



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE BLOK ZİNCİR
TEKNOLOJİSİNİN ENTEGRASYONU VE ÇOK SEVİYELİ
REKABETÇİ AĞ TASARIMI OPTİMİZASYONU: YENİ BİR
ETKİLEŞİMLİ BULANIK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI**

Belkız TORĞUL

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Belkız TORĖUL tarafından hazırlanan “Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde Blok Zincir Teknolojisinin Entegrasyonu ve Çok Seviyeli Rekabetçi Ağ Tasarımı Optimizasyonu: Yeni Bir Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı” adlı tez çalışması 16/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ahmet PEKER

.....

Danışman

Prof. Dr. Turan PAKSOY

.....

Üye

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Belkız TORĞUL

Tarih:16.06.2022

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN ENTEGRASYONU VE ÇOK SEVİYELİ REKABETÇİ AĞ TASARIMI OPTİMİZASYONU: YENİ BİR ETKİLEŞİMLİ BULANIK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

Belkız TORĞUL

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Turan PAKSOY

2022, 176 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Turan PAKSOY
Prof. Dr. Ahmet PEKER
Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Kısıtlı doğal kaynaklar ve bunların bilinçsizce tüketilmesi, son yıllarda hammadde yerine atık malzemenin işlenme oranının artmasına yol açmış ve endüstriyel ortamı daha rekabetçi hale getirerek, Tedarik Zinciri Yönetiminin (TZY) dinamiklerini değiştirmiştir. Kullanım ömrü sonu ürün sayısının artması ve bunlarla ilgili çevresel kaygılar, aynı zamanda müşteri baskılarına cevap verebilmek adına lojistiğin tersine çevrilmesine büyük özen gösterilerek Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ) tasarımı ve optimizasyonu üzerine ilgi artmıştır.

Günümüzde hızla gelişen bilgi teknolojisi, pek çok alanda olduğu gibi tedarik zincirlerinde de doğru, yeterli ve güvenli bilgi paylaşımını sağlayarak çok daha verimli yapılar elde etme üzerine beklentileri artırmaktadır. Özellikle gıda, ilaç, vb. gibi güvenliğe duyarlı sektörler başta olmak üzere, TZY'de izlenebilirlik kritik bir unsurdur. Blok zincir teknolojisi, izlenebilirlik, şeffaflık ve güvenlik sağlayan merkezi olmayan bir kayıt platformudur ve geleneksel TZY sorunlarını hafifletme ve pozitif bir katkı sağlayacağı konusunda umut vaat etmektedir. KDTZ, geniş bir literatüre sahiptir ve bu çerçevede tedarik zinciri maliyetlerini optimize etmek için pek çok model geliştirilmiştir. Blok zincir teknolojisi dikkat çekse de, tedarik zincirine entegrasyonu üzerine odaklanan çok az uygulama çalışması vardır. Bununla birlikte, literatürün çoğu tekil tedarik zinciri ile ilgilidir ve mevcut rakip tedarik zincirlerini görmezden gelir. Ancak, günümüzün rekabetçi pazarlarında, tedarik zincirleri birkaç rekabetçi şirket tarafından birbirine entegre şeklinde oluşturulmakta ve daha fazla pazar payı elde etmek için birlikte rekabet ederek çalışmaktadır. Böyle bir ortamda, tedarik zincirleri içinde ve arasında farklı rekabet biçimleri vardır.

Bu bağlamda tez çalışmasının ilk aşamasında, etkin ve verimli TZY için ileri ve tersine akış faaliyetlerinin koordinasyonunda blok zincir teknolojisinin uygulama olanakları ve nihayetinde elde edilecek kazanımlar açıklayıcı senaryolar üzerinden uygun modeller geliştirilerek gösterilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle geleneksel bir KDTZ ağı tasarlanmış ve modellenmiştir. Ardından mevcut modele blok zincir teknolojisinin kısmen, tam olarak, ileri ve tersine akışlara ayrı ayrı uygulanması şeklinde farklı durumlar için mevcut durum ile birlikte beş ayrı senaryo oluşturularak ana model geliştirilmiş ve uygulama sonuçları analiz edilmiştir. Bu aşamada, blok zincir teknolojisinin TZY'ye etki düzeyini ortaya koyarak ilgili literatürü geliştirmek amaçlanmıştır.

İkinci aşamada ise, önceki aşamada tek seviyeli olarak tasarlanan KDTZ ağı, tüm üyelerinin rekabetçi ve farklı karar vericiler olduğu kabul edilerek çok seviyeli şekilde ele alınmıştır. Buna bağlı olarak, ürün geri kazanımı için bir takım teşviklerle kullanılmış ürünleri iade etme istekliliğini artırarak sürdürülebilir tüketimi iyileştirmeye çalışan iki üretici, bir toplama & geri dönüşüm merkezi ve müşterilerden oluşan Çok Seviyeli Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (ÇSR-KDTZ) yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemi örnek olay çalışması ile ele alınmıştır. KDTZ yönetiminde farklı amaç fonksiyonlarına sahip olan karar vericiler için uzlaşık çözüme ulaşabilmek için, öncelikle Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Bulanık En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM) ve literatürde mevcut Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yaklaşımlarından yararlanılmıştır ve ardından yeni bir etkileşimli çok seviyeli bulanık programlama yaklaşımı geliştirilerek önceki yaklaşımlar ve geliştirilen yaklaşım ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Blok zincir teknolojisi, bulanık en iyi-en kötü yöntemi, bulanık kümeler, ÇKKV, çok-seviyeli programlama, etkileşimli bulanık programlama, geri dönen ürün yönetimi, rekabetçi kapalı döngü tedarik zinciri, ritmik yaklaşım.



