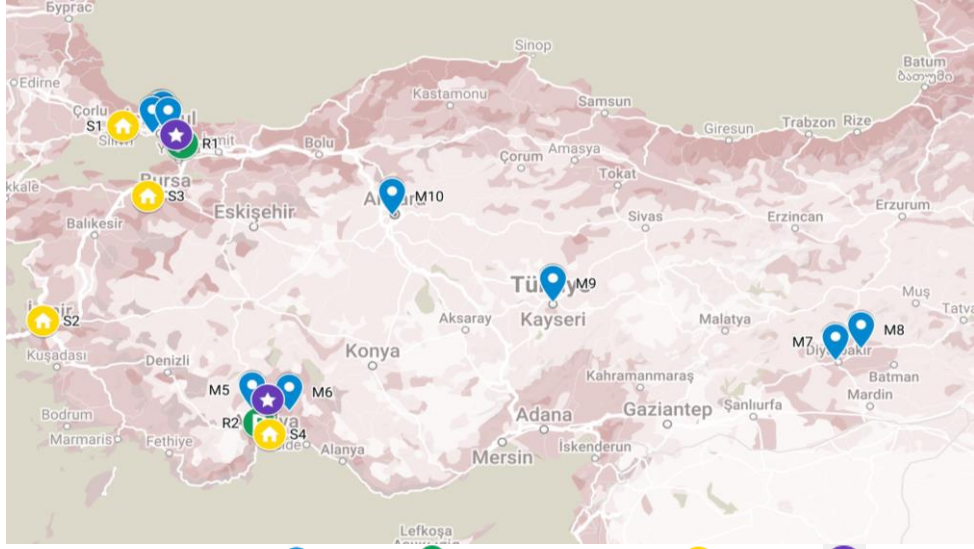
4.1. Matematiksel Modelde Kullanılan Veri Setinin Tanıtılması

Problemin uygulanmasında, sağlık sektörü örnek olay incelemesi için seçilmiş ve Türkiye’de faaliyet gösteren bir hastanede medikal malzeme alımı üzerine yoğunlaşmıştır. Örnek olayda, Tablo 5’te görülebileceği üzere; dört adet tedarikçi (S), iki adet merkezi depo (W), on bir adet talep noktası/ hastane (C) ve iki adet geri dönüşüm merkezi (R) bulunmaktadır. Örnek olayda tedarikçi merkezi depo ve geri dönüşüm merkezi gösterimleri Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 5. Örnek Olayda Tedarikçi Merkezi Depo ve Geri Dönüşüm Merkezi Gösterimleri

Tedarikçi				Merkezi Depo		Geri Dönüşüm Merkezi	
İstanbul	(S ₁ /T ₁)	Bursa	(S ₃ /T ₃)	İstanbul	(W ₁)	İstanbul	(R ₁)
İzmir	(S ₂ /T ₄)	Antalya	(S ₄ /T ₂)	Antalya	(W ₂)	Antalya	(R ₂)

Ağda bulunan noktaların konumları Google MyMaps’ten çekilmiş ve Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 4. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Aktörleri Yerleşimi

Örnek olayda 10 adet hastane yer almaktadır. Hastanelerin bulundukları şehir bilgisi Tablo 6’da görülebilir.

Tablo 6. Örnek Olayda Hastane Konumları ve Sayısı

	Hastaneler	Sayısı
İstanbul	(M_1, M_2, M_3, M_4)	4
Antalya	(M_5, M_6)	2
Diyarbakır	(M_7, M_8)	2
Kayseri	(M_9)	1
Ankara	(M_{10})	1

Arz belirsizliği kaynaklı hammadde temininde sıkıntı olduğu için ele alınan problemde yüksek, orta ve düşük kapasite senaryoları bulunmaktadır. Senaryo 1: yüksek tedarikçi kapasitesi, senaryo 2: orta tedarikçi kapasitesi ve senaryo 3: düşük tedarikçi kapasitesi varsayımlarıdır.

Tablo 7. Tedarikçi ve Depo Düzümleri Arası Mesafeler (km)

Tedarikçi / Depo		İstanbul	Antalya
		W_1	W_2
İstanbul	S_1	75.3	461
İzmir	S_2	336	348
Bursa	S_3	98.6	349
Antalya	S_4	472	52.2

Taşıma maaliyeti verisi oluşturulurken, yakıt miktarı ve dizel yakıtın litre fiyatı dikkate alınmıştır. Yakıt litre fiyatı sabit kabul edilmiş olup 2 Euro olarak hesaba dahil edilmiştir. Tek tip araç kullanılmış ve aracın ortalama yakıt tüketimi 100 km’de 25 lt.

şeklinde dikkate alınmıştır. Sürücü ücreti, saatlik 6 Euro sabit değeri ile işleme alınmıştır. Ortalama araç hızı, 80 km/saat şeklinde kurgulanmıştır.

Tablo 8. Depo ve Hastane Düzümleri Arası Mesafeler (km)

Depo/ Hastane	İstanbul				Antalya		Diyarbakır		Kayseri	Ankara
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
İstanbul W_1	28.5	24.1	27.7	11.4	420	440	995	1024	587	342
Antalya W_2	446	449	439	440	26	32.7	833	871	447	344

Tablo 9. Depolar Arası Mesafeler (km)

Depolar Arası			İstanbul	Antalya
			W_1	W_2
İstanbul		W_1	0	420
Antalya		W_2	420	0

Tablo 10. Depo ve Geri Dönüşüm Merkezleri Düzümleri Arası Mesafeler (km)

Depo/ Geri Dönüşüm Merkezi		İstanbul	Antalya
		R_1	R_2
İstanbul	W_1	14.6	0
Antalya	W_2	0	23.3

Problemde, düğümler arasındaki mesafeler Tablo 7-10'da verilmiştir. Mesafe verileri Google Haritalar 'da en kısa mesafe olarak dikkate alınmıştır. Problemde 12 aylık dönem incelenmektedir. Söz konusu mesafeler, ağ tasarımında yer alan düğümler arasında taşıma maliyetlerini hesaplarken kullanılmıştır.

Tablo 11. Tedarikçi ve Depo Düzümleri Arası Taşıma Maliyetleri

Tedarikçi /Depo		İstanbul	Antalya
		W_1	W_2
İstanbul	S_1	0.03530	0.21609
İzmir	S_2	0.15750	0.16313
Bursa	S_3	0.04622	0.16359
Antalya	S_4	0.22125	0.02447

Çalışmada taşıma maliyeti verileri oluşturulurken, yakıt miktarı ve sürücü ücreti dikkate alınmıştır (Soysal, 2016). Kullanılan araç, standart tipte tek bir araç olarak MAN TGS tipi araç olarak dikkate alınmış olup, ortalama yakıt tüketimi 100 km için 25 litredir. Dizel yakıtın litre fiyatı 2 € olarak, sabit kabul edilmiştir. Sürücü ücreti, saatlik 6 € sabit kabul edilmiştir. Probleme ilişkin taşıma maliyeti verileri Tablo 11-14'te sunulmuştur.

Tablo 12. Depo ve Hastaneler Arası Taşıma Maliyetleri

Depo/ Hastane	İstanbul				Antalya		Diyarbakır		Kayseri	Ankara
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
İstanbul W_1	0.0134	0.0113	0.0130	0.0053	0.1969	0.2063	0.4664	0.4800	0.2752	0.1603
Antalya W_2	0.2091	0.2105	0.2058	0.2060	0.0122	0.0153	0.3905	0.4083	0.2095	0.1613

Tablo 13. Depolar Arası Taşıma Maliyetleri

Depolar Arası		İstanbul	Antalya
		W_1	W_2
İstanbul	W_1	0	0.19688
Antalya	W_2	0.19688	0

Tablo 14. Depo ve Geri Dönüşüm Merkezi Düşümleri Arası Taşıma Maliyetleri

Depo/ Geri Dönüşüm Merkezi		İstanbul	Antalya
		R_1	R_2
İstanbul	W_1	0.00684	0
Antalya	W_2	0	0.01092

Kapasite tüm dönemlerde eşit kabul edilmiştir. Yüksek, orta ve düşük senaryoları tedarikçiler için varsayımsal olarak belirlenmiştir. Senaryoda, bir yüksek arz durumu varsayımsal olarak belirlenip, yüzde yirmilik birimlerde azaltılarak ikinci ve üçüncü senaryolar belirlenmiştir. Kapasitelere ilişkin veriler Tablo 15’te sunulmaktadır.

Tablo 15. Birim Kapasite Verileri

Tedarikçi/ Senaryo	1	2	3
S_1	4000	3200	2560
S_2	4800	3840	3072
S_3	5600	4480	3584
S_4	3200	2560	2048

Talep verileri uzman görüşü alınmış, varsayımsal olarak genellenerek hesaba katılmıştır. Talep değerlerine ilişkin veriler Tablo 16’da görülebilmektedir.

Tablo 16. On İki Zaman Diliminde Hastaneler için Birim Talep Miktarları

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}
M_1	500	600	200	900	1000	1200	1500	1200	500	600	200	900
M_2	700	400	700	400	1200	700	400	1300	700	400	700	400
M_3	800	1200	1400	900	1300	300	1000	700	800	1200	1400	900
M_4	550	650	250	950	1050	1250	1550	1250	550	650	250	950
M_5	670	370	670	370	1170	670	370	1270	670	370	670	370
M_6	720	420	720	420	1220	720	330	1230	630	330	630	330
M_7	380	480	80	780	880	1080	1380	1080	380	480	80	780
M_8	405	505	105	805	905	1105	1405	1105	405	505	105	805
M_9	500	200	500	200	1000	500	200	1100	500	200	500	200
M_{10}	650	350	650	350	1150	650	350	1250	650	350	650	350

Örnek olay incelemesinde ilgili uzmandan paylaşılabılır düzeyde bulunan veriler alınmış, kalan veriler ortalama bir görüşe dayandırılmıştır ve varsayımsal olarak belirtilerek çözüm parametrelerinde kullanılmıştır. Parametrelere ilişkin veri edinme şekli ve değerleri, Tablo 17’de görülebilmektedir.

Uzmanlar bazı bilgileri genel rekabet koşulları nedeniyle vermek istememiş, bazı bilgileri ise sadece bir ürün bazında değerlendirmeyi olanaksız bulmuştur (depo kapasitesi gibi). Bu nedenle uzman görüşünden elde edilen veriler, hesaplanan veriler ve varsayımsal belirlenen veriler kullanılarak problem çözümü elde edilmiştir.

Tablo 17. Parametrelere İlişkin Veri Edinme Şekli ve Değerler

Taşıma maliyet	$c1_{sw}$ Tedarikçiden depoya $c2_{wm}$ Depodan pazara $c3_{ab}$ Depodan depoya (€/birim)	(Yol (km) * km başına ortalama yakıt tüketimi *yakıt litre fiyatı) + Şoför için ödenen ücret (yol (km) / zaman (saat) *şoför saatlik ücreti)) / (toplam ürün akışı)	Tablo (8)		
Depoda bulundurma maliyeti	h_w (€/birim)	Varsayımsal	W_1 0.1	W_2 0.3	
Sabit sipariş maliyeti	k_s (€/parti)	Varsayımsal	S_1/T_1 S_2/T_4 S_3/T_3 S_4/T_2	0.5 0.4 0.8 0.7	
Depo kapasitesi	b_w (birim)	Varsayımsal	W_1 W_2	1300 3000	
Sipariş büyüklüğü	parti d_s	Varsayımsal	800 birim (sabit)		
Atık ürün ceza ve geri dön gönderim maliyeti	$sc[W]$ (€)	Varsayımsal	W_1 W_2	0.05 0.1	
Kapasitelere ait gerçekleşme olasılıkları (0,...,1)	$p_i, (i = 1, 2, 3)$	Varsayımsal	$i=1$ $i=2$ $i=3$	$p_1 = 0.2$ $p_2 = 0.5$ $p_3 = 0.3$	
Raf ömrü	$shlf$ (dönem)	Varsayımsal	2 dönem		
Talep [M][T]	dem (birim)	Varsayımsal	Tablo (16)		
Tedarikçi kapasitesi	cap_{si}^t (birim)	Varsayımsal	Tablo (15)		
Tedarikçi puanı (0,...,1)	scr_s	Uzman Görüşü, IFS, FUCOM, COPRAS	$S_1: 1$ (Tedarikçi 1/ T_1) $S_2: 0.9814$ (Tedarikçi 4/ T_4) $S_3: 0.9685$ (Tedarikçi 3/ T_3) $S_4: 0.9504$ (Tedarikçi 2/ T_4)		

4.2.Karar Kriterleri

Çalışmada tedarikçi değerlendirmede yararlanılacak olan karar kriterleri gruplanmış biçimde Tablo 18’de sunulmuştur. İkinci bölümde görülebileceği üzere söz konusu kriterler “Web of Science” ve “Science Direct” veri tabanlarında amaca yönelik

gerçekleştirilen tarama sonucunda tespit edilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda ana kriterler geleneksel kriterler (C_1), sosyal kriterler (C_2), LARG odaklı (C_3) ve pandemi özel kriterler (C_4) şeklinde belirlenmiştir.

Geleneksel kriterler ana kriterinin altında: maliyet, kalite, risk gözetimi, coğrafik konum kriterleri yer almaktadır. Sosyal kriterler altında: çalışanların teknik yeterlilikleri kazanımları, sosyal sorumluluk, tedarikçi firma itibarı bulunmaktadır.

LARG odaklı kriterler altında: teknik kapasite ve teknoloji entegrasyonu ve yenilikçi beceriler, gelişmiş analizleri sürece dahil etme, sürekli iş birlikleri, çeviklik ve esneklik, güvenlik açığı tespiti ve tepki planları, görünürlük ve cevap verme yeteneği, çevre yönetim sistemi (sertifikalar, sürekli izleme ve mevzuata uygunluk), yeşil ürün (dizayn, geri dönüşüm, yeşil paketleme kapasitesi, malzeme güvenilirliği) ve yeşil yetkinlikler (yeşil depolama, yeşil teknoloji dahil) alt kriterleri bulunmaktadır.

Pandemi özel kriterler ise; mevzuat değişimlerine uyum kabiliyeti ve ekonomik kalkınma programı ve beceri geliştirme, sosyal ve kültürel ilkeler ve uzaktan çalışma, sağlık tehdidi ve çeşitlendirilmiş tedarikçi portföyüdür.

Tablo 18. *Tedarikçi Seçiminde Kullanılabilecek Değerlendirme Kriterleri*

1. Ana kriterler			
C_1	Geleneksel Kriterler		
C_2	Sosyal Kriterler		
C_3	LARG Odaklı Kriterler		
C_4	Pandemi Özel Kriterler		
2. Geleneksel kriterler			
Kod	Kriter	Açıklama	Kaynak
C_{11}	Maliyet	Ürünleri farklı bir yere taşımak için yapılan ve alıcılara aktarılan toplam harcama.	(Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021; Fallahpour vd., 2021; Goker, 2021; U-Dominic vd., 2021; Ilyas vd., 2021; Afrasiabi vd., 2022; Pratap vd., 2021; Shang

			vd., 2022; Magableh ve Mistarihi, 2022)
C_{12}	Kalite (sertifika, kalite yönetim kapasitesi, hurda kalitesi)	Ürün, hizmette ve ana bileşenlerde müşteri ihtiyaçlarını karşılama yeteneğine katkı sunan ürün özellikleri, hizmet düzeyi.	(Magableh ve Mistarihi, 2022; Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021; Wang vd., 2022)
C_{13}	Risk gözetimi	Krizler ve afetler sırasında tehditlerin etkilerini en aza indirmeye yönelik stratejik gözetim. Tedarikçinin acil bir durumda harekete geçme kapasitesini artırmak için varlık, faaliyet, altyapı ve çevre ile ilişkili risklerde farkındalık düzeyi, karmaşa algısı. Tedarikçiye yönelik stabilite ve süreklilik algısı da burada düşünülebilir.	(Magableh ve Mistarihi, 2022; Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021; Shang vd., 2022)
C_{14}	Coğrafik konum	Bir satıcının konumundan tedarikçinin konumuna olan mesafe.	(Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021)

3. Sosyal kriterler

C_{21}	Çalışanların yeterlilikleri kazanımları	teknik	Uygun personelin uygun iş ile görevlendirilmesi, tedarikçinin, çalışanların sağlığını ve yaşamını korumaya yönelik önlemler geliştirme becerisi, işçi eğitimleri ve eğitim tesislerinin varlığı, politika oluşturma ve uyumluluk.	(Afrasiabi vd., 2022; Orji ve Ojadi, 2021; Shang vd., 2022; Shao vd., 2022; Magableh ve Mistarihi, 2022; U-Dominic vd., 2021)
C_{22}	Sosyal sorumluluk		Kamuoyunu aydınlatma, paydaşların toplumsal baskılarına doğru tepki, tedarikçi firmanın tüm paydaşlarına açık anlaşılır bilgi verme yükümlülüğünü karşılaması, müşteri beklentileri, memnuniyeti ve katılımı.	(Orji ve Ojadi, 2021; Petrudi vd., 2021; Shao vd., 2022; U-Dominic vd., 2021; Fallahpour vd., 2021; Goker, 2021; Shang vd., 2022)
C_{23}	Tedarikçi firma itibarı		Firma paydaşlarının tedarikçi hakkında sahip olduğu itibar ve genel kanaat.	(Chen vd., 2021; Ilyas vd., 2021; Petrudi vd., 2021; Shang vd., 2022)

4. LARG Odaklı Kriterler

C_{31}	Teknik kapasite ve teknoloji entegrasyonu ve yenilikçi beceriler		Tedarikçinin gelişmiş üretim süreçleri ve teknolojileri ile başa çıkmak için uyum sağlama ve sonuç olarak teknolojik şoklara karşı dirençli olma yeteneği.	(Afrasiabi vd., 2022; Afrasiabi vd., 2022; Fallahpour vd., 2021; Magableh ve Mistarihi, 2022; Mohammed, Yazdani, Oukil,
----------	--	--	--	---

			Santibanez vd., 2021)	Gonzalez,
C_{32}	Gelişmiş analizleri sürece dahil etme	Bilinen sorunların daha iyi anlaşılmasına ve daha önce çözülmemeyen veya bilinmeyen sorunların çözülmesine odaklanma ve gelişmiş veri analizi ile karar verme sürecini iyileştirme becerisi.	(Afrasiabi vd., 2022; Fallahpour vd., 2021; Tavana vd., 2018; Goker, 2021; Shang vd., 2022; Shao vd., 2022; U-Dominic vd., 2021; Wang vd., 2022)	
C_{33}	Sürekli iş birlikleri	Tedarik zincirine dahil olan tüm aktörler arasında iş birliğini artırmak için fiziksel sınırların içinde ve ötesinde yeteneklere sahiplik.	(Magableh ve Mistarihi, 2022; Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021; Shang vd., 2022; Tavana vd., 2018)	
C_{34}	Çeviklik ve esneklik	Fazla envanter, yedek bulundurma, onarıcı kapasite.	(Afrasiabi vd., 2022; Fallahpour vd., 2021; Magableh ve Mistarihi, 2022; Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021; Shang vd., 2022; Shao vd., 2022; Tavana vd., 2018)	
C_{35}	Güvenlik açığı tespiti ve tepki planları	Kriz sırasında başarıyı artırma fırsatları için değerlendirme ve planlama yapma, tedarikçinin, esnek ve yapılandırılmış bir satış ve operasyon planlama şeması aracılığıyla farklı olası tehdit türlerini belirleme ve bunlara tepki verme kapasitesi.	(Afrasiabi vd., 2022; Magableh ve Mistarihi, 2022)	
C_{36}	Görünürlük ve cevap verme yeteneği	Satıcıların ilgili bilgileri müşterileriyle paylaşma istekliliği.	(Tavana vd., 2018; Mohammed, Yazdani, Oukil, ve Santibanez Gonzalez, 2021; Goker, 2021)	
C_{37}	Çevre yönetim sistemi (sertifikalar, sürekli izleme ve mevzuata uygunluk)	Tedarikçi tarafından gerçekleştirilen çevresel faaliyetlerin takibi, değerlendirilmesi, kontrolü, tedarikçinin çevre politikaları ve hedefleri.	(Afrasiabi vd., 2022; Mahmoudi vd., 2021; Orji ve Ojadi, 2021; Shang vd., 2022; Shao vd., 2022; U-Dominic vd., 2021; Wang vd., 2022)	