ABSTRACT

PhD THESIS

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY INTEGRATION AND MULTI-LEVEL COMPETITIVE NETWORK DESIGN OPTIMIZATION IN CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN: A NOVEL INTERACTIVE FUZZY PROGRAMMING APPROACH

Belkız TORĖUL

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Turan PAKSOY

2022, 176 Pages

Jury

**Prof. Dr. Turan PAKSOY
Prof. Dr. Ahmet PEKER
Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Asst. Prof. Dr. Abdullah YILDIZBAŞI
Asst. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN**

Limited natural resources and unconscious consumption have led to an increase in the rate of processing waste material instead of raw materials in recent years and changed the dynamics of Supply Chain Management by making the industrial environment more competitive. The interest in Closed-Loop Supply Chain (CLSC) design and optimization are increased with great care being taken to reverse logistics in order to respond to customer pressures as well as environmental concerns associated with the increasing number of end-of-life products.

Nowadays, rapidly developing information technology increases expectations for obtaining much more efficient structures by providing accurate, sufficient and secure information sharing in supply chains as well as in many other fields. Traceability is a critical element in supply chain management, especially in security-sensitive sectors such as food, medicine, etc. Blockchain technology is a decentralized record platform that provides traceability, transparency and security, and it shows promise in alleviating traditional supply chain management problems and making a positive contribution. CLSC has extensive literature and many models have been developed to optimize supply chain costs. While blockchain technology is gaining attention, there are very few application studies focused on its integration into the supply chain. However, most of the literature deals with single supply chains and ignores existing competing supply chains. However, in today's competitive markets, supply chains are integrated with each other by several competitive companies and work together to gain more market share. In such an environment, there are different forms of competition within and between supply chains.

In this context, in the first stage of the thesis, the application possibilities of blockchain technology in forward and reverse flows activities coordination for effective and efficient supply chain management, and the resulting gains are demonstrated by developing appropriate models through explanatory scenarios. In this direction, first of all, a traditional CLSC network was designed and modeled. Then, the main model was developed by creating four more scenarios for different situations as partial, full, forward and reverse application of the blockchain technology to the existing model besides the current situation and the application results were analyzed. At this stage, it is aimed to advance the relevant literature by exposing the effect level of blockchain technology on supply chain management.

In the second stage, the CLSC network, which was designed as a single level in the previous stage, is handled in a multi-level manner, assuming that all its members are competitive and different decision-makers. Correspondingly, the problem of design and optimization of distribution networks in multi-level competitive CLSC management consisting of two producers, a collection & recycling center and customers trying to improve sustainable consumption by increasing the willingness to return used products with some incentives for product recovery is handled with a case study. In order to reach a consensus solution for decision-makers who have a different purpose in CLSC management, first of all, Fuzzy BWM, one of the multi-criteria decision-making methods and interactive fuzzy programming approaches available in the literature were used, and then a novel interactive multi-level fuzzy programming approach was developed, and the results obtained with the previous approaches and the developed approach are analyzed.

Keywords: Blockchain technology, competitive closed-loop supply chain, fuzzy BWM, fuzzy sets, interactive fuzzy programming, multi-criteria decision making (MCDM), multi-level programming, return product management, rhythmic approach.



ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince değerli bilgi birikimleri, tecrübeleri ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Turan PAKSOY'a; yine tez süreci boyunca desteklerini ve anlayışlarını esirgemeyen, tezimin son halini almasına bilgi ve önerileriyle katkıda bulunan tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN ve Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI'na; desteklerinden dolayı doktora eğitimimi aldığım Konya Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümüne teşekkürlerimi sunarım.

*Bana olan inançları, emekleri, destekleri ve sabırları için **Aileme** ♥ sonsuz teşekkürler...*