C ₃₈	Yeşil ürün (dizayn, geri dönüşüm, yeşil paketleme kapasitesi, malzeme güvenilirliği) ve Yeşil yetkinlikler (yeşil depolama, yeşil teknoloji dahil)	Tedarikçi tarafından, yaşam döngüleri boyunca minimum çevresel etkiye sahip ürünler üretmek için tasarlanan stratejiler, tedarikçinin, yeniden kullanım için ürün tasarımı da dahil olmak üzere çevresel etkileri azaltmak için yeni ürün geliştirmeye yatırım yapma isteği, Ürün yaşam döngüsü boyunca çevresel etkiyi azaltacak tasarım sunma yeteneği. Doğal kaynaklara etkinin azaltılması için süreç ve ürünü değiştirme yeteneği	(Afrasiabi vd., 2022; Fallahpour vd., 2021; Mahmoudi vd., 2021; Orji ve Ojadi, 2021; Shang vd., 2022; U-Dominic vd., 2021; Wang vd., 2022)

5. Pandemi Özel Kriterler

C ₄₁	Mevzuat değişimlerine uyum kabiliyeti ve ekonomik kalkınma programı ve beceri geliştirme	Mevzuat değişiklikleri takibi ve hızlı uyumlanma kabiliyeti.	(Orji ve Ojadi, 2021; U-Dominic vd., 2021; Petrudi vd., 2021)
C ₄₂	Sosyal ve kültürel ilkeler ve uzaktan çalışma	Risk yönetimi, hastalık takibi süreçlerinde firmanın içinde bulunduğu sosyolojik koşullar.	(Orji ve Ojadi, 2021; U-Dominic vd., 2021; Petrudi vd., 2021)
C ₄₃	Sağlık tehdidi	Kişisel koruyucu ekipman kullanımı, pandemi şiddeti, aşı edinme hızı, güvenlik ve sağlık uygulamaları, pandemi kontrol performansı, COVID-19 salgını sırasındaki sağlamlık ve hükümet önlemleri.	(Chen vd., 2021; Magableh ve Mistarihi, 2022; Orji ve Ojadi, 2022; U-Dominic vd., 2021)
C ₄₄	Çeşitlendirilmiş tedarikçi portföyü	Gelen siparişi temin edebilmek için tedarikçi portföyünün genişliği.	(Mohammed, Yazdani, Oukil, Santibanez Gonzalez, vd., 2021; Petrudi vd., 2021)

Tabloda geleneksel, sosyal, çevresel, LARG odaklı ve pandemi özel olmak üzere beş ana kriter altında, tedarikçi değerlendirmesinde kullanılabilecek kriter önerileri sunulmaktadır. Pandemi özel koşullar firma kontrolü altında bulunmayan dönemsel bir değerlendirme gerektirdiği gibi, firmanın içerisinde bulunduğu idari yönetimi de değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Şüphesiz ki organizasyonlar içinde bulundukları sosyal, çevresel koşullardan, idari otoritelerin risk gözetimi politikalarından da etkilenmektedir.

4.3.Bulanık Sezgisel Küme Teorisi (IFS)

Çalışmanın bu bölümünde Ankara’da bulunan bir hastane için serum seti alımında IFS ile karar vericilerin değerlendirildiği bir uygulama yapılmıştır. Literatür taraması ve uzman görüşleri yardımıyla belirlenen seçim kriterleri Tablo 19’da sunulan, sağlık sektöründe yer alan satın alma sorumlusu, ameliyathane ve sterilizasyon klinik eğitmeni ve tedarikçi seçimi alanında çalışmaları olan bir akademisyen tarafından değerlendirilmiştir.

Yapılan araştırmada görülmüştür ki; literatürde karar verme sürecine üç uzmanın katkısı yeterli görülmektedir (Amin ve Zhang, 2013: 1410). Araştırmada uzman değerlendirmelerinin önem dereceleri hesaplanarak uygun tedarikçi seçimi amaçlanmaktadır.

Tablo 19. Karar Verici Bilgileri

Uzman	Sektör	Tecrübe	Çalışılan Pozisyon
U_1	Sağlık	15	Satın Alma Sorumlusu
U_2	Sağlık	10	Ameliyathane ve Sterilizasyon Klinik Eğitmeni
U_3	Eğitim	17	Akademisyen

Dört ana ve on dokuz alt kriter için 4 alternatif tedarikçi belirlenmiştir. Uzman önem dereceleri Tablo 20’de görülebileceği şekilde belirlenir. Belirlenen önemlilik seviyeleri satın alma sorumlusu için çok önemli, akademisyen için önemli ve ameliyathane ve sterilizasyon klinik eğitmeni için orta şeklindedir. Bu şekilde belirlenmesinin sebebi tedarikçi seçimi karar sürecinde doğrudan veya dolaylı olarak rol alma durumunun yanı sıra uzmanların sahip oldukları tecrübeleridir.

Tablo 20. Karar Verici Değerlendirmesi

Uzman 1	U_1	Çok Önemli
Uzman 2	U_2	Orta
Uzman 3	U_3	Önemli

Ardından Eşitlik (27) yardımıyla, her bir uzman için önem ağırlıkları Tablo 21 şeklinde bulunur (Yurtyapan, 2019: 19).

Tablo 21. Karar Verici Uzmanların Önem Ağırlıkları

	μ_1	v_1	π_1	$\mu_1 + \pi_1(\frac{\mu_1}{\mu_1 + v_1})$	Önem Dereceleri
U_1	0.80	0.10	0.10	0.88889	0.42264
U_2	0.50	0.50	0	0.50000	0.23774
U_3	0.50	0.20	0.30	0.71428	0.33962
Payda				2.10317	

Çalışmanın devamında her bir uzman, mesleki tecrübelerinden yararlanarak tedarikçi seçim kriterlerini değerlendirmektedir. Söz konusu değerlendirmeler FUCOM Yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde IFS yardımıyla uzmanlara atfedilen önem ağırlıkları kriterlerin nihai ağırlıklarını hesaplamada takip eden bölümde kullanılmaktadır.

4.4.Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde her bir uzmandan literatür taraması sonucunda elde edilen dört ana boyut halinde özetlenen tedarikçi seçim kriterlerini önem derecesine göre değerlendirmesi istenmiştir.

Tablo 22. Ana ve Alt Kriterler için Uzman Tercih Sıralaması

	U_1	U_2	U_3
Ana kriter	$C_1 \gg C_2 \gg C_3 \gg C_4$	$C_2 \gg C_3 \gg C_1 \gg C_4$	$C_1 \gg C_2 \gg C_3 \gg C_4$
C_1	$C_{11} \gg C_{12} \gg C_{13} \gg C_{14}$	$C_{13} \gg C_{12} \gg C_{11} \gg C_{14}$	$C_{11} \gg C_{12} \gg C_{14} \gg C_{13}$
C_2	$C_{22} \gg C_{21} \gg C_{23}$	$C_{22} \gg C_{21} = C_{23}$	$C_{23} \gg C_{21} \gg C_{22}$
C_3	$C_{31} = C_{33} \gg C_{35} \gg C_{32}$ $\gg C_{34}$ $\gg C_{36}$ $\gg C_{37}$ $\gg C_{38}$	$C_{31} \gg C_{33} \gg C_{32} = C_{35}$ $\gg C_{34}$ $\gg C_{36}$ $\gg C_{38}$ $\gg C_{37}$	$C_{31} \gg C_{33} \gg C_{32} \gg C_{37}$ $\gg C_{38}$ $\gg C_{34}$ $\gg C_{35}$ $\gg C_{36}$
C_4	$C_{43} \gg C_{41} \gg C_{42} = C_{44}$	$C_{42} \gg C_{41} \gg C_{43} \gg C_{44}$	$C_{44} \gg C_{41} \gg C_{42} \gg C_{43}$

Geleneksel, sosyal, LARG odaklı ve pandemi özel kriterlerin kendi iç ilişkisindeki ve birbirleri arasındaki önem sıralamaları FUCOM Tam Tutarlılık Yaklaşımı ile incelenerek uzmanlar için kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

Uzman kişilerden Tablo 18’de gösterilen ana ve alt kriterler için tercih sırası belirlemeleri istenmiş ve Tablo 22’de bulunan uzman tercih sıralaması elde edilmiştir. Uzmanlar için ana kriterlerde tercih sıralamaları alınmış ve Tablo 22’de gösterilmiştir. Karar verici konumunda yer alan uzmanlardan ana kriterleri kendi aralarında önem sırasına göre belirtmeleri istenmiştir.

4.4.1.FUCOM Yöntemi ile Ana Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Uzmanlar tarafından sunulan tercih sıralamalarına dayanarak FUCOM matematiksel modeli oluşturulmuştur. Daha önceki bölümlerde detayları ile verilen FUCOM adımları uygulanmaktadır.

Adım 1: Uzmanların ana kriterler arasındaki öncelik tercih sıralaması Tablo 23-24 şeklinde sunulmaktadır.

Tablo 23. Uzman Tercih Sıralamaları

Uzman	Tercih	Uzman	Tercih	Uzman	Tercih
U_1	$C_1 \gg C_2 \gg C_3 \gg C_4$	U_2	$C_2 \gg C_3 \gg C_1 \gg C_4$	U_3	$C_1 \gg C_2 \gg C_3 \gg C_4$

Tablo 24. Uzman Tercih Değerleri

	Kriterler	C_1	C_2	C_3	C_4
U_1	Değerlendirmeler	1	2	3	4
U_2	Kriterler	C_2	C_3	C_1	C_4
	Değerlendirmeler	1	2	3	4
U_3	Kriterler	C_1	C_2	C_3	C_4
	Değerlendirmeler	1	2	3	4

Adım 2: Yöntemin ikinci adımında kriterler arası önceliklere dayalı olarak tercih dereceleri Tablo 25 şeklinde hesaplanmaktadır.

Tablo 25. Uzman Tercih Dereceleri

U_1	$\varphi_{c1/c2} = 2/1 = 2$	$\varphi_{c2/c3} = 3/2 = 1.5$	$\varphi_{c3/c4} = 4/3 = 1.33$
U_2	$\varphi_{c2/c3} = 2/1 = 2$	$\varphi_{c3/c1} = 3/2 = 1.5$	$\varphi_{c1/c4} = 4/3 = 1.33$
U_3	$\varphi_{c1/c2} = 2/1 = 2$	$\varphi_{c2/c3} = 3/2 = 1.5$	$\varphi_{c3/c4} = 4/3 = 1.33$

Adım 3: Yöntemin üçüncü adımında ağırlık katsayı koşulları hazırlanmaktadır.

Koşul 1: Ağırlık katsayı oranı ile karşılaştırmalı öncelik oranları eşitlenmelidir.

$$\begin{array}{llll}
 U_1 & \frac{w_1}{w_2} = 2 & \frac{w_2}{w_3} = 1.5 & \frac{w_3}{w_4} = 1.33 \\
 U_2 & \frac{w_2}{w_3} = 2 & \frac{w_3}{w_1} = 1.5 & \frac{w_1}{w_4} = 1.33 \\
 U_3 & \frac{w_1}{w_2} = 2 & \frac{w_2}{w_3} = 1.5 & \frac{w_3}{w_4} = 1.33
 \end{array}$$

Koşul 2: Matematiksel geçişlilik koşulu sağlanmalıdır.

$$\begin{array}{ll}
 U_1 & \frac{w_1}{w_3} = \frac{w_1}{w_2} \otimes \frac{w_2}{w_3} = 2 \otimes 1.5 = 3 \quad \frac{w_2}{w_4} = \frac{w_2}{w_3} \otimes \frac{w_3}{w_4} = 1.5 \otimes 1.33 = 1.995 \\
 U_2 & \frac{w_2}{w_1} = \frac{w_2}{w_3} \otimes \frac{w_3}{w_1} = 2 \otimes 1.5 = 3 \quad \frac{w_3}{w_4} = \frac{w_3}{w_1} \otimes \frac{w_1}{w_4} = 1.5 \otimes 1.33 = 1.995 \\
 U_3 & \frac{w_1}{w_3} = \frac{w_1}{w_2} \otimes \frac{w_2}{w_3} = 2 \otimes 1.5 = 3 \quad \frac{w_2}{w_4} = \frac{w_2}{w_3} \otimes \frac{w_3}{w_4} = 1.5 \otimes 1.33 = 1.995
 \end{array}$$

Nihai olarak her bir uzman değerlendirmesi uyarınca, koşulları karşılayan ve tam tutarlılıktan sapma değerini minimize eden FUCOM doğrusal programlama modeli oluşturulur. Her bir uzman için kurulan FUCOM modelleri şu şekildedir:

$$\begin{array}{c}
 U_1 \\
 \min x \\
 \text{Öyle ki,} \\
 \left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{w_1}{w_2} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_2}{w_3} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.33 \right| : \\ \left| \frac{w_1}{w_3} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_2}{w_4} - 1.995 \right| \leq x \\ \sum_{i=1}^4 w_i = 1, w_i \geq 0, \forall i \end{array} \right.
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 U_2 \\
 \min x \\
 \text{Öyle ki,} \\
 \left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{w_2}{w_3} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_3}{w_1} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_1}{w_4} - 1.33 \right| : \\ \left| \frac{w_2}{w_1} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.995 \right| \leq x \\ \sum_{i=1}^4 w_i = 1, w_i \geq 0, \forall i \end{array} \right.
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 U_3 \\
 \min x \\
 \text{Öyle ki,} \\
 \left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{w_1}{w_2} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_2}{w_3} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.33 \right| : \\ \left| \frac{w_1}{w_3} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_2}{w_4} - 1.995 \right| \leq x \\ \sum_{i=1}^4 w_i = 1, w_i \geq 0, \forall i \end{array} \right.
 \end{array}$$

Kriterlerin nihai ağırlıkları Excel Çözücü yardımıyla hesaplanır.

U_1	$w_{c1} = 0.48$	$w_{c2} = 0.24$	$w_{c3} = 0.16$	$w_{c4} = 0.12$
U_2	$w_{c1} = 0.16$	$w_{c2} = 0.48$	$w_{c3} = 0.24$	$w_{c4} = 0.12$
U_3	$w_{c1} = 0.48$	$w_{c2} = 0.24$	$w_{c3} = 0.16$	$w_{c4} = 0.12$

Tam tutarlılıktan sapma derecesi (TTS) değerleri $x = 0$ şeklinde elde edilmiştir ve bu durum ikili karşılaştırmalar arasında tam tutarlılık vardır şeklinde yorumlanmaktadır. Ana kriterlere ilişkin ağırlıklar bu aşamada elde edilmiş olup söz konusu değerler nihai ağırlığın belirlenmesinde kullanılacaktır. Aynı süreç her bir alt kriterin kendi içindeki ilişkisini incelemek ve önem ağırlıklarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir.

4.4.2. Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Her bir ana kriter için FUCOM aşamaları takip edilerek alt kriter ağırlıkları alt bölümlerde görülebileceği üzere hesaplanmaktadır.

4.4.2.1. Geleneksel Kriterler için Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Adım 1: Uzmanlar geleneksel kriterler arasındaki öncelik sıralamasını Tablo 26 şeklinde sunmaktadır.

Tablo 26. *Tedarikçi Seçiminde Geleneksel Boyuta İlişkin Alt Kriter Sıralama ve Tercih Değerleri*

Uzman	Sıralama/Tercih	Tercih Değerleri			
U_1	$C_{11} \gg C_{12} \gg C_{13} \gg C_{14}$	Kriter	C_{11}	C_{12}	C_{13}
		Değer	1	2	3
U_2	$C_{13} \gg C_{12} \gg C_{11} \gg C_{14}$	Kriter	C_{13}	C_{12}	C_{11}
		Değer	1	2	3
U_3	$C_{11} \gg C_{12} \gg C_{14} \gg C_{13}$	Kriter	C_{11}	C_{12}	C_{14}
		Değer	1	2	3

Adım 2: İkinci adımda önceliklere dayalı dereceler Tablo 27 şeklinde hesaplanmaktadır.

Tablo 27. *Tedarikçi Seçiminde Geleneksel Boyuta İlişkin Alt Kriter Öncelik Dereceleri*

U_1	$\varphi_{C_{11}/C_{12}} = 2/1 = 2$	$\varphi_{C_{12}/C_{13}} = 3/2 = 1.5$	$\varphi_{C_{13}/C_{14}} = 4/3 = 1.33$
U_2	$\varphi_{C_{13}/C_{12}} = 2/1 = 2$	$\varphi_{C_{12}/C_{11}} = 3/2 = 1.5$	$\varphi_{C_{11}/C_{14}} = 4/3 = 1.33$
U_3	$\varphi_{C_{11}/C_{12}} = 2/1 = 2$	$\varphi_{C_{12}/C_{14}} = 3/2 = 1.5$	$\varphi_{C_{14}/C_{13}} = 4/3 = 1.33$

Adım 3: Ağırlık katsayılarının koşulları hazırlanmaktadır.

Koşul 1: Ağırlık katsayı oranı ile karşılaştırmalı öncelik oranları eşitlenmelidir.

$$\begin{array}{l}
 U_1 \quad \frac{w_{11}}{w_{12}} = 2 \quad \frac{w_{12}}{w_{13}} = 1.5 \quad \frac{w_{13}}{w_{14}} = 1.33 \\
 U_2 \quad \frac{w_{13}}{w_{12}} = 2 \quad \frac{w_{12}}{w_{11}} = 1.5 \quad \frac{w_{14}}{w_{11}} = 1.33 \\
 U_3 \quad \frac{w_{12}}{w_{11}} = 2 \quad \frac{w_{11}}{w_{12}} = 1.5 \quad \frac{w_{14}}{w_{13}} = 1.33
 \end{array}$$

Koşul 2: Matematiksel geçişlilik koşulu sağlanmalıdır.

$$\begin{array}{l}
 U_1 \quad \frac{w_{11}}{w_{13}} = \frac{w_{11}}{w_{12}} \otimes \frac{w_{12}}{w_{13}} = 2 \otimes 1.5 = 3 \quad \frac{w_{12}}{w_{14}} = \frac{w_{12}}{w_{13}} \otimes \frac{w_{13}}{w_{14}} = 1.5 \otimes 1.33 = 1.995 \\
 U_2 \quad \frac{w_{13}}{w_{11}} = \frac{w_{13}}{w_{12}} \otimes \frac{w_{12}}{w_{11}} = 2 \otimes 1.5 = 3 \quad \frac{w_{12}}{w_{13}} = \frac{w_{12}}{w_{14}} \otimes \frac{w_{14}}{w_{13}} = 1.5 \otimes 1.33 = 1.995 \\
 U_3 \quad \frac{w_{11}}{w_{14}} = \frac{w_{11}}{w_{12}} \otimes \frac{w_{12}}{w_{14}} = 2 \otimes 1.5 = 3 \quad \frac{w_{13}}{w_{14}} = \frac{w_{13}}{w_{12}} \otimes \frac{w_{12}}{w_{14}} = 1.5 \otimes 1.33 = 1.995
 \end{array}$$

Doğrusal Programlama Modeli kurulur. Uzman bir için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_1 \quad \min x$$

Öyle ki,

$$\begin{cases} \left| \frac{w_{11}}{w_{12}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{12}}{w_{13}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{13}}{w_{14}} - 1.33 \right| \leq x \\ \left| \frac{w_{11}}{w_{13}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{12}}{w_{14}} - 1.995 \right| \leq x \\ \sum_{j=1}^4 w_{ij} = 1, i = \{1\}, w_{ij} \geq 0, \forall j \end{cases}$$

Uzman bir için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_2 \quad \min x$$

Öyle ki,

$$\begin{cases} \left| \frac{w_{13}}{w_{12}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{12}}{w_{11}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{11}}{w_{14}} - 1.33 \right| \leq x \\ \left| \frac{w_{13}}{w_{11}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{12}}{w_{13}} - 1.995 \right| \leq x \\ \sum_{j=1}^4 w_{ij} = 1, i = \{1\}, w_{ij} \geq 0, \forall j \end{cases}$$

Uzman bir için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_3 \quad \min x$$

Öyle ki,

$$\begin{cases} \left| \frac{w_{11}}{w_{12}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{12}}{w_{14}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{14}}{w_{13}} - 1.33 \right| \leq x \\ \left| \frac{w_{11}}{w_{14}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{12}}{w_{13}} - 1.995 \right| \leq x \\ \sum_{j=1}^4 w_{ij} = 1, i = \{1\}, w_{ij} \geq 0, \forall j \end{cases}$$

Kriterlerin nihai ağırlıkları Excel çözücü yardımıyla hesaplanmaktadır.

U_1	$w_{C_{11}} = 0.48$	$w_{C_{12}} = 0.24$	$w_{C_{13}} = 0.16$	$w_{C_{14}} = 0.12$
U_2	$w_{C_{11}} = 0.16$	$w_{C_{12}} = 0.24$	$w_{C_{13}} = 0.48$	$w_{C_{14}} = 0.12$
U_3	$w_{C_{11}} = 0.48$	$w_{C_{12}} = 0.24$	$w_{C_{13}} = 0.12$	$w_{C_{14}} = 0.16$

Tam tutarlılıktan sapma derecesi (TTS) değeri $x = 0$, ikili karşılaştırmalar arasında tam tutarlılık vardır şeklinde yorumlanır.

4.4.2.2. Sosyal Kriterler için Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Adım 1: Uzmanlar sosyal kriterler arasındaki öncelik sıralamasını Tablo 28 şeklinde sunmaktadır.

Tablo 28. Tedarikçi Seçiminde Sosyal Boyuta İlişkin Alt Kriter Sıralama ve Tercih Değerleri

Uzman	Sıralama/Tercih	Tercih Değerleri			
U_1	$C_{22} \gg C_{21} \gg C_{23}$	Kriterler	C_{22}	C_{21}	C_{23}
		Değerlendirmeler	1	2	3
U_2	$C_{22} \gg C_{21} = C_{23}$	Kriterler	C_{22}	C_{21}	C_{23}
		Değerlendirmeler	1	2	2
U_3	$C_{23} \gg C_{21} \gg C_{22}$	Kriterler	C_{23}	C_{21}	C_{22}
		Değerlendirmeler	1	2	3

Adım 2: İkinci adımda önceliklere dayalı dereceler hesaplanmaktadır.

$$\begin{array}{lll} U_1 & \varphi_{C_{22}/C_{21}} = 2/1 = 2 & \varphi_{C_{21}/C_{23}} = 3/2 = 1.5 \\ U_2 & \varphi_{C_{22}/C_{21}} = 2/1 = 2 & \varphi_{C_{21}/C_{23}} = 3/2 = 1 \\ U_3 & \varphi_{C_{23}/C_{21}} = 2/1 = 2 & \varphi_{C_{21}/C_{22}} = 3/2 = 1.5 \end{array}$$

Adım 3: Ağırlık katsayılarının koşulları hazırlanmaktadır.

Koşul 1: Ağırlık katsayı oranı ile karşılaştırmalı öncelik oranları eşitlenmelidir.

$$\begin{array}{lll} U_1 & \frac{w_{22}}{w_{21}} = 2 & \frac{w_{21}}{w_{23}} = 1.5 \\ U_2 & \frac{w_{21}}{w_{22}} = 2 & \frac{w_{23}}{w_{21}} = 1 \\ U_3 & \frac{w_{21}}{w_{23}} = 2 & \frac{w_{21}}{w_{22}} = 1.5 \end{array}$$

Koşul 2: Matematiksel geçişlilik koşulu sağlanmalıdır.

$$\begin{array}{lll} U_1 & \frac{w_{22}}{w_{23}} = \frac{w_{22}}{w_{21}} \otimes \frac{w_{21}}{w_{23}} = 2 \otimes 1.5 = 3 \\ U_2 & \frac{w_{22}}{w_{23}} = \frac{w_{22}}{w_{21}} \otimes \frac{w_{21}}{w_{23}} = 2 \otimes 1 = 2 \\ U_3 & \frac{w_{22}}{w_{23}} = \frac{w_{22}}{w_{21}} \otimes \frac{w_{21}}{w_{23}} = 2 \otimes 1.5 = 3 \end{array}$$

Doğrusal Programlama Modeli kurulur. Uzman bir için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_1 \quad \min x$$

Öyle ki,

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{w_{22}}{w_{21}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{21}}{w_{23}} - 1.5 \right| \leq x \\ \left| \frac{w_{22}}{w_{23}} - 3 \right| \leq x \\ \sum_{j=1}^3 w_j = 1, i = \{2\}, \quad w_j \geq 0, \forall j \end{array} \right.$$

U_2 Uzman iki için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

min x

Öyle ki,

$$\begin{cases} \left| \frac{w_{22}}{w_{21}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{21}}{w_{23}} - 1 \right| \leq x \\ \left| \frac{w_{22}}{w_{23}} - 2 \right| \leq x \\ \sum_{j=1}^3 w_j = 1, i = \{2\}, \quad w_j \geq 0, \forall j \end{cases}$$

Uzman üç için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

U_3

min x

Öyle ki,

$$\begin{cases} \left| \frac{w_{22}}{w_{21}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{21}}{w_{23}} - 1.5 \right| \leq x \\ \left| \frac{w_{22}}{w_{23}} - 3 \right| \leq x \\ \sum_{j=1}^3 w_j = 1, i = \{2\}, \quad w_j \geq 0, \forall j \end{cases}$$

Kriterlerin nihai ağırlıkları Excel çözücü yardımıyla hesaplanmaktadır.

U_1	$w_{C_{21}} = 0.27$	$w_{C_{22}} = 0.55$	$w_{C_{23}} = 0.18$
U_2	$w_{C_{21}} = 0.25$	$w_{C_{22}} = 0.50$	$w_{C_{23}} = 0.25$
U_3	$w_{C_{21}} = 0.27$	$w_{C_{22}} = 0.18$	$w_{C_{23}} = 0.55$

Tam tutarlılıktan sapma derecesi (TTS) değeri $x = 0$ ikili karşılaştırmalar arasında tam tutarlılık vardır şeklinde yorumlanmaktadır.

4.4.2.3. LARG Odaklı Kriterler için Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Adım 1: Uzman 1 LARG odaklı kriterler arasındaki öncelik sıralaması Tablo 29 ve 30'da görülebileceği şekilde sunulmaktadır.

Tablo 29. *Tedarikçi Seçiminde LARG Odaklı Boyuta İlişkin Alt Kriterlerin Öncelik Sıralamaları*

Uzmanlar	Sıralama/Tercih
U_1	$C_{31} = C_{33} \gg C_{35} \gg C_{32} \gg C_{34} \gg C_{36} \gg C_{37} \gg C_{38}$
U_2	$C_{31} \gg C_{33} \gg C_{32} = C_{35} \gg C_{34} \gg C_{36} \gg C_{38} \gg C_{37}$
U_3	$C_{31} \gg C_{33} \gg C_{32} \gg C_{37} \gg C_{38} \gg C_{34} \gg C_{35} \gg C_{36}$

Tablo 29'da sunulan öncelik sıralamaları, Tablo 30'da alt kriterler için atanan tercih değerlerine dönüştürülmüştür. Eşit olarak ifade edilen alt kriterlerin aynı değerleri alması dikkat çeken bir unsurdur.

Tablo 30. Tedarikçi Seçiminde Geleneksel Boyuta İlişkin Alt Kriterlerin Tercih Değerleri

U_1	Kriterler	C_{31}	C_{33}	C_{35}	C_{32}	C_{34}	C_{36}	C_{37}	C_{38}
	Değerlendirmeler	1	1	2	3	4	5	6	7
U_2	Kriterler	C_{31}	C_{33}	C_{32}	C_{35}	C_{34}	C_{36}	C_{38}	C_{37}
	Değerlendirmeler	1	2	3	3	4	5	6	7
U_3	Kriterler	C_{31}	C_{33}	C_{32}	C_{37}	C_{38}	C_{34}	C_{35}	C_{36}
	Değerlendirmeler	1	2	3	4	5	6	7	8

Adım 2: Yöntemin ikinci adımında önceliklere dayalı dereceler hesaplanmaktadır:

U_1	$\varphi_{C_{31}/C_{33}}$ = 1	$\varphi_{C_{33}/C_{35}}$ = 2	$\varphi_{C_{35}/C_{32}}$ = 1.5	$\varphi_{C_{32}/C_{34}}$ = 1.33	$\varphi_{C_{34}/C_{36}}$ = 1.25	$\varphi_{C_{36}/C_{37}}$ = 1.2	$\varphi_{C_{37}/C_{38}}$ = 1.16
U_2	$\varphi_{C_{31}/C_{33}}$ = 2	$\varphi_{C_{33}/C_{35}}$ = 1.5	$\varphi_{C_{35}/C_{32}}$ = 1	$\varphi_{C_{32}/C_{34}}$ = 1.33	$\varphi_{C_{34}/C_{36}}$ = 1.25	$\varphi_{C_{36}/C_{37}}$ = 1.2	$\varphi_{C_{37}/C_{38}}$ = 1.16
U_3	$\varphi_{C_{31}/C_{33}}$ = 2	$\varphi_{C_{33}/C_{35}}$ = 1.5	$\varphi_{C_{35}/C_{32}}$ = 1.33	$\varphi_{C_{32}/C_{34}}$ = 1.25	$\varphi_{C_{34}/C_{36}}$ = 1.2	$\varphi_{C_{36}/C_{37}}$ = 1.17	$\varphi_{C_{37}/C_{38}}$ = 1.142

Adım 3: Üçüncüm adımda ağırlık katsayılarının koşulları hazırlanmaktadır.

Üçüncü adımda FUCOM modelinin kısıtlarını oluşturan koşullar matematiksel olarak ifade edilmektedir. İki kısıt kümesinden oluşan eşitlikler şu şekildedir:

Koşul 1: Ağırlık katsayı oranı ile karşılaştırmalı öncelik oranları eşitlenmelidir.

U_1	$\frac{w_{31}}{w_{33}} = 1$	$\frac{w_{33}}{w_{35}} = 2$	$\frac{w_{35}}{w_{32}} = 1.5$	$\frac{w_{32}}{w_{34}} = 1.33$	$\frac{w_{34}}{w_{36}} = 1.25$	$\frac{w_{36}}{w_{37}} = 1.2$	$\frac{w_{37}}{w_{38}} = 1.16$
U_2	$\frac{w_{31}}{w_{33}} = 2$	$\frac{w_{33}}{w_{35}} = 1.5$	$\frac{w_{35}}{w_{32}} = 1$	$\frac{w_{32}}{w_{34}} = 1.33$	$\frac{w_{34}}{w_{36}} = 1.25$	$\frac{w_{36}}{w_{37}} = 1.2$	$\frac{w_{37}}{w_{38}} = 1.16$
U_3	$\frac{w_{31}}{w_{33}} = 2$	$\frac{w_{33}}{w_{35}} = 1.5$	$\frac{w_{35}}{w_{32}} = 1.33$	$\frac{w_{32}}{w_{34}} = 1.25$	$\frac{w_{34}}{w_{36}} = 1.2$	$\frac{w_{36}}{w_{37}} = 1.17$	$\frac{w_{37}}{w_{38}} = 1.142$

Koşul 2: Matematiksel geçişlilik koşulu sağlanmalıdır.

U_1	$\frac{w_{31}}{w_{35}} = \frac{w_{31}}{w_{33}} \otimes \frac{w_{33}}{w_{35}} = 1 \otimes 2 = 2$	$\frac{w_{33}}{w_{32}} = \frac{w_{33}}{w_{35}} \otimes \frac{w_{35}}{w_{32}} = 2 \otimes 1.5 = 3$	$\frac{w_{35}}{w_{34}} = \frac{w_{35}}{w_{32}} \otimes \frac{w_{32}}{w_{34}} = 1.5 \otimes 1.33 = 1.995$
U_2	$\frac{w_{31}}{w_{35}} = \frac{w_{31}}{w_{33}} \otimes \frac{w_{33}}{w_{35}} = 2 \otimes 1.5 = 3$	$\frac{w_{33}}{w_{32}} = \frac{w_{33}}{w_{35}} \otimes \frac{w_{35}}{w_{32}} = 1.5 \otimes 1 = 1.5$	$\frac{w_{35}}{w_{34}} = \frac{w_{35}}{w_{32}} \otimes \frac{w_{32}}{w_{34}} = 1 \otimes 1.33 = 1.33$
U_3	$\frac{w_{31}}{w_{35}} = \frac{w_{31}}{w_{33}} \otimes \frac{w_{33}}{w_{35}} = 2 \otimes 1.5 = 3$	$\frac{w_{33}}{w_{32}} = \frac{w_{33}}{w_{35}} \otimes \frac{w_{35}}{w_{32}} = 1.5 \otimes 1.33 = 1.995$	$\frac{w_{35}}{w_{34}} = \frac{w_{35}}{w_{32}} \otimes \frac{w_{32}}{w_{34}} = 1.33 \otimes 1.25 = 1.66$
U_1	$\frac{w_{32}}{w_{36}} = \frac{w_{32}}{w_{34}} \otimes \frac{w_{34}}{w_{36}} = 1.33 \otimes 1.25 = 1.66$	$\frac{w_{34}}{w_{37}} = \frac{w_{34}}{w_{36}} \otimes \frac{w_{36}}{w_{37}} = 1.25 \otimes 1.2 = 1.5$	$\frac{w_{36}}{w_{38}} = \frac{w_{36}}{w_{37}} \otimes \frac{w_{37}}{w_{38}} = 1.2 \otimes 1.16 = 1.4$
U_2	$\frac{w_{32}}{w_{36}} = \frac{w_{32}}{w_{34}} \otimes \frac{w_{34}}{w_{36}} = 1.33 \otimes 1.25 = 1.66$	$\frac{w_{34}}{w_{37}} = \frac{w_{34}}{w_{36}} \otimes \frac{w_{36}}{w_{37}} = 1.25 \otimes 1.2 = 1.5$	$\frac{w_{36}}{w_{38}} = \frac{w_{36}}{w_{37}} \otimes \frac{w_{37}}{w_{38}} = 1.2 \otimes 1.16 = 1.4$

$$U_3 \quad \frac{w_{32}}{w_{36}} = \frac{w_{32}}{w_{34}} \otimes \frac{w_{34}}{w_{36}} = 1.25 \otimes \frac{w_{34}}{w_{37}} = \frac{w_{34}}{w_{36}} \otimes \frac{w_{36}}{w_{37}} = \frac{w_{36}}{w_{38}} = \frac{w_{36}}{w_{37}} \otimes \frac{w_{37}}{w_{38}} = 1.17 \otimes 1.142 = 1.33$$

Doğrusal Programlama Modeli kurulmaktadır. Uzman bir için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_1 \quad \begin{aligned} & \text{min } x \\ & \text{Öyle ki,} \\ & \left| \frac{w_{31}}{w_{33}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{33}}{w_{35}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{35}}{w_{32}} - 1.33 \right| \leq x, \left| \frac{w_{32}}{w_{34}} - 1.25 \right| \leq x, \left| \frac{w_{34}}{w_{36}} - 1.2 \right| \\ & \leq x, \left| \frac{w_{36}}{w_{37}} - 1.666 \right| \leq x, \left| \frac{w_{37}}{w_{38}} - 1.142 \right| \leq x \\ & \left| \frac{w_{31}}{w_{35}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{33}}{w_{32}} - 1.995 \right| \leq x, \left| \frac{w_{35}}{w_{34}} - 1.6625 \right| \leq x, \left| \frac{w_{32}}{w_{36}} - 1.5 \right| \leq x, \\ & \left| \frac{w_{34}}{w_{37}} - 1.9992 \right| \leq x, \left| \frac{w_{36}}{w_{38}} - 1.9025 \right| \leq x \\ & \sum_{j=1}^4 w_{ij} = 1, i = \{3\}, w_j \geq 0, \forall j \end{aligned}$$

Uzman iki için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_2 \quad \begin{aligned} & \text{min } x \\ & \text{Öyle ki,} \\ & \left| \frac{w_{31}}{w_{33}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{33}}{w_{35}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{35}}{w_{32}} - 1 \right| \leq x, \left| \frac{w_{32}}{w_{34}} - 1.33 \right| \leq x, \left| \frac{w_{34}}{w_{36}} - 1.25 \right| \\ & \leq x, \left| \frac{w_{36}}{w_{37}} - 1.2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{37}}{w_{38}} - 1.16 \right| \leq x \\ & \left| \frac{w_{31}}{w_{35}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{33}}{w_{32}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{35}}{w_{34}} - 1.33 \right| \leq x, \left| \frac{w_{32}}{w_{36}} - 1.66 \right| \leq x, \left| \frac{w_{34}}{w_{37}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{36}}{w_{38}} - 1.4 \right| \leq x \\ & \sum_{j=1}^4 w_{ij} = 1, i = \{3\}, w_j \geq 0, \forall j \end{aligned}$$

Uzman üç için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_3 \quad \begin{aligned} & \text{min } x \\ & \text{Öyle ki,} \\ & \left| \frac{w_{31}}{w_{33}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{33}}{w_{35}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{35}}{w_{32}} - 1.33 \right| \leq x, \left| \frac{w_{32}}{w_{34}} - 1.25 \right| \leq x, \left| \frac{w_{34}}{w_{36}} - 1.2 \right| \\ & \leq x, \left| \frac{w_{36}}{w_{37}} - 1 \right| \leq x, \left| \frac{w_{37}}{w_{38}} - 1.142 \right| \leq x \\ & \left| \frac{w_{31}}{w_{35}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{33}}{w_{32}} - 1.995 \right| \leq x, \left| \frac{w_{35}}{w_{34}} - 1.6625 \right| \leq x, \left| \frac{w_{32}}{w_{36}} - 1.5 \right| \leq x, \\ & \left| \frac{w_{34}}{w_{37}} - 1.4 \right| \leq x, \left| \frac{w_{36}}{w_{38}} - 1.33 \right| \leq x \\ & \sum_{j=1}^4 w_{ij} = 1, i = \{3\}, w_j \geq 0, \forall j \end{aligned}$$

Kriterlerin nihai ağırlıkları Excel çözücü yardımıyla hesaplanmaktadır.

U_1	$w_{C_{31}}$	$w_{C_{32}}$	$w_{C_{33}}$	$w_{C_{34}}$	$w_{C_{35}}$	$w_{C_{36}}$	$w_{C_{37}}$	$w_{C_{38}}$
	0.28	0.09	0.28	0.07	0.14	0.06	0.05	0.04
U_2	$w_{C_{31}}$	$w_{C_{32}}$	$w_{C_{33}}$	$w_{C_{34}}$	$w_{C_{35}}$	$w_{C_{36}}$	$w_{C_{37}}$	$w_{C_{38}}$
	0.34	0.11	0.17	0.09	0.11	0.07	0.06	0.05
U_3	$w_{C_{31}}$	$w_{C_{32}}$	$w_{C_{33}}$	$w_{C_{34}}$	$w_{C_{35}}$	$w_{C_{36}}$	$w_{C_{37}}$	$w_{C_{38}}$
	0.28	0.14	0.28	0.06	0.05	0.04	0.09	0.07

Tam tutarlılıktan sapma derecesi (TTS) değeri $x = 0$ ikili karşılaştırmalar arasında tam tutarlılık vardır şeklinde yorumlanmaktadır.

4.4.2.4. Pandemi Özel Kriterler için Alt Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Adımlar halinde uzmanlar için dördüncü boyut olan pandemi özel kriterlere yönelik FUCOM ağırlıkları hesaplanmaktadır.