Belkız TORĞUL
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımına İlişkin Literatür Taraması.....	6
2.2. Tedarik Zinciri Yönetiminde Blok Zincir Teknolojilerinin Uygulamalarına İlişkin Literatür Taraması.....	21
2.3. Rekabetçi Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemlerine İlişkin Literatür Taraması	24
2.4. Etkileşimli/Çok-seviyeli Bulanık Programlamaya İlişkin Literatür Taraması	27
2.5. Tedarik Zinciri Yönetiminde BWM'in kullanımına İlişkin Literatür Taraması..	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri.....	35
3.1.1. Kapalı döngü ve geleneksel tedarik zincirleri arasındaki farklar	36
3.1.2. Kapalı döngü tedarik zinciri operasyonları.....	37
3.2. Blok Zincir Teknolojisi.....	40
3.2.1. Blok zinciri mimarisi	42
3.2.2. Blok zincirinin özellikleri	42
3.2.3. Blok zincir türleri.....	44
3.2.4. Blok zincir tabanlı tedarik zinciri	45
3.3. Rekabetçi Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemleri	47
3.3.1. Rekabetçi özelliklerin sınıflandırılması	50
3.3.1.1. Statik rekabet	51
3.3.1.2. Dinamik rekabet.....	51
3.3.1.3. Öngörülü rekabet	51
3.4. En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method)	53
3.4.1. En iyi en kötü yöntemin adımları	54
3.4.2. En iyi en kötü yöntemin tutarlılık oranı.....	55
3.5. Bulanık En İyi En Kötü Yöntemi	55
3.5.1. Matematiksel programlama modelinin oluşturulması	58
3.5.2. Oluşturulan matematiksel programlama modelinin çözümü	60
3.5.3. Bulanık tutarlılık indeksi	62
3.5.4. Bulanık tutarlılık oranı	63
3.5.5. Bulanık BWM adımları	65
3.6. Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımları	65
3.6.1. Zimmermann (1978)'in Max-Min yaklaşımı.....	66
3.6.2. Selim ve Özkarahan (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı	68

3.6.3. Torabi ve Hassini (2008)'ın bulanık çok amaçlı yaklaşımı	69
3.6.4. Sakawa ve Nishizaki (2002)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı .	69
4. İNCELENEN PROBLEMLER VE GELİŞTİRİLEN EBP YAKLAŞIMI	75
4.1. Blok Zincir Uygulamaları ile Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde Bilgi Yönetiminin Değeri.....	75
4.1.1. Matematiksel modeller	79
4.2. Çok Seviyeli Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemi ..	87
4.2.1. Matematiksel model.....	89
4.3. Ritmik Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımı.....	95
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	102
5.1. Problem (1) Uygulaması için Sayısal Örnek	102
5.1.1. Bulgular ve tartışma.....	104
5.2. Problem (2) Uygulaması için Sayısal Örnek	106
5.2.1. Bulgular ve tartışma.....	106
5.2.2. Bulanık BWM Uygulaması	112
5.2.3. Zimermann (1978) yaklaşımı ile çözümü.....	113
5.2.4. Selim ve Özkarahan (2008)'ın bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü .	114
5.2.5. Torabi ve Hassini (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü	117
5.2.6. Sakawa ve Nishizaki (2002)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü.....	119
5.2.7. Geliştirilen Ritmik etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşım ile çözümü...	122
5.2.8. Karşılaştırmalı analiz	131
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	134
6.1 Sonuçlar	136
6.2 Öneriler	139
KAYNAKLAR	141

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

pb	Para Birimi
km	Kilometre

Kısaltmalar

3D	3 Dimension (3 Boyut)
3PL	Üçüncü Taraf Lojistik Sağlayıcı
3PRLP	Üçüncü Parti Tersine Lojistik Sağlayıcı
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Ağ Süreci
BO	Best to Others (Diğerlerine Karşı En İyi Kriter Vektörü)
BWM	En iyi-En kötü Yöntemi
CLSC	Closed-Loop Supply Chain
COPRAS	Karmaşık Oransal Değerlendirme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇSR-KDTZ	Çok Seviyeli Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri
DEMATEL	Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı
EBP	Etkileşimli Bulanık Programlama
ERP	Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlaması)
FCI	Bulanık Tutarlılık İndeksi
FCR	Bulanık Tutarlılık Oranını
GA	Genetik Algoritma
GAMS	General Algebraic Modeling System (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi)
IoT	Nesnelerin İnterneti
IRN	Aralıklı Kaba Sayı
İTZ	İleri Tedarik Zinciri
KDTZ	Kapalı Döngü Tedarik Zinciri
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
KTDOP	Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama
KTDP	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
KV	Karar Verici

LINDO	Linear, Interactive, and Discrete Optimizer (Doğrusal,Etkileşimli ve Ayrık Optimize Edici)
MABAC	Çok Nitelikli Sınır Yaklaşım Alanı Kıyaslaması
NP	Non-Polynomial
OW	Others to Worst (En Kötü Kriterlere Karşı Diğerleri Vektörü)
PROMETHEE	Zenginleştirilmiş Değerlendirme için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi
PSO	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama
TBL	Triple Bottom Line (Üçlü Performans Boyutu - Ekonomik, Çevresel, Sosyal)
TC	Toplam Maliyet
TFC	Sabit Tesis Maliyeti
TMC	Toplam Üretim Maliyeti
TODIM	Yinelemeli Çok Kriterli Karar Verme
TOPSIS	İdeal Çözüm Benzerliğine Dayanan Tercih Sıralama Tekniği
TPC	Toplam Satın Alma Maliyeti
TR	Toplam Kazanç
TTC	Toplam Taşıma Maliyeti
TTZ	Tersine Tedarik Zinciri
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
WASPAS	Ağırlıklı Birleşik Toplu Çarpım Değerlendirmesi

1. GİRİŞ

Tedarik zinciri, tedarikçiden müşteriye, sipariştten teslimata kadar tüm aşamaları oluşturmaktadır. Bir tedarik zinciri sistemi, ürün ve hizmetlerin tedarikçilerden son müşterilere taşınması sürecinde doğrudan veya dolaylı olarak yer alan birkaç üyeden oluşur (Hosseini-Motlagh ve ark., 2018). Tedarikçi, üretici, dağıtıcı, perakendeci, toplama merkezleri, geri dönüşüm merkezleri ve bertaraf gibi zincir halkalarına dayalı çeşitli tedarik zinciri konfigürasyon modelleri düşünülebilir (Azadeh ve ark., 2016). KDTZ bu aşamaların iki taraflı bir durumudur. İleri akış, maliyeti en aza indirmeye odaklanırken, tersine akış, kullanılan bileşenlerin güvenilirliği, geri kazanım, sökme ve bertaraf kolaylığı gibi daha çevresel ölçümlere odaklanır (Ghayebloo ve ark., 2015; Ajalli ve ark., 2017). Geleneksel bir tedarik zinciri ağ tasarımı probleminde ana amaç, arz ve talebi optimal bir maliyet, fayda veya hizmet seviyesinde birbirine bağlamaktır, ancak günümüzde tedarik zinciri planlaması daha karmaşıktır (Farahani ve ark., 2014).

Modern tedarik zincirleri, üretici ve nihai müşteri arasındaki artan aracı sayısı nedeniyle son derece karmaşık değer ağlarına dönüşmüştür. Küreselleşme ve pazar büyümesi, şirketleri modern çağın pazar gereksinimlerini karşılamak için ürün çeşitliliğini ve yaşam döngülerini genişletmeye zorlamaktadır. Buna bağlı olarak, ürün işleme veya nakliye yolculuğu hakkında yeterli bilgi yoktur. Çünkü hammaddelerin kaynağını doğrulamak ve ürünlerin değer zinciri ağından geçerken görünürlüğünü korumak giderek zorlaşmaktadır (Azzi ve ark., 2019; Rejeb ve ark., 2019). Başından beri tedarik zinciri finansmanı çok önemli bir konu olmuştur. Tedarik zinciri üyeleri arasındaki eksik bilgi, düşük iletişim ve güvensizlik gibi problemler ise modern tedarik zincirinin birincil sorunları arasında yer almaktadır. Bu dinamik ortamda şirketler, bu zorlukların üstesinden gelme ve rekabet gücünü artırma gereksinimiyle başa çıkmak için blok zincir, nesnelere interneti, iş analitiği, yapay zekâ, bulut bilişim ve makine öğrenimi gibi yeni teknolojileri uygulamaya yönelmektedir (Rejeb ve ark., 2019). Blok zincir teknolojisi; merkezi olmama, güvenlik, denetlenebilirlik ve akıllı yürütme şeklinde dört temel özelliği içermesiyle mevcut çoğu bilgi sistemi tasarımından farklılık göstermektedir (Saberri ve ark., 2019).

Blok zincir teknolojisi, “geri döndürülemez ve bozulmaz bir bilgi deposu olarak hizmet veren dağıtılmış, paylaşılan, şifreli bir veri tabanı” olarak tanımlanmaktadır (Kamble ve ark., 2021). Bu teknoloji, sunduğu imkânlar ve çeşitlendirilebilir uygulamaları ile yüksek miktarda verimlilik vadetmektedir. İlk olarak, elektronik para birimi Bitcoin sisteminin güvenliğini sağlamak amacıyla ortaya konan blok zincir teknolojisi, yakın zamanda finansal

konuların dışında çeşitli alanlarda da yer bulmaya başlamıştır. Bunlardan bir tanesi de yetersiz bilgiye sahip olan ve yeterince şeffaf olmayan TZY süreçlerdir.

Bilgi sistemi yönetimi; gıda, sağlık, finans ve eğitim gibi pekçok sektörde merkezileştirilmiştir, yani tüm işlemler üçüncü taraf araçlar tarafından kontrol edilmektedir. Üyeler arasında daha yüksek düzeyde karşılıklı bağımlılık gerektiren merkezi bir yönetim sistemi haliyle veri bütünlüğü, esnekliği ve kullanılabilirliği açısından riskli olabilmekte ve sistemi dolandırıcılık ve kurcalamaya maruz bırakabilmektedir. Tedarikçiler ve tüketicileri arasında güvenilir bir ekosistem oluşturulmalıdır. Bu da, doğru ve güvenli veri toplama/depolamanın gerekli olduğu yerlerde ürün izlenebilirliğini sağlamak için zincir şeffaflığına odaklanan bir politika ile sağlanmaktadır (Azzi ve ark., 2019).