Adım 1: Uzmanlar pandemi özel ana boyutu için alt kriterler arasındaki öncelik sıralamasını Tablo 31 şeklinde sunulmaktadır.

Tablo 31. Tedarikçi Seçiminde Pandemi Özel Boyuta İlişkin Alt Kriter Sıralama ve Tercih Değerleri

Uzman	Sıralama/Tercih	Tercih Değerleri				
U_1	$C_{43} \gg C_{41} \gg C_{42} = C_{44}$	Kriterler	C43	C41	C42	C44
		Değerlendirmeler	1	2	3	3
U_2	$C_{42} \gg C_{41} \gg C_{43} \gg C_{44}$	Kriterler	C42	C41	C43	C44
		Değerlendirmeler	1	2	3	4
U_3	$C_{44} \gg C_{41} \gg C_{42} \gg C_{43}$	Kriterler	C44	C41	C42	C43
		Değerlendirmeler	1	2	3	4

Adım 2: ikinci adımda pandemi özel boyuta ilişkin değerlendirme önceliklerine dayalı dereceler hesaplanmaktadır:

$$\begin{array}{lll}
 U_1 & \varphi_{C_{43}/C_{41}} = 2/1 = 2 & \varphi_{C_{41}/C_{42}} = 3/2 = 1.5 & \varphi_{C_{42}/C_{44}} = 3/3 = 1 \\
 U_2 & \varphi_{C_{42}/C_{41}} = 2/1 = 2 & \varphi_{C_{41}/C_{43}} = 3/2 = 1.5 & \varphi_{C_{43}/C_{44}} = 3/3 = 1 \\
 U_2 & \varphi_{C_{44}/C_{41}} = 2/1 = 2 & \varphi_{C_{41}/C_{42}} = 3/2 = 1.5 & \varphi_{C_{42}/C_{44}} = 3/3 = 1
 \end{array}$$

Adım 3: Ağırlık katsayılarının koşulları hazırlanmaktadır.

Koşul 1: Ağırlık katsayı oranı ile karşılaştırmalı öncelik oranları eşitlenmelidir.

$$\begin{array}{lll}
 U_1 & \frac{w_{43}}{w_{41}} = 2 & \frac{w_{41}}{w_{42}} = 1.5 & \frac{w_{42}}{w_{44}} = 1 \\
 U_2 & \frac{w_{42}}{w_{41}} = 2 & \frac{w_{41}}{w_{43}} = 1.5 & \frac{w_{43}}{w_{44}} = 1
 \end{array}$$

$$U_2 \quad \frac{w_{44}}{w_{41}} = 2 \quad \frac{w_{41}}{w_{42}} = 1.5 \quad \frac{w_{42}}{w_{44}} = 1$$

Koşul 2: Matematiksel geçişlilik koşulu sağlanmalıdır.

$$\begin{aligned} U_1 \quad \frac{w_{43}}{w_{42}} &= \frac{w_{43}}{w_{41}} \otimes \frac{w_{41}}{w_{42}} = 2 \otimes 1.5 = 3 & \frac{w_{41}}{w_{44}} &= \frac{w_{41}}{w_{42}} \otimes \frac{w_{42}}{w_{44}} = 1.5 \otimes 1 = 1.5 \\ U_2 \quad \frac{w_{42}}{w_{43}} &= \frac{w_{42}}{w_{41}} \otimes \frac{w_{41}}{w_{43}} = 2 \otimes 1.5 = 3 & \frac{w_{41}}{w_{44}} &= \frac{w_{41}}{w_{43}} \otimes \frac{w_{43}}{w_{44}} = 1.5 \otimes 1 = 1.5 \\ U_2 \quad \frac{w_{44}}{w_{42}} &= \frac{w_{44}}{w_{41}} \otimes \frac{w_{41}}{w_{42}} = 2 \otimes 1.5 = 3 & \frac{w_{41}}{w_{44}} &= \frac{w_{41}}{w_{42}} \otimes \frac{w_{42}}{w_{44}} = 1.5 \otimes 1 = 1.5 \end{aligned}$$

Pandemi özel boyuta ilişkin değerlendirme ve kısıtlamaları içeren tam tutarlılıktan sapmayı minimize eden doğrusal programlama modeli kurulmaktadır. Uzman bir için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_1 \quad \begin{aligned} &\text{Öyle ki,} && \min x \\ &\left\{ \begin{aligned} &\left| \frac{w_{43}}{w_{41}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{41}}{w_{42}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{42}}{w_{44}} - 1 \right| \leq x \\ &\left| \frac{w_{43}}{w_{42}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{41}}{w_{44}} - 1.5 \right| \leq x \\ &\sum_{j=1}^4 w_j = 1, i = \{4\}, \quad w_j \geq 0, \forall j \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Uzman iki için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_2 \quad \begin{aligned} &\text{Öyle ki,} && \min x \\ &\left\{ \begin{aligned} &\left| \frac{w_{42}}{w_{41}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{41}}{w_{43}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{43}}{w_{44}} - 1 \right| \leq x \\ &\left| \frac{w_{42}}{w_{43}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{41}}{w_{44}} - 1.5 \right| \leq x \\ &\sum_{j=1}^4 w_j = 1, i = \{4\}, \quad w_j \geq 0, \forall j \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Uzman üç için kurulan FUCOM modeli şu şekildedir:

$$U_3 \quad \begin{aligned} &\text{Öyle ki,} && \min x \\ &\left\{ \begin{aligned} &\left| \frac{w_{44}}{w_{41}} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_{41}}{w_{42}} - 1.5 \right| \leq x, \left| \frac{w_{42}}{w_{44}} - 1 \right| \leq x \\ &\left| \frac{w_{44}}{w_{42}} - 3 \right| \leq x, \left| \frac{w_{41}}{w_{44}} - 1.5 \right| \leq x \\ &\sum_{j=1}^4 w_j = 1, i = \{4\}, \quad w_j \geq 0, \forall j \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Kriterlerin nihai ağırlıkları Excel çözücü yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} U_1 \quad w_{C_{41}} &= 0.23 & w_{C_{42}} &= 0.15 & w_{C_{43}} &= 0.46 & w_{C_{44}} &= 0.15 \\ U_2 \quad w_{C_{41}} &= 0.23 & w_{C_{42}} &= 0.15 & w_{C_{43}} &= 0.46 & w_{C_{44}} &= 0.15 \\ U_3 \quad w_{C_{41}} &= 0.23 & w_{C_{42}} &= 0.15 & w_{C_{43}} &= 0.15 & w_{C_{44}} &= 0.46 \end{aligned}$$

Tam tutarlılıktan sapma derecesi (TTS) değeri $x = 0$ ikili karşılaştırmalar arasında tam tutarlılık vardır şeklinde yorumlanmaktadır.



Tablo 32. Tedarikçi Seçim Kriterlerine İlişkin Nihai ve Global Ağırlık Değerleri

Ağırlıklandırma Tablosu	Uzman 1 (U_1)				Uzman 2 (U_2)				Uzman 3 (U_3)			
Uzman Ağırlıkları	0.42264				0.23774				0.33962			
Ana Kriter Ağırlıkları	C_1	C_2	C_3	C_4	C_1	C_2	C_3	C_4	C_1	C_2	C_3	C_4
	0.48	0.24	0.16	0.12	0.16	0.48	0.24	0.12	0.48	0.24	0.16	0.12
Alt Kriter Ağırlıkları	C_{11}	C_{21}	C_{31}	C_{41}	C_{11}	C_{21}	C_{31}	C_{41}	C_{11}	C_{21}	C_{31}	C_{41}
	0.48	0.27	0.28	0.23	0.16	0.25	0.34	0.23	0.48	0.27	0.28	0.23
	C_{12}	C_{22}	C_{32}	C_{42}	C_{12}	C_{22}	C_{32}	C_{42}	C_{12}	C_{22}	C_{32}	C_{42}
	0.24	0.55	0.09	0.15	0.24	0.5	0.11	0.15	0.24	0.18	0.14	0.15
	C_{13}	C_{23}	C_{33}	C_{43}	C_{13}	C_{23}	C_{33}	C_{43}	C_{13}	C_{23}	C_{33}	C_{43}
	0.16	0.18	0.28	0.46	0.48	0.25	0.17	0.46	0.12	0.55	0.28	0.15
	C_{14}		C_{34}	C_{44}	C_{14}		C_{34}	C_{44}	C_{14}		C_{34}	C_{44}
	0.12		0.07	0.15	0.12		0.09	0.15	0.16		0.06	0.46
			C_{35}				C_{35}				C_{35}	
			0.14				0.11				0.05	
			C_{36}				C_{36}				C_{36}	
			0.06				0.07				0.04	
			C_{37}				C_{37}				C_{37}	
			0.05				0.06				0.09	
			C_{38}				C_{38}				C_{38}	
			0.04				0.05				0.07	

Bulunan ağırlık değerlerinin sunulduğu Tablo 32’de görülen ana kriterlerin yerel ağırlıkları ile her bir ana kritere ait alt kriterlerin yerel ağırlıkları çarpılarak global ağırlıklar belirlenmektedir. Ardından IFS ile elde edilen uzman ağırlıkları ile global ağırlık değerleri çarpılarak uzman ağırlığı atanmış nihai ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Nihai ağırlık değerleri Tablo 33’te görülebilir.

Tablo 33. Global ve Nihai Ağırlıklar Tablosu

Global Ağırlık	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
Uzman 1	0.2304	0.1152	0.0768	0.0576	0.0648	0.132	0.0432	0.0448	0.0144	0.0448
Uzman 2	0.0256	0.0384	0.0768	0.0192	0.1200	0.2400	0.1200	0.0816	0.0264	0.0408
Uzman 3	0.2304	0.1152	0.0576	0.0768	0.0648	0.0432	0.132	0.0448	0.0224	0.0448
Nihai Ağırlık	0.1817	0.0969	0.0702	0.0549	0.0779	0.1275	0.0916	0.0535	0.0199	0.0438
	C_{34}	C_{35}	C_{36}	C_{37}	C_{38}	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}	
Uzman 1	0.0112	0.0224	0.0096	0.008	0.0064	0.0276	0.018	0.0552	0.018	
Uzman 2	0.0216	0.0264	0.0168	0.0144	0.012	0.0276	0.018	0.0552	0.018	
Uzman 3	0.0096	0.008	0.0064	0.0144	0.0112	0.0276	0.018	0.018	0.0552	
Nihai Ağırlık	0.01313	0.01846	0.01022	0.01170	0.00936	0.02760	0.01800	0.04257	0.03063	

Elde edilen nihai ağırlıklar değerlendirildiğinde karara etkisi uzmanlar tarafından en çok görülen kriterin Tablo 33’te görüldüğü gibi 0.1817 değeri ile C_{11} maliyet kriteridir. Devamında C_{22} sosyal sorumluluk kriteri ve C_{12} kalite kriteri gelmektedir. Tablo 34’te, uzmanların subjektif değerlendirmeleri neticesinde elde edilen kriter önem dereceleri önem sırasına göre verilmektedir.

Tablo 34. Kriterlerin Nihai Ağırlık Değerleri

Kriter	Kod	Nihai Ağırlık
Maliyet	C_{11}	0.1817
Sosyal sorumluluk	C_{22}	0.1275
Kalite (sertifika, kalite yönetim kapasitesi, hurda kalitesi)	C_{12}	0.0969
Tedarikçi firma itibarı	C_{23}	0.0916
Çalışanların teknik yeterlilikleri kazanımları	C_{21}	0.0779
Risk gözetimi	C_{13}	0.0702
Coğrafik konum	C_{14}	0.0549
Teknik kapasite ve teknoloji entegrasyonu ve yenilikçi beceriler	C_{31}	0.0535
Sürekli iş birlikleri	C_{33}	0.0438
Sağlık tehdidi	C_{43}	0.0426
Çeşitlendirilmiş tedarikçi portföyü	C_{44}	0.0306
Mevzuat değişimlerine uyum kabiliyeti ve ekonomik kalkınma programı ve beceri geliştirme	C_{41}	0.0276
Gelişmiş analizleri sürece dahil etme	C_{32}	0.0199
Güvenlik açığı tespiti ve tepki planları	C_{35}	0.0185

Sosyal ve kültürel ilkeler ve uzaktan çalışma	C_{42}	0.0180
Çeviklik ve esneklik	C_{34}	0.0131
Çevre yönetim sistemi (sertifikalar, sürekli izleme ve mevzuata uygunluk)	C_{37}	0.0117
Görünürlük ve cevap verme yeteneği	C_{36}	0.0102
Yeşil ürün (dizayn, geri dönüşüm, yeşil paketleme kapasitesi, malzeme güvenilirliği) ve Yeşil yetkinlikler (yeşil depolama, yeşil teknoloji dahil)	C_{38}	0.0094

Tablo 34'te kriterlerin nihai ağırlık değerlerine bakıldığında görülmektedir ki; geleneksel ve sosyal kriterlerin karar üzerindeki etkisi pandemi sürecinde daha çok dikkate alınmakta, LARG odaklı kriterler bu kriterlere nazaran daha az göz önüne alınmaktadır. Bu durum pandemi gibi olağanüstü bir çevresel durum altında bulunmaktan kaynaklı şeklinde yorumlanmaktadır. Organizasyonlar risk durumu altında karar verirken faaliyetlerinin devamlılığını ön plana çıkarmaya odaklanmakta ve uzun vadeli kararlarını arka planda bırakabilmektedir

4.5.Tedarikçi Skoru Belirlemede Karmaşık Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi (COPRAS)

Adım 1: Başlangıç karar matrisi oluşturulur. 4 adet alternatifin ve 19 adet kriterin bulunduğu tedarikçi seçimi probleminde x_{ij} : $i = \{T_1, T_2, T_3, T_4\}$ alternatifinin $j = \{1, 2, \dots, 19\}$ kriteri karşısında performans değeri olmak üzere; X karar matrisi işlemin ilk adımıdır.

Bütün alternatif ve kriterler için başlangıç karar matrisi Tablo 35'te sunulmaktadır.

Tablo 35. Başlangıç Karar Matrisi

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
T_1	6.45	6	6	1	6	1	8	7	6	6
T_2	9	6	6	2	6	1	7	7	6	6
T_3	8.25	7	6	2	6	1	6	7	6	6
T_4	7.65	6	5	3	6	1	6	7	6	6
Toplam	31.35	25	23	8	24	4	27	28	24	24

	C_{34}	C_{35}	C_{36}	C_{37}	C_{38}	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}
T_1	8	7	6	1	1	1	1	1	8
T_2	6	7	6	1	1	1	1	1	8
T_3	7	7	6	1	1	1	1	1	8
T_4	7	7	6	1	1	1	1	1	8
Toplam	28	28	24	4	4	4	4	4	32

Adım 2: Eşitlik (38), (39) ve (40) yardımıyla karar matrisi normalize edilir. Elde edilen değerler Tablo 36’da sunulmaktadır.

Tablo 36. Normalize Karar Matrisi

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
Amaç	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Ağırlık	0.1817	0.0969	0.0703	0.0550	0.0779	0.1275	0.0916	0.0535	0.0200	0.0438
T_1	0.2057	0.2400	0.2609	0.1250	0.2500	0.2500	0.2963	0.2500	0.2500	0.2500
T_2	0.2871	0.2400	0.2609	0.2500	0.2500	0.2500	0.2593	0.2500	0.2500	0.2500
T_3	0.2632	0.2800	0.2609	0.2500	0.2500	0.2500	0.2222	0.2500	0.2500	0.2500
T_4	0.2440	0.2400	0.2174	0.3750	0.2500	0.2500	0.2222	0.2500	0.2500	0.2500
	C_{34}	C_{35}	C_{36}	C_{37}	C_{38}	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}	
Amaç	max	max	max	max	max	max	max	min	max	
Ağırlık	0.0131	0.0185	0.0102	0.0117	0.0094	0.0276	0.0180	0.0426	0.0306	
T_1	0.2857	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	
T_2	0.2143	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	
T_3	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	
T_4	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	

Adım 3: w_j : j kriteri oransal önem ağırlığı olmak üzere Eşitlik 41-45 yardımıyla ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilir. Elde edilen değerler Tablo 37’de görülmektedir.

Tablo 37. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
Amaç	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max
T_1	0.0374	0.0233	0.0183	0.0069	0.0195	0.0319	0.0271	0.0134	0.0050	0.0110
T_2	0.0522	0.0233	0.0183	0.0137	0.0195	0.0319	0.0238	0.0134	0.0050	0.0110
T_3	0.0478	0.0271	0.0183	0.0137	0.0195	0.0319	0.0204	0.0134	0.0050	0.0110
T_4	0.0443	0.0233	0.0153	0.0206	0.0195	0.0319	0.0204	0.0134	0.0050	0.0110
	C_{34}	C_{35}	C_{36}	C_{37}	C_{38}	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}	
Amaç	0.0038	0.0046	0.0026	0.0029	0.0023	0.0069	0.0045	0.0106	0.0077	
T_1	0.0028	0.0046	0.0026	0.0029	0.0023	0.0069	0.0045	0.0106	0.0077	
T_2	0.0033	0.0046	0.0026	0.0029	0.0023	0.0069	0.0045	0.0106	0.0077	
T_3	0.0033	0.0046	0.0026	0.0029	0.0023	0.0069	0.0045	0.0106	0.0077	
T_4	0.0038	0.0046	0.0026	0.0029	0.0023	0.0069	0.0045	0.0106	0.0077	
Toplam	0.0028	0.0046	0.0026	0.0029	0.0023	0.0069	0.0045	0.0106	0.0077	

Adım 4: Eşitlik (46) ve Eşitlik (47) yardımıyla fayda ve maliyet odaklı toplam ağırlıklı normalize değerler hesaplanır. Elde edilen sonuçlar Tablo 38’de gösterilmektedir.

Tablo 38. Fayda ve Maliyet Odaklı Toplam Ağırlıklı Normalize Değerler

	S_{+i}	S_{-i}
Tedarikçi 1 (T_1/S_1)	0.1916	0.0480
Tedarikçi 4 (T_4/S_2)	0.1941	0.0628
Tedarikçi 3 (T_3/S_3)	0.1951	0.0585
Tedarikçi 2 (T_2/S_4)	0.1950	0.0550

Adım 5: Eşitlik (48) kullanılarak alternatifler için göreceli önem değerleri hesaplanır. Elde edilen göreceli önem değerleri Tablo 39’da sunulmaktadır.

Tablo 39. Alternatifler için Göreceli Önem Değerleri

	Q_i
Tedarikçi 1 (T_1/S_1)	0.2564
Tedarikçi 4 (T_4/S_2)	0.2437
Tedarikçi 3 (T_3/S_3)	0.2483
Tedarikçi 2 (T_2/S_4)	0.2516

Adım 6: Eşitlik (49) yardımıyla performans indeks değerlerin hesaplanır ve Tablo 40’ta görülmektedir.

Tablo 40. İndeks Değerleri

	P_i
Tedarikçi 1 (T_1/S_1)	100
Tedarikçi 4 (T_4/S_2)	95.0418
Tedarikçi 3 (T_3/S_3)	96.8514
Tedarikçi 2 (T_2/S_4)	98.1420

Adım 7: Alternatiflerin değerlendirilmesi, tercih sıralamasının elde edilmesi aşamasıdır. Tercih sıralamaları, Tablo 41’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre geleneksel, sosyal, LARG odaklı ve pandemi özel kriterlere göre değerlendirilen dört tedarikçiden kriterlere en uygun tedarikçi bir numaralı (T_1) tedarikçidir. Bir numaralı tedarikçiye kıyasla ikinci sırada kriterlere uygun sonuçlar veren tedarikçi dört numaralı tedarikçi (T_4) iken en iyi tedarikçiye göre kriterler karşısında en uzak değeri alan tedarikçi ise iki numaralı tedarikçidir (T_2).