Blok zincir teknolojisi ile tedarik zincirlerine sürdürülebilir, güvenilir ve daha az maliyetli yeni bir yapı kazandırılabilmesine inanılmaktadır. Bu teknoloji ile yapılan işlemler için üçüncü bir şahısa ihtiyaç duyulmamaktadır. Her işlem, o işlemi gerçekleştiren tedarik zinciri üyesi tarafından şifreli olarak bloğa işlenmektedir. Her blok bir önceki ve sonraki bloklara bağlıdır ve tek bir üye tarafından değiştirilememekte veya silinememektedirler. İşlemler, otonom bir teknoloji-blok zinciri ile şartlara bağlanıp otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir (Wang ve ark., 2019). Tüm bunlara istinaden, blok zincir teknolojisinin tedarik zincirinde uygulanması ile ilgili sıkıntılar çözülmeye ve etkin tedarik zincirinin güvenlik, şeffaflık, geri dönüşüm, talep esnekliği, maliyet, kalite ve hız gibi hedefleri gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Blok zinciri teknolojisi ile elde edinilen geliştirilmiş görünürlük, bir ürünün yol aldığı tüm aşamaların denetlenebilir takibini sağlamaktadır. Bu olanak, özellikle bir ürün ayrıntılarının kanıtlanmasının oldukça mühim olduğu endüstriler için çok önemlidir.

Son yıllardaki önemli ilerlemelere rağmen, blok zincir ve TZY'nin entegrasyonu hala emekleme aşamasındadır (Queiroz ve ark., 2019; Wamba ve Queiroz, 2020). Endüstrinin devasa yatırımları göz önüne alındığında, potansiyel sonuçları araştıran ve şirketleri yönlendiren akademik araştırmalara ihtiyaç vardır (Treiblmaier, 2018). Bu doğrultuda, tezin ilk aşamasında tedarik zincirine blok zincir entegrasyonunu inceleyerek blok zincir tabanlı tedarik zincirlerinin verimliliğini ve yeterliliğini değerlendirmek için blok zincir teknolojisini kısmi, tam, sadece ileri akışta ve sadece tersine akışta uygulayan bir KDTZ'nin açıklayıcı modelleri geliştirilerek çoklu vaka analizleri yapılacaktır.

Günümüz piyasası rekabetçi ve dinamiktir. Rekabet stratejileri de, TZY çalışmasında önemli bir konudur (Farahani ve ark., 2014). Teknolojinin gelişmesi ve ekonomik küreselleşmeyle birlikte, tedarik zincirleri arasındaki rekabet, işletmelerin varlığında ve

gelişmesinde gittikçe daha elzem bir rol oynamaktadır. Yani, markalar için rekabet gücünü yükseltmek ve varlığını sürdüreceği yeni iş modelleri tasarlamak, yenilikten öte bir zorunluluk haline gelmiştir. Böyle bir durumda, rekabet avantajlarını sürdürmek için doğru tedarik zinciri yapısına karar vermek özellikle önemlidir (Yang ve ark., 2017). Artık rekabet, firmalara karşı firmalar olan klasik modelden yerini tedarik zincirlerine karşı tedarik zincirleri olan yeni bir modele doğru bırakmaya başlamaktadır (Farahani ve ark., 2014; Farahani ve ark., 2015; Seyedhosseini ve ark., 2018). Pazardaki bu yeni rekabet türü tedarik zinciri ağ yapılarını daha etkin ve verimli bir şekilde tasarlamaya zorlar (Farahani ve ark., 2015). Tedarik zincirinin halkaları/üyeleri; tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar, satış kanalları, lojistik hizmet sağlayan tüm diğer kuruluşlar, finans kurumları ve müşterilerden oluşmaktadır ve bu yapıda her üye/işletme bir veya daha fazla tedarik zincirinin katılımcısıdır. Bu bağlamda işbirliği veya rekabet bir tedarik zinciri içinde veya tedarik zincirleri arasında olabilmektedir (Yang ve ark., 2017).

Tedarik zincirleri açısından bakıldığında, bir tedarik zinciri tasarımında dikkate alınması gereken kilit faktörlerden biri, diğer rakiplerin varlığıdır. Aynı ürün veya hizmetleri tedarik eden rakip bir tedarik zinciri bulunmaması, mevcut tedarik zincirinin bu pazar alanında bir tekele sahip olduğunu gösterir, bu durum da birçok sektörde gerçekçi olmayan bir varsayımdır (Farahani ve ark., 2014; Farahani ve ark., 2015).

Bir tedarik zinciri açısından bakıldığında bu şirketler merkezi halde işbirliği içinde veya merkezi olmayan rekabet halinde çalışabilmektedirler. Bir tedarik zincirini merkezi bir şekilde tasarlamak büyük miktarda finansman gerektirir, nitekim maliyetleri düşürmek için zincirlerin merkezi olmayan bir şekilde tasarlanması üzerine düşünülebilir (Seyedhosseini ve ark., 2018). Bu anlamda dikey ve yatay ilişkilerin uygulanma aşamasında değişiklikler olması beklenebilir. Bu tip ilişkiler de organizasyon olarak tek bir örgüt olmaktan ziyade bilhassa farklılıklar üzerine kurulan, bilgi paylaşımına dayalı, uzmanlaşma ve işbirliğinin ağırlık kazandığı ve küçülerek büyümek anlamına gelen yapılar ön plana çıkmaktadır. Yöneticiler rekabet edebilmek için gerekli yetenekler dizisini iyi bilmek zorundayken bunların tümünü bir firma içinde birleştirmek zorunda değillerdir. Buna göre işletmelerin içinde buldukları yoğun rekabet ortamının koşullarına göre bazı hedeflerini yeniden revize etmeleri gerekecektir. Değişime gösterilen tepki ve rekabet üstünlüğü kazanma çabaları, işletmeleri kendi öz kabiliyetlerine odaklanmaya yöneltmiştir. Bu eğilimler işletmelerin dikey büyüme yerine stratejik birlikler oluşturarak yatay büyüme gayretlerini kamçulamıştır. İş dünyasında yaşanan şirket ayrışmaları ve gruplaşmalar, aslında bu değişimin yansımalarıdır. Tedarik zinciri ilişkileri de bu yeni düşünce yapısı doğrultusunda revize