Tablo 41. Tercih Sıralaması

Seçim Sırası	Tedarikçi	P_i	P_i
1	Tedarikçi 1 (T_1/S_1)	100.00	1
2	Tedarikçi 4 (T_4/S_2)	98.14	0.9814
3	Tedarikçi 3 (T_3/S_3)	96.85	0.9685
4	Tedarikçi 2 (T_2/S_4)	95.04	0.9504

Tedarikçilerin genel olarak aldıkları puanlar birbirine yakındır. Dört tedarikçi de belirtilen kriterlere uyum göstermektedir sonucuna varılabilir. Bu durum bölümün devamında kurulacak ağ tasarımı probleminde bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Tercih avantajı sunan tedarikçiden alımı özendirilmenin yanı sıra ilgili matematiksel modelde problemde belirlenen kriterlere zıt durumda tedarikçinin olmaması, tedarik

zinciri ağında yer alan tedarikçilerden ürün ve hizmet alımı hususunda kaçınmayı gerektirecek bir durumun olmadığı şekilde yorumlanabilir.

4.6. Matematiksel Modelin Çözümü ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Önceki bölümde tanıtılan veri seti kullanılarak bozulabilir özellikte bir ürün için belirlenen geleneksel, sosyal, LARG odaklı ve pandemi özel kriterlere göre değerlendirilen, tedarikçiler için düşük puanlı tedarikçiye cezalandıran ve minimum maliyeti amaçlayan matematiksel model, CPLEX yazılımında çözülmüştür. CPLEX'e veri ve model için yazılan kodlar Ek 1'de verilmektedir. Optimal çözümlerin elde edilmesi yaklaşık üç dakika sürmektedir. Çözüme ilişkin temel performans değerleri ve düğümler, ürün akış tablolarında sunulmaktadır.

Tablo 42. Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Maliyet (€)
Depoda Bulundurma Maliyeti	412.85
Atık Maliyeti	78.8
Sipariş Maliyeti	65.77
Tedarikçiden Depoya Taşıma Maliyeti	3428.7
Depodan Hastanelere Taşıma Maliyeti	9867.4
Depolar Arası Taşıma Maliyeti	137.52
Toplam Maliyet	13991

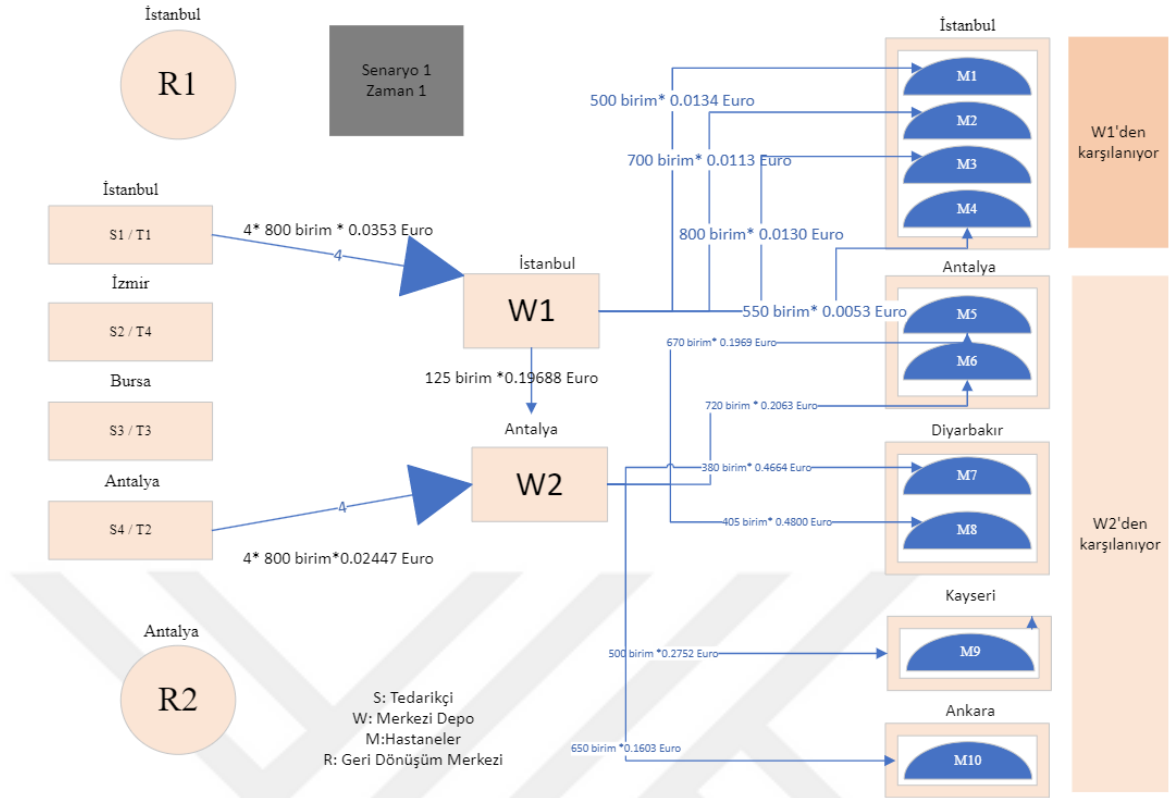
Örnek olay incelemesinde, veri setinin tanıtılması bölümünde açıklanan verilerle çözümler yapılırken, aşağıda verilen model kullanılmıştır.

Minimize et (1-7)

Kısıt seti altında

Kısıtlar (8-22)

çözülür. Elde edilen temel performans kriterleri değerleri, Tablo 42'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Örnek Akış Diyagramı

Toplam maliyet 13991 € olarak görülmektedir. Toplam maliyetin yaklaşık %71'i depodan hastanelere taşıma maliyetidir. Yaklaşık %24'ü ise tedarikçilerden depolara taşıma maliyeti olarak görülmektedir.

Ürün akışlarının gerçekleştiği taşımalara ilişkin veriler Tablo 43-48'de sunulmaktadır. Tablo 43'te, düğümler arasında gerçekleşen ürün akışları sunulmaktadır. Senaryo birin gerçekleşmesi durumunda, yüksek kapasite durumunda, S_1 (Tedarikçi 1)'den W_1 'e gelen parti miktarı görülebilir. Bir partide 800 birim ürün gönderilmektedir.

Şekil 5'te, örnek bir akış diyagramı görülmektedir. Şekilde verilen örnek senaryo bir için, birinci zaman diliminde gerçekleşen akışları göstermektedir. İstanbul'da yer alan merkezi depo W_1 için en uygun tedarik, 4 parti halinde, S_1 tedarikçisinden alım gerçekleştirilmesi şeklindedir. Birinci dönem başında tedarikçilerden gelen ürünler toplamı bu akışlarla 3200 birimdir. Gelen 3200 birim üründen 125 birim ürün W_2 deposunun dönem ihtiyacı için gönderilmiştir. İstanbul'da yer alan dört hastanenin birinci dönem toplam talebi 2550 birim şeklinde olup, bu depodan karşılanmaktadır. Mevcut durumda, dönem sonunda depoda kalan envanter miktarı 525 birim olarak görülebilir.

Bütün senaryolarda ve bütün zamanlarda gerçekleşen akışlar, takip eden tablolarda gösterilmektedir.

Tablo 43. Tedarikçiden Depoya Gelen Parti Sayısı

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P=1	S_1	W_1	4	3	4	4	5	5	5	5	4	3	4	4
		W_2												
	S_2	W_1												
		W_2												
	S_3	W_1					5	1	2	5				
		W_2												
	S_4	W_1												
		W_2	4	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3
	W_1	W_2	125	0	0	0	70	375	285	380	35	0	50	85
	W_2	W_1												

Tablo 44. Depodan Giden Akışlar

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W_1	M_1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M_2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M_3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M_4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M_5												
	M_6												
	M_7											*	
	M_8					*			*			*	
	M_9					*	*	*	*				
	M_{10}			*		*	*	*	*				*
W_2	W_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M_1												
	M_2												
	M_3												
	M_4												
	M_5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M_6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M_7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M_8	*	*	*	*		*	*		*	*		*
	M_9	*	*	*	*					*	*	*	*
	M_{10}	*	*		*					*	*	*	
	W_1	125	0	0	0	70	375	285	380	35	0	50	85

Senaryo bir değerlendirildiğinde, bulunan akışlar için Tablo 45'te depolara gelen birim akış miktarları ve Tablo 46'de talep noktalarına giden birim ürün miktarları görülebilir.

Tablo 45. Depoya Gelen Birim Ürün

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P=1	S_1	W_1	3200	2400	3200	3200	4000	4000	4000	4000	3200	2400	3200	3200
		W_2												
	S_2	W_1					4000	800	1600	4000				
		W_2												
	S_3	W_1												
		W_2												
	S_4	W_1												
		W_2	3200	2400	2400	3200	3200	3200	3200	3200	3200	2400	2400	2400
	W_1	W_2	125	0	0	0	70	375	285	380	35	0	50	85
	W_2	W_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 45’te düğümler arasındaki akışları değerlendirirsek S_1 tedarikçisinden W_1 deposuna, birinci zamanda, 3200 birim ürün; ikinci zamanda 2400 birim ve üçüncü zamanda 3200 birim ürün gelmiştir. Tablo 46’da gösterildiği gibi, gelen ürün dağıtımları W_1 deposundan birinci, ikinci ve üçüncü zamanlarda sırasıyla 500, 700, 800 birim şeklindedir. W_2 Deposu için ve diğer zamanlar için de aynı şekildedir.

Diğer senaryolar için akış durumları ve birim akışlar Ek 2’de yer almaktadır. Tablo 47 ve 48’de, senaryo bir akışları için oluşturulan envanter takibi tablosu bulunmaktadır. Senaryo iki ve üç için hesaplanan değerler Ek 3’te bulunmaktadır. Tablo 47 ve 48’e bakıldığında depoya gelen ürünler; dönem başında tedarikçilerden gelen, diğer depodan gelen ve önceki dönemden kalan ürün miktarları ve depodan giden ürünler; dönem başı müşteri talepleri, diğer depoya giden ve atık merkezine gönderilmek üzere ayrılan ürün miktarları gösterilmektedir.

Tablo 46. Depodan Giden Birim Ürün

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W_1	M_1	500	600	200	900	1000	1200	1500	1200	500	600	200	900
	M_2	700	400	700	400	1200	700	400	1300	700	400	700	400
	M_3	800	1200	1400	900	1300	300	1000	700	800	1200	1400	900
	M_4	550	650	250	950	1050	1250	1550	1250	550	650	250	950
	M_5												
	M_6												
	M_7											80	
	M_8					905			1105			105	
	M_9					1000	500	200	1100				
	M_{10}			650		1150	650	350	1250				350
W_2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam		2550	2850	3200	3150	7605	4600	5000	7905	2550	2850	2735	3500
W_2	M_1												
	M_2												
	M_3												
	M_4												
	M_5	670	370	670	370	1170	670	370	1270	670	370	670	370
	M_6	720	420	720	420	1220	720	330	1230	630	330	630	330
	M_7	380	480	80	780	880	1080	1380	1080	380	480		780
	M_8	405	505	105	805		1105	1405		405	505		805
	M_9	500	200	500	200					500	200	500	200
	M_{10}	650	350		350					650	350	650	
W_1		125	0	0	0	70	375	285	380	35	0	50	85
Toplam		3325	2325	2075	2925	3270	3575	3485	3580	3235	2235	2450	2485

Tablo 47. Senaryo 1 için W1 Deposunun Envanter Takibi

W_1	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dönem başı tedarikçiden gelen	3200	2400	3200	3200	8000	4800	5600	8000	3200	2400	3200	3200
	Dönem başı depodan gelen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Önceki dönem envanter	0	525	0	0	0	175	0	285	0	450	0	385
	Dönem başı müşteri talebi	2550	2850	3200	3150	7605	4600	5000	7905	2550	2850	2735	3500
	Dönem başı depoya giden	125	0	0	0	70	375	285	380	35	0	50	85
	Atık	0	75	0	50	150	0	30	0	165	0	30	0
	Envanter	525	0	0	0	175	0	285	0	450	0	385	0

Tablo 48. Senaryo 1 için W2 Deposunun Envanter Takibi

W_2	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dönem başı tedarikçiden gelen	3200	2400	2400	3200	3200	3200	3200	3200	3200	2400	2400	2400
	Dönem başı depodan gelen	125	0	0	0	70	375	285	380	35	0	50	85
	Önceki dönem envanter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dönem başı müşteri talebi	3325	2325	2075	2925	3270	3575	3485	3580	3235	2235	2450	2485
	Dönem başı depoya giden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Atık	0	75	325	275	0	0	0	0	0	165	0	0
	Envanter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.7.Duyarlılık Analizi

Çalışmanın bu bölümünde probleme ilişkin veriler üzerinde incelemeler yapılmış ve farklı senaryo analizleri ile geliştirilen matematiksel modelin çözümleri kıyaslanmıştır. İncelenen senaryolarda amaç seçilen parametrelerin sonuç üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Söz konusu senaryolar modelin gerçek hayat uygulanabilirliğini pekiştirmesi amacının yanı sıra parametre değişimlerinin sonuç üzerindeki etkisini de inceleme amacı taşımaktadır.

İncelenen durumlar kurgulanırken ağ tasarımı dikkat edilen üç parametrenin değişimine odaklanılmış; tedarikçi puanı, tedarikçi kapasitesi ve ürün raf ömrü parametrelerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Probleme ilişkin diğer veriler sabit kabul edilirken, söz konusu her bir parametre için farklı değerler kurgulandığında ortaya çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

4.7.1.Tedarikçi Puanları Etkisi

Tedarikçi puanlarında meydana gelen değişimlerin kurgulanan matematiksel modelde temel performans değerleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı değerler girilerek çözüm elde edilmiştir. Tablo 49 şeklinde bir parametre değişimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 49. *Tedarikçi Puanları Etkisi için Parametre Değişimi*

Tedarikçi	Örnek Olayda Tedarikçi Puanı	Yeni Senaryoda Tedarikçi Puanı
S1	1	1
S2	0.9814	0.80
S3	0.9685	0.95
S4	0.9504	0.60

Yeni tedarikçi puanları ile çözüm alındığında akış miktarlarında değişimlerin yaşandığı ikinci senaryo incelemesi Tablo 50 ve 51’de görülebilir.

Tablo 50. Eski Tedarikçi Puanları ile Çözümde Tedarikçilerden Depolara Sipariş Miktarları

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P=2	S1	W1	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		W2												
	S2	W1												
		W2					1			3				
	S3	W1	1		1		5	4	3	5				
		W2												
	S4	W1												
		W2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	W1	W2	0	0	0	25	70	70	0	0	70	0	50	85
	W2	W1	105											

Tablo 51. Yeni Tedarikçi Puanları ile Çözümde Tedarikçilerden Depolara Sipariş Miktarları

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P=2	S1	W1	4		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		W2												
	S2	W1												
		W2					1			1				
	S3	W1	1	3	1	1	5	3	5	5	1			
		W2												
	S4	W1												
		W2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3
	W1	W2					45	70		260			50	85
	W2	W1	105											

Tablo 50’de senaryo iki için bulunan sipariş sayıları gösterilmektedir. Bu tablo ile Tablo 52’de yeni tedarikçi puanları ile hesaplanan senaryo iki sipariş miktarları kıyaslanırsa, tedarikçi puanlarının değişimi ile bazı dönemlerde sipariş miktarının değiştiği görülebilir. Örneğin S_1 , tedarikçisinden W_1 deposuna ikinci zaman diliminde 3 parti ürün gelirken, yeni tedarikçi puanlarının dahil olduğu çözümde bu siparişler S_3 tedarikçisinden karşılanmıştır. Bu durumda maliyeti düşürmeye yönelik yine makul yükseklikte puana sahip olan tedarikçiden ürün alımı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 52. Yeni Tedarikçi Puanları ile Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Maliyet (€)	Yeni Puanlar
Depoda Bulundurma Maliyeti	412.85	465.95
Atık Maliyeti	78.8	46.825
Sipariş Maliyeti	65.77	65.75
Tedarikçiden Depoya Taşıma Maliyeti	3428.7	3339.3
Depodan Hastanelere Taşıma Maliyeti	9867.4	9959.7
Depolar Arası Taşıma Maliyeti	137.52	149.33
Toplam Maliyet	13991	14027

Temel performans kriterlerinin sunulduğu Tablo 52’de görülebileceği üzere yeni puanlarla yapılan çözümde tedarikçiden depoya taşıma maliyeti azalmaktadır. Ancak depoda bulundurma maliyeti, hastanelere taşıma maliyeti ve depolar arası ürün taşıma maliyeti ile toplam maliyet artmaktadır.

4.7.2. Tedarikçi Kapasitesinin Etkisi

Bu aşamada kapasite verisine yönelik olan duyarlılığı takip edebilmek amacıyla yüksek kapasite senaryosu, orta kapasite senaryosu ve düşük kapasite senaryosu ayrı ayrı incelenmekte ve değerlendirilmektedir. İlk durum ile yalnızca yüksek kapasite/ orta veya düşük kapasite durumunun gerçekleşme durumları karşılaştırılmak istenmektedir. Bu amaçla, problemde sırasıyla kapasite varsayımları gerçekleşme olasılıkları incelenen durum 1 ve diğer durumlar 0 şeklinde düzenlenmiş, temel performans kriterleri Tablo 53’te sunulmuştur.

Tablo 53. Kapasite Gerçekleşme Durumları için Temel Performans Kriterleri

Senaryoların Gerçekleşme Olasılıkları	$p_1 = 0.2$ $p_2 = 0.5$ $p_3 = 0.3$	$p_1 = 1$ $p_2 = 0$ $p_3 = 0$	$p_1 = 0$ $p_2 = 1$ $p_3 = 0$	$p_1 = 0$ $p_2 = 0$ $p_3 = 1$
Temel Performans Kriterleri	Maliyet (€)	Yüksek Kapasite	Orta Kapasite	Düşük Kapasite
Depoda Bulundurma Maliyeti	412.85	182	285.5	733
Atık Maliyeti	78.8	109	93.75	33.75
Sipariş Maliyeti	65.77	65.5	65.5	66.4
Tedarikçiden Depoya Taşıma Maliyeti	3428.7	2734.3	3256.4	4179
Depodan Hastanelere Taşıma Maliyeti	9867.4	9737.8	9852.8	9944.8
Depolar Arası Taşıma Maliyeti	137.52	276.61	93.516	197.86
Toplam Maliyet	13991	13105	13647	15155
Yüzdelik Maliyet Değişimi	1	%-6.3	%-2.5	%+8.3

Tablo 53'te de görülebileceği üzere yüksek kapasite durumunun gerçekleşmesi olasılığında tedarikçilerden ürün akışı gerçekleştirilirken daha az depoda bulundurma maliyeti oluşur. Arz durumunda herhangi bir kısıtlamanın bulunmadığı durumda diğer dönemler için depoda stok bulundurmaya gerek olmayacaktır. Ancak tedarikçi kapasitesinin düşük olduğu senaryoda depoda bulundurma maliyetine katlanılarak talep karşılanabilir. Atık oluşumu yüksek kapasitede daha fazladır. Düşük kapasite durumunda ise azdır. Arzdan gelen ürün direkt olarak talebi karşılamakta kullanıldığı için atık ürün daha az çıkmaktadır. Depolar arası taşıma maliyeti düşük kapasite senaryosunda daha fazladır. Bunun nedeni dönem talebini karşılamak için tedarikçiden alınamayan ürünün diğer depo aracılığı ile karşılanmak istenilmesidir. Toplam maliyet tedarikçi kapasitesinin, arz miktarının düştüğü durumda yükselmektedir. Toplam maliyette yaşanan değişim değerlendirildiğinde; yalnızca yüksek kapasite durumunun gerçekleşmesi halinde oransal olarak elde edilen maliyete kıyasla %6.3 oranında bir azalış gündeme gelir. Yalnızca düşük kapasite varsayımı gerçekleşmesi halinde ise oransal olarak elde edilen toplam maliyete kıyasla %8.3 oranında bir maliyet artışı gündeme gelmektedir.

4.7.3.Raf Ömrü Etkisi

İncelenen problemde bozulabilir nitelikte bir ürün akışı takip edilmektedir. Raf ömrü parametresinin değişiminin matematiksel model çözümünde gösterdiği etkiyi incelemek amacıyla farklı raf ömrü parametreleri ile temel performans değerleri değişimi değerlendirilmektedir.

Tablo 54. Raf Ömrü Parametresi Değişiminde Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Maliyet (Raf Ömrü: 2)	Maliyet (Raf Ömrü: 3)
Depoda Bulundurma Maliyeti	412.85	415.35
Atık Maliyeti	78.8	78.35
Sipariş Maliyeti	65.77	65.77
Tedarikçiden Depoya Taşıma Maliyeti	3428.7	3428.7
Depodan Hastanelere Taşıma Maliyeti	9867.4	9867
Depolar Arası Taşıma Maliyeti	137.52	153.27
Toplam Maliyet	13991	14008

Tablo 54'te görülebileceği üzere raf ömrünün iki dönemden üç döneme çıktığı durumda ürünün atık merkezine yönlendirilmek yerine depoda daha uzun kalabilme imkânı kazanması nedeniyle depoda bulundurma maliyeti artabilmekte; atık maliyeti düşebilmektedir. Taşıma maliyetleri üzerinde fark edilir değişim bu senaryoda görülmemekte, depolar arasındaki akışın maliyeti bir miktar düşmektedir.

Örnek olayda senaryo iki üzerinden bir karşılaştırma Tablo 55-58'de sunulmaktadır. W_1 Deposu için raf ömrü parametresi iki iken envanter akışı Tablo 55'te sunulmakta; raf ömrü üç iken envanter akışı Tablo 56'da sunulmaktadır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, çeşitli farklılıkların söz konusu olduğu görülebilir. İkinci zaman diliminde elde kalan envanter miktarı raf ömrü iki iken 0, raf ömrü üç iken 150 birim şeklindedir.

Raf ömrünün uzamasından kaynaklı atık ürünün ayrılma durumu, tedarikçiden sipariş miktarı veyahut depolar arasındaki ürün akış miktarları farklılık gösterebilmektedir. Takip eden Tablo 58'de raf ömrü parametresi üç olarak belirlendiğinde Tablo 57'de raf ömrünün iki olduğu durumda W_2 Deposu için elde edilen sonuçların bir değerlendirmesi sunulmaktadır. İki numaralı depo olan W_2 için envanter durumunun raf ömrü üç iken üçüncü zaman diliminde 325 birim atık ürün ayrılmakta ve atık merkezine yönlendirilmektedir. İkinci dönemde atık oluşmamaktadır. Ancak Tablo 57'de görülebileceği üzere raf ömrü iki iken 75 birim atık ürün ayrılmaktadır.

Tablolarda bir diğer dikkat çeken unsur dördüncü zaman diliminde W_2 Deposu talep karşılama durumu raf ömrü değişiminden etkilenmektedir. Akışlar değerlendirilmiş ve değişimin kaynağı araştırıldığında 200 birim M_9 hastanesinin talebi W_2 deposundan

çekilmek yerine w_1 'den karşılandığı görülmüştür. Sonuç olarak şu görülebilir ki parametre değişimleri akıslarda değişime neden olmaktadır.



Tablo 55. Bir Numaralı Depo için Senaryo İki Çözümlerinde Raf Ömrü Parametresi İki İken Envanter Takibi

W_1	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dönem başı tedarikçiden gelen	4000	2400	3200	4000	7200	6400	5600	7200	3200	3200	3200	3200
	Dönem başı depodan gelen	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Önceki dönem envanter	0	525	0		475	0	605	0	70	0	0	385
	Dönem başı müşteri talebi	3580	2850	3200	3500	7605	5705	6205	6800	3200	2850	2735	3500
	Dönem başı depoya giden	0	0	0	25	70	70	0	0	70	0	50	85
	Atık	0	75	0	0	0	20	0	330	0	350	30	0
	Envanter	525	0	0	475	0	605	0	70	0	0	385	0

Tablo 56. Bir Numaralı Depo için Senaryo İki Çözümlerinde Raf Ömrü Parametresi Üç İken Envanter Takibi

W_1	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dönem başı tedarikçiden gelen	4000	2400	3200	4000	7200	6400	5600	7200	3200	3200	3200	3200
	Dönem başı depodan gelen	105	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Önceki dönem envanter	0	525	150	150	450	0	605	0	70	0	0	3385
	Dönem başı müşteri talebi	3580	2850	3200	3700	7605	5705	6205	6800	3200	2850	2735	3500
	Dönem başı depoya giden	0	0	0	0	45	70	0	0	70	0	50	85
	Atık	0	0	0	0	0	20	0	330	0	350	30	0
	Envanter	525	150	150	450	0	605	0	70	0	0	385	3000

Tablo 57. İki Numaralı Depo için Senaryo İki Çözümlerinde Raf Ömrü Parametresi İki İken Envanter Takibi

W_2	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dönem başı tedarikçiden gelen	2400	2400	2400	2400	3200	2400	2400	4800	2400	2400	2400	2400
	Dönem başı depodan gelen	0	0	0	25	70	70	0	0	70	0	50	85
	Önceki dönem envanter	0	0	0	150	0	0	0	0	115	0	0	0
	Dönem başı müşteri talebi	2295	2325	2075	2575	3270	2470	2280	4685	2585	2235	2450	2485
	Dönem başı depoya giden	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Atık	0	75	175	0	0	0	120	0	0	165	0	0
	Envanter	0	0	150	0	0	0	0	115	0	0	0	0

Tablo 58. İki Numaralı Depo için Senaryo İki Çözümlerinde Raf Ömrü Parametresi Üç İken Envanter Takibi

W_2	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dönem başı tedarikçiden gelen	2400	2400	2400	2400	3200	2400	2400	4800	2400	2400	2400	2400
	Dönem başı depodan gelen	0	0	0	0	45	70	0	0	70	0	50	85
	Önceki dönem envanter	0	0	0	0	25	0	0	0	115	0	0	0
	Dönem başı müşteri talebi	2295	2325	2075	2375	3270	2470	2280	4685	2585	2235	2450	2485
	Dönem başı depoya giden	105	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Atık	0	0	325	0	0	0	120	0	0	165	0	0
	Envanter	0	0	0	25	0	0	0	115	0	0	0	0

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yakın zamanda yaşanan COVID-19 Pandemisinin tedarik zincirini, belirsizlik ve risk durumları ile karşı karşıya bıraktığı görülmüştür. Salgın ve salgınla mücadelede alınan önlemler neticesinde yaşanan tedarik kesintileri, talep dalgalanmaları, lojistik ve taşıma zorlukları, değişen tüketici davranışları tedarik zincirinde önemli zorluk ve aksaklıkları gündeme getirmiştir. Arz belirsizliği nedeniyle tedarik sıkıntıları ile karşılaşan tedarik zinciri, ağ yapısından tedarikçi seçimine kadar önem arz eden birçok hususta yeniden gözden geçirilme gerekliliğini kazanmıştır.

Organizasyonların sürdürülebilirliği ve verimliliği için son derece önemli olan yalın, çevik, esnek ve yeşil tedarik zinciri, kısaca LARG tedarik zinciri, iş süreçlerinde israfı minimize etmektedir. Ayrıca, malzeme, zaman ve enerji kullanımını optimize eden yalın bir tedarik zinciri için iyi tedarikçi seçimi gerçekleştirilerek rekabet avantajı sağlanabilmektedir. Sürekli iyileştirme, inovasyon, planlama ile çevik bir tedarik zinciri kurgulanabilir, talep dalgalanmasına ve pazar trendine uyum kabiliyeti kazanan çevik tedarik zincirinde envanter optimizasyonu sağlanabilir. Piyasa koşullarında gerçekleşen değişimlere uyum kabiliyeti kazandıran hızlı teslimat, gelişmiş iş birliği ve iletişim becerileri sayesinde esnek bir tedarik zinciri ile sorunların çözümüne katkı sunulabilir. Yeşil bir tedarik zinciri ile tüm paydaşlara yaşanabilir bir çevre bırakılabilir. Bu amaçla tez çalışmasında yalın, çevik, esnek ve yeşil paradigmaları karşılayan LARG Tedarik Zincirinin karar sürecinde gözetilmesi gerekli görülmüştür.

Tedarik zincirinde önem arz eden bir diğer husus, tedarik zincirinde yer alan ürünlerin bozulabilirliğidir. Ürün kalitesi ve güvenliği, stok yönetimi hususları için önem arz eden bozulabilirlik hususunun, ağ tasarımı problemlerinde gözetilmesi gerekli olarak görülmüştür.

Bu çalışmada, tedarik zincirinin dayanıklılık ve sürdürülebilirlik becerilerini sınanan LARG tedarik zinciri bakış açısıyla bozulabilir bir ürün için kapalı döngü ağ tasarımı matematiksel model önerisi sunulmaktadır. LARG, geleneksel, sosyal, pandemi özel kriterler ile uygun tedarikçinin seçimi ve uygun tedarikçiye sipariş atama yapılması sonucu optimal ağ tasarımı gerçekleştirilebilir.

Bu tezde aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

- Pandemi benzeri kriz dönemlerinde tedarikçi seçimi probleminde dikkate alınacak kriterler nelerdir?
- LARG tedarikçi zinciri karar verme sürecinde nasıl dikkate alınabilir?
- Uygun tedarikçileri seçmek ve değerlendirmek için destek alınabilecek karar destek yöntemleri nelerdir?
- ÇKKV Yöntemleri ve matematiksel programlama yöntemleri eşanlı olarak problem çözümünde nasıl kullanılabilir?
- Arz belirsizliği altında bozulabilir nitelikteki bir ürün veya ürün grubu için kapalı döngü ağ tasarımı nasıl olmalıdır? Kurgulanan ağda envanter, sipariş atama ve atık takibi kararları nasıl verilmelidir?

Bu çalışmada, LARG tedarik zinciri bakış açısı ile tedarikçi seçimi problemini değerlendirirken arz belirsizliği altında bozulabilir nitelikte bir ürün için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. COVID-19 dönemi etkisi ile daha da görünür olan arz belirsizliği altında, bozulabilir nitelikteki bir ürün için sürdürülebilir ve LARG paradigmalara dikkat eden kapalı döngü bir tedarik zinciri model önerisi sunulmaktadır. Belirsizlik ve risk durumları altında satın alma kararlarının verilmesine yardımcı olacak olasılıksal karma tamsayılı programlama modeli önerisi sunulmuştur. Önerilen modelde tedarikçilerin önem arz ettiği düşünülen kriterlere göre aldıkları puanlar dikkate alınmıştır. Söz konusu matematiksel modelde arz belirsizliği, tedarikçi kapasitelerini olasılıksal olarak yüksek, orta ve düşük kapasite senaryoları sunması şeklinde değerlendirmeye alınmıştır. Envanter, sipariş atama ve atık takibi kararları verilirken; belirsiz tedarikçi kapasitesi altında tedarikçi puanlarını dikkate alan maliyet minimizasyonunu amaçlayan bir matematiksel model sunulmaktadır. Önerilen ağda depo, müşteri ve geri dönüşüm merkezi noktaları yer almaktadır ve depolar arasında ürün akışı gerçekleşmektedir. Çok aşamalı, tek ürünlü, tedarikçilerden depolara, depoların kendi aralarında ve depolardan müşterilere şeklinde ileri ve depolarda raf ömrünü doldurup atık ürün olarak ayrılan ürünlerin geri dönüşüm merkezine yönlendirilmesi şeklinde geri yönlü akışları takip eden bir kapalı döngü ağ tasarımı söz konusudur.

Çalışmada karara etki eden kriterler belirlenirken Web of Science ve Science Direct Veri Tabanlarında pandemi sürecinde tedarikçi seçimi problemi araştırılmış ve dikkat edilmesi önerilen seçim kriterleri belirlenmiştir. Yapılan taramada geleneksel, sosyal, pandemi özel ve LARG odaklı ana kriterleri altında toplamda 19 alt kriter

sunulmuştur. Belirlenen kriterler üç farklı uzman tarafından değerlendirilmiş, tedarikçi seçimi kararında kriter ağırlıklandırmasında kullanılmıştır. Belirlenen uzmanlar bir hastanede tedarik sürecinde aktif rol alan satın alma sorumlusu, tedarik edilecek ürünün niteliğine karar veren ameliyathane ve sterilizasyon klinik eğitmeni ve tedarikçi seçimi konusunda çalışmaları bulunan bir akademisyendir.

Belirlenen dört tedarikçi için IFS, FUCOM, COPRAS Yöntemleri yardımıyla değerlendirme yapılmış ve tedarikçi puanı parametresi belirlenmiştir. Birden fazla uzmandan alınan sübjektif değerlendirmeler Bulanık Sezgisel Küme Teorisi (IFS) yardımıyla dikkate alınmıştır. FUCOM Yöntemi ile matematiksel programlama tabanlı bir şekilde tam tutarlılık dikkate alınarak nihai ağırlıklar belirlenmiş ve COPRAS Oransal/ Nispi Değerlendirme Yöntemi ile tedarikçi puanları elde edilmiştir. Elde edilen puanlar, matematiksel modelde amaç fonksiyonunda belirlenen kriterlere en uygun tedarikçiden ürün alımını özendirmek amacıyla yer almaktadır. Söz konusu problem için akış şeması, Ek 4’te sunulmaktadır.

Çalışmanın sonucunda literatür araştırması neticesinde elde edilen kriterler dört ana başlıkta toplanmaktadır. Geleneksel kriterler: maliyet, kalite, risk gözetimi ve coğrafik konumdur. Sosyal kriterler: çalışanların teknik yeterlilikleri kazanımları, sosyal sorumluluk, tedarikçi firma itibarı şeklindedir. LARG odaklı kriterler: teknik kapasite ve teknoloji entegrasyonu ve yenilikçi beceriler, gelişmiş analizleri sürece dahil etme, sürekli iş birlikleri, çeviklik ve esneklik, güvenlik açığı tespiti ve tepki planları, görünürlük ve cevap verme yeteneği, çevre yönetim sistemi (sertifikalar, sürekli izleme ve mevzuata uygunluk), yeşil ürün (dizayn, geri dönüşüm, yeşil paketleme kapasitesi, malzeme güvenilirliği) ve yeşil yetkinlikler şeklindedir. Nihai olarak pandemi odaklı kriterler: mevzuat değişimlerine uyum kabiliyeti ve ekonomik kalkınma programı ve beceri geliştirme, sosyal ve kültürel ilkeler ve uzaktan çalışma, sağlık tehdidi ve çeşitlendirilmiş tedarikçi portföyü kriterleri olarak tespit edilmiştir.

Model Türkiye’de faaliyet gösteren bir hastane örneğinde test edilmiştir. Çalışılan problemler için sağlık sektörüne yönelik araştırmalar az olarak görüldüğü için, alana katkı sunma amacıyla sağlık sektörüne yönelik bir inceleme tercih edilmiştir. Problemden on adet hastane, iki adet merkezi depo, iki adet geri dönüşüm merkezi bulunan bir ağda ürün akışları takip edilmiştir. Bozulabilir nitelikteki bir ürün grubu için dört adet tedarikçi

değerlendirilmiş ve ağ üzerinde ürün akışı, atık oluşumu ve envanter takibi gerçekleştirilmiştir. Model çözümlerinde tedarikçiye yüksek, orta ve düşük kapasite senaryoları üzerine yapılan incelemelerde depoda envanter bulundurma maliyeti, atık maliyeti gibi maliyetlerde bir değişimin yaşandığı tespit edilmiştir. Tedarikçi puanlarının ürün dağıtımında farklılıklara yol açtığı görülmüştür. Çalışılan model birçok sektöre uygulama imkânı kazanabilmesi adına genel formda kurgulanmıştır.

Önerilen tedarikçi seçim ve değerlendirme yöntemi olan IFS-FUCOM-COPRAS entegre çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. Literatürde yer alan entegre çalışmalarda, arz belirsizliği ve bozulabilirliğin birlikte ele alındığı; LARG tedarikçi seçimini dikkate alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Model yaklaşımlarında ÇKKV Yöntemleri ve Sezgisel Bulanık Küme Teorisi ile doğru karar verme davranışı pekiştirilebilir olarak görülmektedir. Literatürde ÇKKV ve optimizasyonun entegre ele alındığı çalışmalar yer almakta; ancak gelecek çalışmalar için ÇKKV Yöntemleri ve sezgisel bulanık sayıların karar problemine dahil edilmesi hususu gelişime açık olarak görülmüştür.

Karara etki eden parametrelerde rekabet nedenli bütün veriler gerçek veri olarak kullanılamamakta, bir kısım veri rekabet avantajını kaybetmemek adına uzmanlarca paylaşılmamakta ve çözümde varsayımsal olarak değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Gelecek çalışmalara önerileri olarak bu veriler için çeşitli istatistiki ve matematiksel yöntemler geliştirilebilir. Talep tahmini çeşitli istatistiki yöntemlerle çalışmaya dahil edilebilir, tedarikçi kapasiteleri bir takım istatistiki dağılım fonksiyonlarından çekilebilir durumdadır. Gelecek çalışmalarda kapalı döngü tedarik zincirinde üretim aşamasına gerçekleşen akışların kontrolü de çalışılan modele entegre edilebilir. Ağ üzerinde yer alan düğümler için yer seçimi kararı değerlendirilebilir. Yurtdışı tedarikçiler de dikkate alınarak, mod seçim kararları sürece dahil edilebilir. Ayrıca amaç fonksiyonunda yer alan maliyet unsurlarının her biri için çeşitli matematiksel yöntemler yardımıyla önem ağırlıkları belirlenerek, önemlilik düzeylerine göre bir dağılım oluşturmak amacıyla bu ağırlıklar modele entegre edilebilir.

KAYNAKÇA

- Acar, R., Şahin, Y., ve Kılıç, B. (2022). İhracat İşletmelerinde Yeşil Tedarik Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 22(1), ss. 1–17. Dokuz Eylül University. 21 Mart 2023 tarihinde <https://dergipark.org.tr/en/pub/ifede/issue/68406/698480> adresinden erişildi.
- Afrasiabi, A., Tavana, M., ve Di Caprio, D. (2022). An extended hybrid fuzzy multi-criteria decision model for sustainable and resilient supplier selection. *Environmental Science and Pollution Research*, ss. 1–24. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 28 Şubat 2022 tarihinde <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-17851-2> adresinden erişildi.
- Ahmadi, S., ve Amin, S. H. (2019). An integrated chance-constrained stochastic model for a mobile phone closed-loop supply chain network with supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 226, ss. 988–1003. Elsevier Ltd.
- Amimo, F., Lambert, B., Magit, A., ve Hashizume, M. (2021). A review of prospective pathways and impacts of COVID-19 on the accessibility, safety, quality, and affordability of essential medicines and vaccines for universal health coverage in Africa. *Globalization and Health*, 17(42), ss. 1–15. 26 Ekim 2021 tarihinde <https://doi.org/10.1186/s12992-021-00666-8> adresinden erişildi.
- Amin, S. H., ve Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39(8), ss. 6782–6791.
- Amin, S. H., ve Zhang, G. (2013). A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 51(5), ss. 1405–1425.
- Atabaki, M. S., Mohammadi, M., ve Naderi, B. (2020). New robust optimization models for closed-loop supply chain of durable products: Towards a circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 146, s. 106520. tarihinde <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106520> adresinden erişildi.
- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), ss. 87–96. North-Holland.