edilmelidir. Tedarik zincirindeki tüm taraflar için faydalı olan uygun bir koordinasyon mekanizması geliştirilir ve sözleşmeye dayalı teşvikler kullanılırsa en uygun tedarik zinciri performansı elde edilebilir. Bu teşvikler; toptan satış fiyatı, geri alım, gelir paylaşımı, miktar esnekliği, satış iadesi ve miktar indirimi gibi koordinasyon sözleşmelerinin uygulanmasıyla sağlanır (Yang ve ark., 2017).

Diğer taraftan, tedarikçi ve perakendeci bağımsız kuruluşlar olduğunda, rakip hedefleri ciddi koordinasyon sorunlarına yol açabilir. Örneğin tedarikçi, perakendecinin olabildiğince fazla envanter tutmasını isterken, perakendeci çok az envanter tutmak ve tedarikçiden hızlı yanıt almak istemektedir. Bununla beraber, perakendeci rakiplerine (tedarik zincirindeki diğer perakendeciler veya dağıtıcılar, toptancılar, bayiler, vb.) kıyasla daha düşük bir fiyat belirleyerek kendi talebini artırmak da isteyebilir. Böylesine rekabetçi bir koşul altında tedarik zincirinde bu tür karar alma yapısı merkezi olmayan yapı olarak adlandırılır. Bununla birlikte her bir tedarik zinciri aktörü tarafından alınan bu tür bireysel kararlar, toplam tedarik zinciri kârının yanında diğer tedarik zinciri üyelerinin kârını da etkileyebilir ve bu da genel sistem performansını bozabilir. Bu nedenle, verimli bir sisteme ulaşmak için, tüm tedarik zinciri üyelerine ait hedeflerin uyumlu olduğu bir koordinasyon planı tasarlanmalıdır. TZY literatüründeki son patlama, bu tür çok seviyeli problemleri hedeflemektedir (Caldentey ve Wein, 2003; Seyedhosseini ve ark., 2019). Bu bağlamda bizde ikinci aşamada, ÇSR-KDTZ yönetiminde ağ tasarımı ve optimizasyonu problemi üzerine çalışarak; (i) Tedarik zincirleri merkezi olmayan modda nasıl tasarlanabilir? (ii) Geri dönen ürünler nasıl değerlendirilir? (iii) Hangi tesislerin açık olacağı nasıl belirlenir? (iv) Fiyatlar nasıl belirlenebilir? (v) Rekabet yoğunluğu ve teşviklerin kârlar üzerindeki etkisi nedir? gibi soruları yanıtlamayı amaçladık.

Tezin giriş bölümünün ardından ikinci bölümde KDTZ ağ tasarımı, TZY’de blok zincir teknolojilerinin uygulamaları, rekabetçi tedarik zinciri ağ tasarım problemleri, etkileşimli/çok-seviyeli bulanık programlama, ve son olarak TZY’de BWM’in kullanımına ilişkin bir literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde, tezin temelini oluşturan KDTZ, blok zincir teknolojisi, rekabetçi tedarik zinciri ağ tasarım problemleri, BWM, Bulanık BWM ve literatürde mevcut bazı etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımları ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde tez kapsamında ele alınan iki farklı tedarik zinciri ağ problemi tanımlanmıştır. Öncelikle geliştirilen geleneksel bir KDTZ’ye dört farklı blok zincir entegrasyonu sağlanarak blok zincirin tedarik zincirlerine uygulama olanakları sunulmuştur. Ardından ilk aşamada ele alınan geleneksel KDTZ’deki üyeler farklı karar vericiler şeklinde düşünülerek, *Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri* ağ tasarımı

şeklinde genişletilmiş ve bu doğrultuda önceki matematiksel model geliştirilmiştir. Son olarak Geliştirilen *Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Modelinde* karar vericiler arasında uzlaşık çözüm elde etmek için tez kapsamında geliştirdiğimiz *Ritmik Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımı* ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Beşinci bölümde, öncelikle ilk problem sayısal bir örnek yardımıyla çözülerek *Blok Zincir Tabanlı Tedarik Zincirlerinin* verimliliği ve yeterliliği değerlendirilmiştir. Ardından geliştirilen *Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Modeli* öncelikle sayısal bir örnek üzerinden farklı karar vericiler için GAMS paket programı ile çözülerek doğrulanmıştır. Daha sonra, karar vericiler arasında uzlaşık çözümler elde etmek için ise ilk olarak Bulanık BWM ile birlikte literatürdeki mevcut EBP yaklaşımlarından, sonrasında geliştirilen Ritmik yaklaşımdan yararlanılarak elde edilen çözüm sonuçları üzerinden karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Altıncı bölüm yani tez çalışmasının son kısmı ile de ele alınan problemler, matematiksel modeller ve geliştirilen Ritmik EBP yaklaşımı üzerine çıkarımlar, sonuçlar ve öneriler sunularak tez çalışması sonlandırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde KDTZ ağ tasarımı, Tedarik Zinciri Yönetiminde Blok Zincir Teknolojilerinin Uygulamaları, Rekabetçi Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemleri, Etkileşimli/Çok-seviyeli Bulanık Programlama, ve son olarak TZY’de BMW’in kullanımına ilişkin beş bölümden oluşan kapsamlı bir literatür taramasına yer verilmiştir.