- Atanassov, K. T. (2016). Review and New Results on Intuitionistic Fuzzy Sets. *Mathematical Foundations of Artificial Intelligence Seminar*, 20(S1), ss. 7–16.
- Azevedo, S. G., Carvalho, H., ve Cruz-Machado, V. (2016). LARG index A benchmarking tool for improving the leanness, agility, resilience and greenness of the automotive supply chain. *Benchmarking: An International Journal*, 23(6), ss. 1463–5771. 15 Aralık 2021 tarihinde www.emeraldinsight.com/1463-5771.htm adresinden erişildi.
- Bloemhof, J. M., ve Soysal, M. (2017). Sustainable Food Supply Chain Design. *Springer Series in Supply Chain Management* (C. 4, ss. 395–412). Springer Nature.
- Bruce, M., Daly, L., ve Towers, N. (2004). Lean or agile A solution for supply chain management in the textiles and clothing industry? *International Journal of Operations & Production Management*, 24(2), ss. 151–170. 27 Ocak 2022 tarihinde www.emeraldinsight.com/researchregister adresinden erişildi.
- Çalık, A. (2016). *Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yeni Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımları*. Selçuk.
- Carvalho, H., Azevedo, S., ve Cruz-Machado, V. (2014). Trade-offs among Lean, Agile, Resilient and Green Paradigms in Supply Chain Management: A Case Study Approach. *Seventh international conference on management science and engineering management* içinde (ss. 953–968). Springer Berlin Heidelberg. 17 Aralık 2021 tarihinde <https://www.researchgate.net/publication/261180308> adresinden erişildi.
- Cavone, G., Dotoli, M., Epicoco, N., Morelli, D., ve Seatzu, C. (2020). Design of Modern Supply Chain Networks Using Fuzzy Bargaining Game and Data Envelopment Analysis. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 17(3), ss. 1221–1236. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Chen, T., Wang, Y.-C., ve Wu, H.-C. (2021). Analyzing the Impact of Vaccine Availability on Alternative Supplier Selection Amid the COVID-19 Pandemic: A cFGM-FTOPSIS-FWI Approach. *Healthcare*, 9, ss. 71–94. tarihinde <https://doi.org/10.3390/healthcare9010071> adresinden erişildi.
- Chopra, S., ve Meindl, P. (2016). *Supply chain management : strategy, planning, and*

operation (6th Editio.). Boston Columbus Indianapolis New York San Francisco Hoboken Amsterdam Cape Town Dubai London Madrid Milan Munich Paris Montréal Toronto Delhi Mexico City São Paulo Sydney Hong Kong Seoul Singapore Taipei Tokyo: Pearson.

Christopher, M. (2000). *The Agile Supply Chain Competing in Volatile Markets. Industrial Marketing Management* (C. 29).

Çınar, A., Uygun, Ö., Üniversitesi, S., Fakültesi, M., ve Bölümü, E. M. (2019). Sezgisel Bulanık AHP Yöntemiyle Yeşil Tedarikçi Seçimi. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 2(2), ss. 24–31. Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications, Harun TASKIN. 2 Eylül 2022 tarihinde <https://dergipark.org.tr/en/pub/jista/issue/45291/515881> adresinden erişildi.

Croxtan, K. L., García-Dastugue, S. J., Lambert, D. M., ve Rogers, D. S. (2001). The Supply Chain Management Processes. *The International Journal of Logistics Management*, 12(2), ss. 13–36. Emerald Group Publishing Limited.

Demir, G., ve Bircan, H. (2020). Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinden Bwm Ve Fucom Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ve Bir Uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), ss. 170–185. Journal of Economics and Administrative Sciences based at Sivas Cumhuriyet University.

Ebrahimi, S. B. (2018). A stochastic multi-objective location-allocation-routing problem for tire supply chain considering sustainability aspects and quantity discounts. *Journal of Cleaner Production*, 198, ss. 704–720. tarihinde <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.059> adresinden erişildi.

Ecer, F. (2021). FUCOM Sübjektif Ağırlıklandırma Yöntemi ile Rüzgâr Çiftliği Yer Seçimini Etkileyen Faktörlerin Analizi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 27(1), ss. 24–34.

Eroğlu, Ç., ve Şahin, Ş. (2023). Geri Dönüşüm Süreci İçin Yeni Bir Bulanık Envanter Modeli. *DEÜ FMD*, 25(7), ss. 21–36.

Fallahpour, A., Yazdani, M., Mohammed, A., ve Yew Wong, K. (2021). Green sourcing in the era of industry 4.0: towards green and digitalized competitive advantages Alireza Fallahpour. *Industrial Management & Data Systems*, 121(9), ss. 1997–2025.

1 Aralık 2021 tarihinde <https://www.emerald.com/insight/0263-5577.htm> adresinden erişildi.

Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M., ve Van Wassenhove, L. N. (2001). The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design. *Production and Operations Management*, 10(2), ss. 156–173. John Wiley & Sons, Ltd. 21 Mart 2023 tarihinde <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00076.x> adresinden erişildi.

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van Der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E., ve Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), ss. 1–17. North-Holland.

Ghiani, G., Laporte, G., ve Musmanno, R. (2013). Introduction to Logistics Systems Management. *Introduction to Logistics Systems Management*. Wiley. 9 Şubat 2023 tarihinde <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118492185> adresinden erişildi.

Ghoushchi, S. J., ve Hushyar, I. (2020). *Designing A Closed-Loop Supply Chain Network And Providing A Multi-Objective Mathematical Model to Select A Third-Party Logistics Company and Supplier Simultaneously*. *International Journal of Industrial Engineering* (C. 27). tarihinde <https://www.researchgate.net/publication/342200376> adresinden erişildi.

Van Gogh, J. B., Aramyan, L. H., Van der Sluis, A. A., Soethoudt, J. M., ve Scheer, F. P. (2013). *Feasibility of a network of excellence postharvest food losses : combining knowledge and competences to reduce food losses in developing and emerging economies*. Wageningen UR Food & Biobased Research.

Goker, N. (2021). A novel integrated intuitionistic fuzzy decision aid for agile outsourcing provider selection: a COVID-19 pandemic-based scenario analysis. *SOFT COMPUTING*, 25(21), ss. 13723–13740. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 7 Aralık 2021 tarihinde <https://avesis.gsu.edu.tr/yayin/36580c70-83b5-4ef2-b2f3-076b11a68c35/a-novel-integrated-intuitionistic-fuzzy-decision-aid-for-agile-outsourcing-provider-selection-a-covid-19-pandemic-based-scenario-analysis> adresinden erişildi.

- González-Benito, J., ve González-Benito, Ó. (2008). Operations management practices linked to the adoption of ISO 14001: An empirical analysis of Spanish manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 113(1), ss. 60–73. Elsevier.
- Görgülü, H. (2021). *Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde Sürdürülebilir Lojistik ve Yer Seçimi için Bir Karma Tamsayılı Programlama Modeli Önerisi*. KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ.
- Govindan, K., Dhingra Darbari, J., Agarwal, V., ve Jha, P. C. (2017). Fuzzy multi-objective approach for optimal selection of suppliers and transportation decisions in an eco-efficient closed loop supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 165, ss. 1598–1619. 16 Mayıs 2021 tarihinde <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.180> adresinden erişildi.
- Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., ve Gholami-Zanjani, S. M. (2020). An Integrated Hybrid Approach for Circular supplier selection and Closed loop Supply Chain Network Design under Uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 242, s. 118317. Elsevier Ltd.
- Govindan, K., Salehian, F., Kian, H., Hosseini, S. T., ve Mina, H. (2023). A location-inventory-routing problem to design a circular closed-loop supply chain network with carbon tax policy for achieving circular economy: An augmented epsilon-constraint approach. *International Journal of Production Economics*, 257, s. 108771. Elsevier B.V.
- Guan, D., Wang, D., Hallegatte, S., Davis, S. J., Huo, J., Li, S., vd. (2020). Global supply-chain effects of COVID-19 control measures. *Nature Human Behaviour* 2020 4:6, 4(6), ss. 577–587. Nature Publishing Group. 27 Ocak 2022 tarihinde <https://www.nature.com/articles/s41562-020-0896-8> adresinden erişildi.
- Gultekin, B., Demir, S., Akif Gunduz, M., Cura, F., ve Ozer, L. (2022). The logistics service providers during the COVID-19 pandemic: The prominence and the cause-effect structure of uncertainties and risks. *Computers & Industrial Engineering*, s. 107950. tarihinde <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.107950> adresinden erişildi.
- Hezer, S., Gelmez, E., ve Özceylan, E. (2021). Comparative analysis of TOPSIS, VIKOR

- and COPRAS methods for the COVID-19 Regional Safety Assessment. *Journal of Infection and Public Health*, 14(6), ss. 775–786. Elsevier Ltd.
- van Hoek, R. I. (2000). The thesis of leagility revisited. *International Journal of Agile Management Systems*, 2(3), ss. 196–201. MCB UP Ltd.
- İllahi, U., ve Mir, M. S. (2021). Maintaining efficient logistics and supply chain management operations during and after coronavirus (COVID-19) pandemic: learning from the past experiences. *Environment, Development and Sustainability* 2021 23:8, 23(8), ss. 11157–11178. Springer. 1 Kasım 2021 tarihinde <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-020-01115-z> adresinden erişildi.
- İlyas, M., Carpitella, S., ve Zoubir, E. (2021). Designing supplier selection strategies under COVID-19 constraints for industrial environments. *Procedia CIRP* içinde (C. 100, ss. 589–594). Elsevier B.V.
- Karaaslan, A. (2013). *Bulanık Çok Amaçlı Programlama ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Tasarımı ve Optimizasyonu*. Atatürk.
- Karagul, K., Sahin, Y., Aydemir, E., ve Oral, A. (2019). A simulated annealing algorithm based solution method for a green vehicle routing problem with fuel consumption. *International Series in Operations Research and Management Science*, 273, ss. 161–187. Springer New York LLC. 21 Mart 2023 tarihinde https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97511-5_6 adresinden erişildi.
- Kazimieras Zavadskas, E., Kaklauskas, A., ve Šarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), ss. 131–139. tarihinde <https://www.researchgate.net/publication/285902199> adresinden erişildi.
- Kisomi, S. M., Solimanpur, M., ve Doniavi, A. (2016). An integrated supply chain configuration model and procurement management under uncertainty: A set-based robust optimization methodology. *Applied Mathematical Modelling*, 40(17–18), ss. 7928–7947. Elsevier Inc.
- Lin, C. T., Chiu, H., ve Chu, P. Y. (2006). Agility index in the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 100(2), ss. 285–299. Elsevier.
- Liu, H. W., ve Wang, G. J. (2007). Multi-criteria decision-making methods based on

intuitionistic fuzzy sets. *European Journal of Operational Research*, 179(1), ss. 220–233. North-Holland.

Lotfi, A., Shakouri, M., Abazari, S. R., Aghsami, A., ve Rabbani, M. (2023). A multi-objective optimization for a closed-loop sustainable pharmaceutical supply chain network design: a case study. *Journal of Advances in Management Research, ahead-of-p*(ahead-of-print). Emerald Publishing.

Magableh, G. M., ve Mistarihi, M. Z. (2022). Applications of MCDM approach (ANP-TOPSIS) to evaluate supply chain solutions in the context of COVID-19. *Heliyon*, 8(3), s. e09062. Elsevier. 15 Mart 2022 tarihinde <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844022003504> adresinden erişildi.

Mahmoudi, A., Javed, S. A., ve Mardani, A. (2021). Gresilient supplier selection through Fuzzy Ordinal Priority Approach: decision-making in post-COVID era. *Operations Management Research*, ss. 1–25. Springer. 27 Ocak 2022 tarihinde <https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-021-00178-z> adresinden erişildi.

Mason-Jones, R., Naylor, B., ve Towill, D. R. (2000). Engineering the leagile supply chain. *International Journal of Agile Management Systems*, 2(1), ss. 54–61. 1 Şubat 2022 tarihinde <http://www.emerald-library.com> adresinden erişildi.

Mason-Jones, R., Naylor, B., ve Towill, D. R. (2010). Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the marketplace. *International Journal of Production Research* ISSN:, 38(17), ss. 4061–4070. Taylor & Francis Group. 27 Ocak 2022 tarihinde <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540050204920> adresinden erişildi.

Matić, B., Jovanović, S., Das, D. K., Zavadskas, E. K., Stević, Z., Sremac, S., vd. (2019). A new hybrid MCDM model: Sustainable supplier selection in a construction company. *Symmetry*, 11(3), ss. 1–25. MDPI AG.

Moghaddam, K. S. (2015). Supplier selection and order allocation in closed-loop supply chain systems using hybrid Monte Carlo simulation and goal programming. *International Journal of Production Research*, 53(20), ss. 6320–6338. Taylor and Francis Ltd. 2 Şubat 2023 tarihinde

<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tpsr20>
adresinden erişildi.

Mohammadzadeh, M., Khamseh, A. A., ve Mohammadi, M. (2017). A multi-objective integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection considering uncertain demand and different performance levels. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 13(2), ss. 1041–1064. American Institute of Mathematical Sciences.

Mohammed, A., Yazdani, M., Oukil, A., ve Santibanez Gonzalez, E. D. R. (2021). A Hybrid MCDM Approach towards Resilient Sourcing. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 2695, 13(5), s. 2695. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 21 Aralık 2021 tarihinde <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2695/htm> adresinden erişildi.

Mohammed, A., Yazdani, M., Oukil, A., Santibanez Gonzalez, E. D. R., ve Hatami-Marbini, A. (2021). A Hybrid MCDM Approach towards Resilient Sourcing. *Sustainability*, 13, s. 2695. tarihinde <https://doi.org/10.3390/su13052695> adresinden erişildi.

Mota, B., Carvalho, A., Barbosa-Póvoa, A., ve Gomes, M. I. (2016). Green supply chain design and planning. *Proceedings of 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IEEE IESM 2015*, (January 2017), ss. 537–545.

Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A., ve Paula Barbosa-Povoa, A. (2017). Sustainable Supply Chains: An Integrated Modeling Approach Under Uncertainty. *Omega*, 77, ss. 32–57. 14 Mayıs 2021 tarihinde <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2017.05.006> adresinden erişildi.

Moyano-Fuentes, J., Bruque-Cámara, S., ve Maqueira-Marín, J. M. (2019). Development and validation of a lean supply chain management measurement instrument. *Production Planning and Control*, 30(1), ss. 20–32. Taylor and Francis Ltd.

Nasr, K. A., Tavana, M., Alavi, B., ve Mina, H. (2021). A novel fuzzy multi-objective circular supplier selection and order allocation model for sustainable closed-loop supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 287, s. 124994. tarihinde

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124994> adresinden erişildi.

- Naz, F., Kumar, A., Majumdar, A., ve Agrawal, R. (2021). Is artificial intelligence an enabler of supply chain resiliency post COVID-19? An exploratory state-of-the-art review for future research. *Operations Management Research* 2021, ss. 1–21. Springer. 1 Kasım 2021 tarihinde <https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-021-00208-w> adresinden erişildi.
- Orji, I. J., ve Ojadi, F. (2021). Investigating the COVID-19 pandemic's impact on sustainable supplier selection in the Nigerian manufacturing sector. *Computers & Industrial Engineering*, 160, s. 107588. Elsevier. 8 Kasım 2021 tarihinde [/pmc/articles/PMC8490952/](https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-industrial-engineering/article/pii/S036053102100552) adresinden erişildi.
- Özmen, A. (2013). *Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı: Türkiye Cep Telefonu Yeniden Üretimi Karma Tamsayı Model Önerisi*. Abant İzzet Baysal University.
- Pamučar, D., Badi, I., Sanja, K., ve Obradović, R. O. (2018). A Novel Approach for the Selection of Power-Generation Technology Using a Linguistic Neutrosophic CODAS Method: A Case Study in Libya. tarihinde www.mdpi.com/journal/energies adresinden erişildi.
- Pamučar, D., Stević, Ž., ve Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom). *Symmetry*, 10(393), ss. 1–22. 14 Aralık 2022 tarihinde <https://www.mdpi.com/337746> adresinden erişildi.
- Petrudi, S. H. H., Ahmadi, H. B., Rehman, A., ve Liou, J. J. H. (2021). Assessing suppliers considering social sustainability innovation factors during COVID-19 disaster. *Sustainable Production and Consumption*, 27, ss. 1869–1881. Elsevier B.V.
- Pratap, S., Daultani, Y., Dwivedi, A., ve Zhou, F. (2021). Supplier selection and evaluation in e-commerce enterprises: a data envelopment analysis approach. *Benchmarking*, ss. 1463–5771. Emerald Group Holdings Ltd. 30 Nisan 2021 tarihinde <https://www.emerald.com/insight/1463-5771.htm> adresinden erişildi.
- Prentkovskis, O., Erceg, Ž., Stević, Ž., Tanackov, I., Vasiljević, M., ve Gavranović, M. (2018). A new methodology for improving service quality measurement: Delphi-FUCOM-SERVQUAL model. *Symmetry*, 10(12), ss. 1–25. MDPI AG.

- Rad, S. R., ve Nahavandi, N. (2018). A novel multi-objective optimization model for integrated problem of green closed loop supply chain network design and quantity discount. *Journal of Cleaner Production*, 196, ss. 1549–1565. tarihinde <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.034> adresinden erişildi.
- Rezaei, S., Ghalehkhondabi, I., Rafiee, M., ve Zanganeh, S. N. (2020). Supplier selection and order allocation in CLSC configuration with various supply strategies under disruption risk. *OPSEARCH*, 57, ss. 908–934.
- Riera, R., Bagattini, Â. M., Pacheco, R. L., Pachito, D. V., Roitberg, F., ve Ilbawi, A. (2021). Delays and Disruptions in Cancer Health Care Due to COVID-19 Pandemic: Systematic Review. <https://doi.org/10.1200/GO.20.00639>, 1(7), ss. 311–323. American Society of Clinical Oncology.
- Rivera, L., Wan, H., Chen, F. F., ve Lee, W. M. (2007). Beyond Partnerships: The Power of Lean Supply Chains. *Trends in Supply Chain Design and Management*, ss. 241–268. Springer, London. 21 Ocak 2022 tarihinde https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84628-607-0_10 adresinden erişildi.
- Rouyendegh, B. D., Yildizbasi, A., ve Üstünyer, P. (2020). Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method for Green Supplier Selection Problem. *Soft Computing*, 24(3), ss. 2215–2228. Springer. 4 Eylül 2022 tarihinde <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-019-04054-8> adresinden erişildi.
- Saaty, T. L. (2001). Deriving The Ahp 1-9 Scale From First Principles. *6th ISAHP* içinde (C. August, ss. 397–402). Berne, Switzerland.
- Saaty, T. L., ve Vargas, L. G. (2007). Dispersion of group judgments. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7–8), ss. 918–925. Pergamon.
- Şahin, Y., ve Karagül, K. (2022). FUCOM ve COPRAS Yöntemleriyle ERP Yazılımı Seçimi. *4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences* içinde (ss. 1–7). Konya, Türkiye: ICAENS 2022. tarihinde <https://www.icaens.org/> adresinden erişildi.
- Şahin, Y., ve Supçiller, A. (2015). Tedarikçi Seçimi için Bir Karar Destek Sistemi. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 3(2), ss. 91–104. Süleyman Demirel

- Sajadiyan, S. M., Hosnavi, R., Karbasian, M., ve Abbasi, M. (2022). An approach for reliable circular supplier selection and circular closed-loop supply chain network design focusing on the collaborative costs, shortage, and circular criteria. *Environment, Development and Sustainability*, ss. 1–24. Springer Science and Business Media B.V.
- Seker, S., Bağlan, F. B., Aydın, N., Deveci, M., ve Ding, W. (2023). Risk assessment approach for analyzing risk factors to overcome pandemic using interval-valued q-rung orthopair fuzzy decision making method. *Applied Soft Computing*, 132(109891), ss. 1–14. Elsevier Ltd.
- Shang, Z., Yang, X., Barnes, D., ve Wu, C. (2022). Supplier selection in sustainable supply chains: Using the integrated BWM, fuzzy Shannon entropy, and fuzzy MULTIMOORA methods. *Expert Systems with Applications*, 195, s. 116567. Pergamon.
- Shao, Y., Barnes, D., ve Wu, C. (2022). Sustainable supplier selection and order allocation for multinational enterprises considering supply disruption in COVID-19 era. *Australian Journal of Management* 1, 0(00), ss. 1–39. SAGE PublicationsSage UK: London, England. 1 Mart 2022 tarihinde <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03128962211066953> adresinden erişildi.
- Şişman, B. (2015). *Olabilirsel Doğrusal Programlama ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımında Kurumsal Sosyal Sorumluluğun Etkisinin Belirlenmesi*. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Soysal, M. (2016). Closed-loop Inventory Routing Problem for returnable transport items. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, ss. 31–45. Pergamon.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., ve Van Der Vorst, J. G. A. J. (2015). Modeling an Inventory Routing Problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 164, ss. 118–133. Elsevier.

- Tavana, M., Kian, H., Nasr, A. K., Govindan, K., ve Mina, H. (2022). A comprehensive framework for sustainable closed-loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production*, 332, ss. 1–15. Elsevier Ltd.
- Tavana, M., Shaabani, A., Di Caprio, D., ve Amiri, M. (2021). An integrated and comprehensive fuzzy multicriteria model for supplier selection in digital supply chains. *Sustainable Operations and Computers*, 2, ss. 149–169. Elsevier.
- Thierry, M., Salomon, M., van Nunen, J., ve van Wassenhove, L. (1995). Strategic Issues in Product Recovery Management. *California Management Review*, 37(2), ss. 114–135. SAGE PublicationsSage CA: Los Angeles, CA. 20 Mart 2023 tarihinde <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2307/41165792?journalCode=cmra> adresinden erişildi.
- Tordecilla, R. D., Juan, A. A., Montoya-Torres, J. R., Quintero-Araujo, C. L., ve Panadero, J. (2021, Ocak 1). Simulation-optimization methods for designing and assessing resilient supply chain networks under uncertainty scenarios: A review. *Simulation Modelling Practice and Theory*. Elsevier B.V.
- Torğul, B. (2022). *Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde Blok Zincir Teknolojisinin Entegrasyonu ve Çok Seviyeli Rekabetçi Ağ Tasarımı Optimizasyonu: Yeni Bir Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı*. Konya Teknik Üniversitesi.
- Tukamuhabwa, B. R., Stevenson, M., Busby, J., ve Zorzini, M. (2015). Supply chain resilience: Definition, review and theoretical foundations for further study. *International Journal of Production Research*, 53(18), ss. 5592–5623.
- U-Dominic, C., Orji, I. J., Okwu, M., ve Victor, M. (2021). The Impact of Covid-19 Pandemic on Sustainable Supplier Selection Process. *Advancing Industrial Engineering through Teaching*, ss. 1–28. tarihinde <https://www.researchgate.net/publication/350637845> adresinden erişildi.
- Wang, C. N., Pan, C. F., Nguyen, V. T., ve Husain, S. T. (2022). Sustainable supplier selection model in supply chains during the COVID-19 pandemic. *Computers, Materials and Continua*, 70(2), ss. 3005–3019. Tech Science Press.
- Yu, H., ve Solvang, W. D. (2020). A fuzzy-stochastic multi-objective model for sustainable planning of a closed-loop supply chain considering mixed uncertainty

- and network flexibility. *Journal of Cleaner Production*, 266, s. 121702. Elsevier Ltd.
- Yurtyapan, M. S. (2019). Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılım Tercihinde Macbeth Karar Verme Metodunun Aralık Gri Sayı Yaklaşımı ile Geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ss. 1–54. Isparta.
- Yurtyapan, M. S., ve Aydemir, E. (2022). ERP Software Selection Using İntuitionistic Fuzzy and İnterval Grey Number-Based MACBETH Method. *Grey Systems Theory and Application*, 12(1), ss. 78–100. Emerald Group Holdings Ltd.
- Zhang, X., Zhao, G., Qi, Y., ve Li, B. (2019). A robust fuzzy optimization model for closed-loop supply chain networks considering sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20), s. 5726. MDPI AG.
- Zheng, Y., Xu, Z., He, Y., ve Liao, H. (2018). Severity assessment of chronic obstructive pulmonary disease based on hesitant fuzzy linguistic COPRAS method. *Applied Soft Computing Journal*, 69, ss. 60–71. Elsevier Ltd.
- Zhou, S. Bin, ve Ji, F. X. (2015). Impact of Lean Supply Chain Management on Operational Performance: A Study of Small Manufacturing Companies. *International Journal of Business Analytics*, 2(3), ss. 1–19. IGI Global.

EKLER



EK 1. Önerilen Matematiksel Modelin Çözümünde Kullanılan CPLEX Kodu

```
//Indices //Sets
{int} I = ...;
{int} M = ...;
{int} S= ...;
{int} W = ...;
{int} R = ...;
{int} T = {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12};
{int} Tunion0 = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12};

//Parameters
float c1[S][W]= ... ;
float c2[W][M]= ... ;
float c3[W][W]= ... ;
float h[W]= ... ;
float sc[W]= ...;
float scr[S]=... ;
float cap[S][I] = ... ;
float dem[M][T]= ...;
float b[W]= ... ;
float p[I]= ... ;
float d[S]= ... ;
float k[S]= ... ;
int shlf=... ;

//Decision Variables
dvar int+ Xswit[S][W][I][T];
dvar boolean Ywmit [W][M][I][T];
dvar int+ Sal [W][I][T];
dvar int+ Invwit [W][I][Tunion0];
dvar int+ Zabit [W][W][I][T];

dexpr float tasima_sw = sum (i in I) p[i] * (sum (s in S, w in W, t in T)
c1[s][w] * Xswit[s][w][i][t] * d[s]);
dexpr float siparis_sw = sum (i in I) p[i] * (sum (s in S, w in W, t in T)
k[s]*Xswit[s][w][i][t]);
dexpr float tasima_sw_puan = sum (i in I) p[i] * (sum (s in S, w in W, t in T)
c1[s][w] * Xswit[s][w][i][t] * d[s] * (2-scr[s])^2);
dexpr float siparis_sw_puan = sum (i in I) p[i] * (sum (s in S, w in W, t in
T) k[s]*Xswit[s][w][i][t]* (2-scr[s])^2);
dexpr float tasima_wm = sum (i in I) p[i] * (sum(w in W, m in M, t in T)
c2[w][m] * Ywmit[w][m][i][t]* dem[m][t]);
dexpr float tasima_ww = sum (i in I) p[i] * (sum (a in W, b in W: a != b, t in
T) c3[a][b] * Zabit[a][b][i][t]);
dexpr float bulundurma_w = sum (i in I) p[i] * (sum (w in W, t in T)
h[w]*Invwit[w][i][t]);
dexpr float salvage_w = sum (i in I) p[i] * (sum (w in W, t in T) sc[w]
*Sal[w][i][t]);
dexpr float totalcost = tasima_sw + siparis_sw + tasima_wm + tasima_ww +
bulundurma_w + salvage_w;

// Objective Function
minimize
tasima_sw_puan + siparis_sw_puan + tasima_wm + tasima_ww + bulundurma_w +
salvage_w;
```

```

subject to {
totalcost >= 0;

forall(s in S, i in I, t in T){
    sum (w in W) Xswit[s][w][i][t] * d[s] <= cap[s][i];
}

forall (m in M, i in I, t in T){
    sum (w in W) Ywmit[w][m][i][t] == 1;
}

forall (w in W, i in I){
    Invwit[w][i][0] == 0;
}

forall (w in W, i in I, t in T){
    Invwit[w][i][t] <= b[w];
}

forall (w in W, i in I, t in T){
    Invwit[w][i][t] == sum(teta in 1..t, s in S) Xswit[s][w][i][teta]*d[s]
    + sum(teta in 1..t, a in W: a != w) Zabit[a][w][i][teta] -
    (sum(teta in 1..t, m in M) Ywmit[w][m][i][teta] * dem[m][teta] +
    sum(teta in 1..t, b in W: b !=w) Zabit[w][b][i][teta]+ sum(teta
in 1..t) Sal[w][i][teta]);
}

forall (w in W, i in I, t in T:t>=shlf){
    Sal[w][i][t] >= Invwit[w][i][t-shlf+1] - (sum(beta in t-shlf+2..t, m in M)
Ywmit[w][m][i][beta] * dem[m][beta] +
    sum(beta in t-shlf+2..t, b in W: b !=w) Zabit[w][b][i][beta] +
sum(beta in t-shlf+2..t-1)Sal[w][i][beta)) +
    sum(beta in t-shlf+2..t, a in W: a !=w) Zabit[a][w][i][beta];
}

forall (w in W, i in I, t in T:t<shlf){
    Sal[w][i][t]==0;
}

forall (w in W, i in I, t in T){
    sum (a in W: a != w) Zabit[a][w][i][t] <= sum (m in M) Ywmit[w][m][i][t] *
dem[m][t];
}
}

```

EK 2. Senaryo İki ve Üç için Düğümler Arasındaki Ürün Akışları

Depoya Gelen														
Senaryo 2	Arz	Depo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	S_1	W_1	3200	2400	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
		W_2												
	S_2	W_1												
		W_2					800			2400				
	S_3	W_1	800		800		4000	3200	2400	4000				
		W_2												
	S_4	W_1												
	W_2	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
	W_1	W_2	0	0	0	25	70	70	0	0	70	0	50	85
	W_2	W_1	105											
Depodan Giden														
Senaryo 2	Zaman Dilimi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Depo	Talep												
	W_1	M_1	500	600	200	900	1000	1200	1500	1200	500	600	200	900
		M_2	700	400	700	400	1200	700	400	1300	700	400	700	400
		M_3	800	1200	1400	900	1300	300	1000	700	800	1200	1400	900
		M_4	550	650	250	950	1050	1250	1550	1250	550	650	250	950
		M_5												
		M_6												
		M_7	380										80	
		M_8					905	1105	1405				105	

	M_9					1000	500		1100				
	M_{10}	650		650	350	1150	650	350	1250	650			350
	W_2	105											
Toplam pazar talebi		3580	2850	3200	3500	7605	5705	6205	6800	3200	2850	2735	3500
	M_1												
	M_2												
	M_3												
	M_4												
	M_5	670	370	670	370	1170	670	370	1270	670	370	670	370
W2	M_6	720	420	720	420	1220	720	330	1230	630	330	630	330
	M_7		480	80	780	880	1080	1380	1080	380	480		780
	M_8	405	505	105	805				1105	405	505		805
	M_9	500	200	500	200			200		500	200	500	200
	M_{10}		350								350	650	
	W_1	0	0	0	25	70	70	0	0	70	0	50	85
	Toplam	2295	2325	2075	2575	3270	2470	2280	4685	2585	2235	2450	2485

		Depoya	Gelen												
		Arz	Depo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Senaryo 3	S_1	W_1	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
		W_2													
	S_2	W_1													
		W_2					2400	1600	2400	2400					
	S_3	W_1	2400	800	1600	3200	3200	3200	3200	3200	2400	800	1600	1600	
		W_2													
	S_4	W_1													
		W_2	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	W_1	W_2	170	0	0	65	55	0	40	100	80	85	0	0	
	W_2	W_1											5		
		Depodan	Giden												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Senaryo 3	Depo	Talep													
	W_1	M_1	500	600	200	900	1000	1200	1500	1200	500	600	200	900	
		M_2	700	400	700	400	1200	700	400	1300	700	400	700	400	
		M_3	800	1200	1400	900	1300	300	1000	700	800	1200	1400	900	
		M_4	550	650	250	950	1050	1250	1550	1250	550	650	250	950	
		M_5													
		M_6													
		M_7		480											
		M_8	405			805		1105			405				805
		M_9	500		500	200	1000			1100	500	200	500		
		M_{10}	650	350	650	350	1150	650	350	1250	650	350	650	350	

	W_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
	Toplam	4105	3680	3700	4505	6700	5205	4800	6800	4105	3400	3700	4305
	M_1												
	M_2												
	M_3												
	M_4												
	M_5	670	370	670	370	1170	670	370	1270	670	370	670	370
W_2	M_6	720	420	720	420	1220	720	330	1230	630	330	630	330
	M_7	380		80	780	880	1080	1380	1080	380	480	80	780
	M_8		505	105		905		1405	1105		505	105	
	M_9		200				500	200					200
	M_{10}												
	W_1	170	0	0	65	55	0	40	100	80	85	0	0
	Toplam	1770	1495	1575	1570	4175	2970	3685	4685	1680	1685	1485	1680

EK 3. Senaryo İki ve Üç için Depolarda Bulunan Envanter Durum Tablosu

Senaryo 2													
	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W_2	Dönem başı tedarikçiden gelen	2400	2400	2400	2400	3200	2400	2400	4800	2400	2400	2400	2400
	Dönem başı depodan gelen	0	0	0	25	70	70	0	0	70	0	50	85
	Önceki dönem envanter	0	0	0	150	0	0	0	0	115	0	0	0
	Dönem başı müşteri talebi	2295	2325	2075	2575	3270	2470	2280	4685	2585	2235	2450	2485
	Dönem başı depoya giden	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Atık	0	75	175	0	0	0	120	0	0	165	0	0
	Envanter	0	0	150	0	0	0	0	115	0	0	0	0
	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W_1	Dönem başı tedarikçiden gelen	4000	2400	3200	4000	7200	6400	5600	7200	3200	3200	3200	3200
	Dönem başı depodan gelen	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Önceki dönem envanter	0	525	0		475	0	605	0	70	0	0	385
Dönem başı müşteri talebi	3580	2850	3200	3500	7605	5705	6205	6800	3200	2850	2735	3500
Dönem başı depoya giden	0	0	0	25	70	70	0	0	70	0	50	85
Atık	0	75	0	0	0	20	0	330	0	350	30	0
Envanter	525	0	0	475	0	605	0	70	0	0	385	0

Senaryo 3

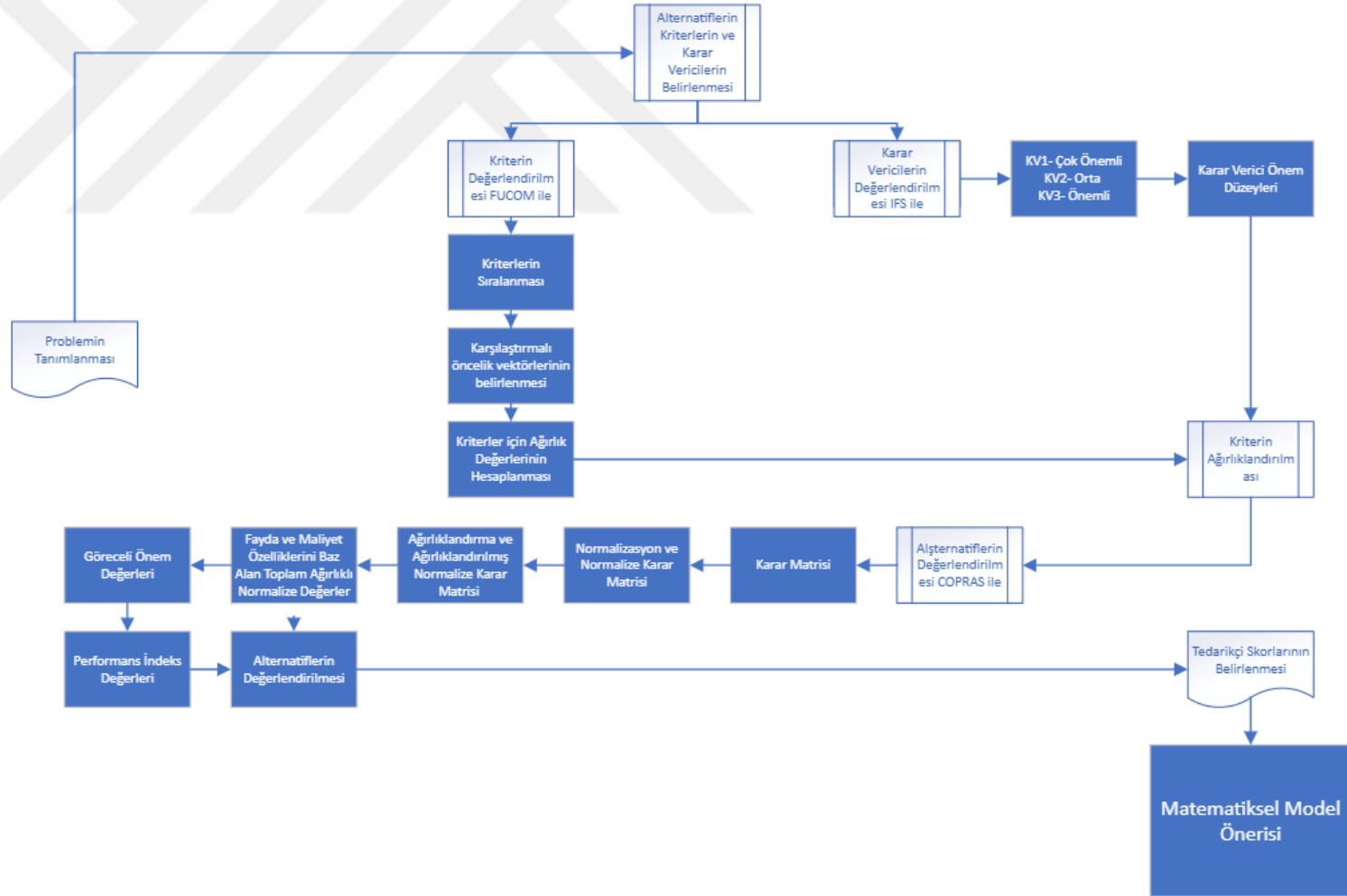
W_2

Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dönem başı tedarikçiden gelen	1600	1600	1600	1600	4000	3200	4000	4000	1600	1600	1600	1600
Dönem başı depodan gelen	170	0	0	65	55	0	40	100	80	85	0	0
Önceki dönem envanter	0	0	0	25	120	0	230	585	0	0	0	80
Dönem başı müşteri talebi	1770	1495	1575	1570	4175	2970	3685	4685	1680	1685	1485	1680
Dönem başı depoya giden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Atık	0	105	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0

	Envanter	0	0	25	120	0	230	585	0	0	0	80	0
	Zaman dilimi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dönem başı tedarikçiden gelen	4800	3200	4000	5600	5600	5600	5600	5600	4800	3200	4000	4000
	Dönem başı depodan gelen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
	Önceki dönem envanter	0	525	0	270	1300	145	540	1300	0	285	0	305
	Dönem başı müşteri talebi	4105	3680	3700	4505	6700	5205	4800	6800	4105	3400	3700	4305
	Dönem başı depoya giden	170	0	0	65	55	0	40	100	80	85	0	0
	Atık	0	45	30	0	0	0	0	0	330	0	0	0
	Envanter	525	0	270	1300	145	540	1300	0	285	0	305	0

W_1

EK 4. İncelenen Problem İş Akış Şeması



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler :

Adı ve Soyadı : Sibel ERİŞKAN

Eğitim Durumu :

Lisans Öğrenimi : Erciyes Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme (3,68 Bölüm Birincisi, Fakülte
İkincisi)

2010-2015

Yüksek Lisans Öğrenimi

: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

2016-2018

İş Deneyimi :

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

İİBF, İşletme- Araştırma Görevlisi

2016-devam ediyor

Bilimsel Yayınlar ve Çalışmalar :

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

1. Soysal, M., Belbağ, S., ve Erişkan, S. (2022). Horizontal Collaboration among SMEs through a Supply and Distribution Cooperative. *Open Transportation Journal*, 16.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler:

1. Erişkan S., Özdaşlı K., Akdağ S. (2017). Marketing Problems of Burdur Dairy Products Business. International Conference on Social Science, Arts, Business and Education, Paris- France (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

Yazılan Uluslararası Kitaplardaki Bölümler:

1. Erişkan, S. ve şahin, Y. (2023). BRICS-T Őlkelerinin Pandemi Dönemi Refah Düzeylerinin Entropi Ağırlıklı MAIRCA Yöntemiyle Analizi. E. Arslan (Eds.) içinde, *Sosyal Beşeri ve İdari Bilimler Alanında Uluslararası Araştırmalar XIII*, (1. Baskı, ss. 41-58). Eēitim Yayınevi.
2. Erişkan, S. ve şahin, Y. (2023). Entropi Ağırlıklı PROMETHEE ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleriyle Bursiyer Seçimi. M. Atalay (Eds.) içinde, *Teori ve Uygulamalarla Nicel Karar Verme*, (1. Baskı, ss. 71-100). İKSAD Yayınevi.