2.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımına İlişkin Literatür Taraması

Tersine lojistik ve KDTZ, 1990’larda çalışmaya başlanılsa da lojistik yapılar üzerine çalışmalar daha eskilere dayanmaktadır. Guiltinan ve Nwokoye (1975), tersine lojistik alanındaki ilk çalışmayı ortaya koyarak, sistemdeki aktörlere göre belirlenen dört farklı tipte tersine toplama/dağıtım yolu tanımlamışlardır. Çalışmada; kullanılmış ürünler için potansiyel market ve alıcıların tanımlanması, müşteriler/son kullanıcılarla iletişim halinde olunması, tamir-bakım politikalarının geliştirilmesi ve taşıma esnekliğinin iyileştirilmesi gibi kavramlar üzerinde durularak sonrasında yapılan çalışmalar üzerine anahtar kelimeler sunulmuştur. Guiltinan ve Nwokoye (1975)’nin çalışmaları ürün bazlı değilken, Pohlen ve Farris (1992) plastik ürünlerinin geri kazanılması için oluşturulması gereken tersine lojistik yapısı üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada en fazla üzerinde durulan konu ileri ve tersine lojistiğin ne şekilde entegre edileceğinin (açık veya kapalı döngü) ve bu entegrasyonun başarılı olabilmesi için hangi tür aktörlerin (toplama, geri dönüşüm merkezleri, Üçüncü Taraf Lojistik sağlayıcı (3PL) vb., hangi tür işlemleri, (sınıflandırma, ayırıştırma, toplama) ne şekilde yapacağını belirlenmesi gerektiği sorusu olmuştur. Fleischmann ve ark. (1997), artan tersine lojistik ile ilgili çalışmalar sonucu araştırmacılara kılavuzluk etmesi açısından mevcut geliştirilen kantitatif modeller üzerine kapsamlı literatür taraması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları stok kontrolü, dağıtım planlaması ve üretim planlaması şeklinde üç temel başlık altında toplayarak her alan üzerine geliştirilen matematiksel modelleri detaylıca irdelemiş, gelecekteki araştırmacılar için birçok ipucu vermişlerdir. Guide ve ark. (1997), çalışmalarında yeniden üretimdeki belirsizlikleri ve karmaşıklığı gidermek için demontajın planlama ve kontrol aşamalarını simüle etmişlerdir. Yeniden üretim aşamasındaki işlem sıralarını optimum şekilde çizelgelemişlerdir. Thierry (1997) doktora tezinde, kullanılmış fotokopi makinelerinin yeniden üretime kazandırıldığı geri dönüşüm ağları için bir model geliştirmiştir. Model hem ürünlerin ileri lojistiğini, yani üretim ve dağıtım, hem de tersine lojistiğini, yani toplama ve yeniden işlem görme gibi süreçleri içermektedir. Fabrika, depo ve müşterilerin ileri lojistik ağını; geri dönüşüm

tesislerinin de tersine lojistik ağını oluşturduğu ağın amacı en uygun maliyetli ürün akışının bulunmasıdır. Geliştirilen problem doğrusal programlama modeli şeklinde formüle edilerek optimum sonuç elde edilmiştir. Jayaraman ve ark. (1999), Kuzey Amerika'da bulunan bir firmanın bir elektronik ürünün yeniden imalatını gerçekleştirmek üzere lojistik ağını incelemişler ve firmanın kullanılmış ürün üretim/dağıtım ağındaki taşıma, stok ve ürün hareketlerinin optimizasyonu için karma tamsayılı bir doğrusal programlama (KTDP) modeli geliştirmişlerdir. Çalışma sonunda yapılan senaryo analizleri ile karar vericilere yönetsel bir bakış açısı katılmaya çalışılmıştır.

Fleischmann ve ark. (2000) tersine lojistik ağ tasarımları ile ilgili geniş bir araştırma yapmışlardır. Bunun için farklı endüstrilerdeki gerçek tersine lojistik uygulamalarını incelemişlerdir. İnceleme sonucunda ürün geri dönüşümleri ve tersine ağ yapıları ile ilgili belirli karakteristikleri belirleyerek bunları geleneksel tedarik zinciri ağ yapıları ile karşılaştırmışlardır. Shih (2001), Tayvan'da elektronik ve bilgisayar ürünlerinin geri dönüşüm faaliyetlerini gerçekleştiren bir işletme için KTDP modeli geliştirmiştir. Geliştirilen model, taşıma, işleme, açma/kapama, geri dönüşüm ve atıktan oluşan toplam maliyeti minimize etmeye çalışırken, geri dönüşüm faaliyeti sonucu edinilen kârı maksimize etmeye çalışmaktadır. Ürünlerin geri dönüş oranları dikkate alınarak birtakım senaryo analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Hu ve ark. (2002), çok-dönemli, çok-ürünlü zararlı atık bulunduran lojistik sistemleri için maliyeti minimize eden bir model geliştirmişlerdir. Yasal düzenleme ve belli kısıtlar altında zararlı ürün atıklarını düşürmek için kesikli-sürekli analitik yapıya sahip bir model kurmuşlardır. Atıkların toplanması, depolanması, işlenmesi ve dağıtılması sistemdeki süreçlerdir. Schultmann ve ark. (2003), Almanya'da kullanılmış pillerin geri dönüşüm sürecine ait KDTZ ağı tasarımı problemini incelemişlerdir. Ağdaki akışın optimize edilmesi için benzetim tekniği ile farklı seçenekler ortaya koymaya çalışmışlardır. Çalışma sonuçları başarılı bir atık pil sistemi için, mevcut ağ yapısını tersine şekilde modifiye edilmesi gerektiğini göstermiştir. Beamon ve Fernandes (2004), üreticilerin hem yeni ve hem de kullanılmış ürün imal ettiği bir KDTZ için çok-dönemli KTDP modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile zincirde hangi depo veya toplama merkezinin açılıp açılmayacağına karar verilir ve depoların sınıflandırma yetenekleri sorgulanır. Savaskan ve ark. (2004) müşterilerden geri toplanan ürünler için en uygun tersine nakliye yapısını bulmak üzere çalışmışlardır. Geri dönen ürünlerin sırasıyla üreticiler, perakendeciler ve 3PL sağlayıcılar tarafından toplandığı, üç farklı merkezi olmayan KDTZ karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma unsuru olarak ürün geri dönüşüm oranları, satış rakamları ve toplam tedarik zinciri kârı dikkate alınmıştır. Blumberg (2004), tersine

lojistik ve KDTZ süreçlerini incelediği bir kitap çalışması ortaya koymuştur, tersine KDTZ yönetimi sekize yakın farklı matematiksel model ve tüm modellerin test edilebilmesi için gerçek uygulamalara yer vermiştir.

Brito ve ark. (2005), tersine lojistik ile ilgili 60'a yakın örnek olayı incelemiş ve içerik açısından analiz etmişlerdir. Ağ yapılarına, ağdaki tesislerin birbirleriyle ilişkilerine, stok yönetimlerine, planlama, kontrol ve bilgi yönetimlerine göre sınıflandırılan örnek olaylara uygulanan teorik modelleri kıyaslamışlar ve ileriki çalışmalar için çalışma alanları önermişlerdir. Amini ve ark. (2005), geri dönüşüm sistemlerindeki en önemli süreçlerden biri olan tamir hizmetlerinin yönetimini kısa hayat süreli ürünler için tasarlamışlardır. Toplam taşıma ve operasyonel maliyetlerin minimize edildiği model için bir medikal firmasında gerçek bir uygulama yapılmıştır. Sheu ve ark. (2005), yeşil TZY bütünsel operasyonel problemleri optimize etmek üzere bir model geliştirmişlerdir. İleri ve tersine lojistik ağlarını entegre halde aynı anda optimize eden bir çok-amaçlı doğrusal programlama modeli formüle etmişlerdir. Modelde yasal zorunluluklar ve ürün dönüş miktarları ele alınmıştır. Sayısal örnekler geliştirilen modelin ağdaki kârda %21'lik bir artış sağlamıştır. Nagurney ve Toyasaki (2005), elektronik atığın geri dönüşümünü içeren tersine TZY için entegre bir model önermişlerdir. Model karar vericilerin farklı ürünler için nasıl bir geri dönüşüm faaliyeti izleyeceklerini çok-aşamalı bir elektronik geri dönüşüm ağı modeli üzerinden test etmişlerdir. Ağ üzerindeki denge fiyatı ve aşamalar arası malzeme akışını saptamak için varyasyonel eşitsizlik denklemi kullanılmıştır. Min ve ark. (2006), bir geri dönüşüm ağındaki toplama merkezlerinin, geri dönüşüm merkezlerinin ve birleştirme merkezlerinin sayılarının ve yerleşimlerinin belirlenmesi için Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama (KTDOP) ve genetik algoritma (GA)'ya dayalı bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin test edilebilmesi için, internet üzerinden satılan ürünlerin geri dönüşümü problemi örnek olarak ele alınmıştır. Alshamrani ve ark. (2007), Amerika'daki bir kan dağıtım sisteminin tersine lojistik ağı üzerine çalışmışlardır. Dağıtılan kan tüplerinin geri toplanması, tüplerin zamanında toplanmaması durumunda (bir sonraki döneme kalması) bir ceza maliyetine katlanıldığı problemin çözümü için sezgisel bir model geliştirmişlerdir. Bu model ile her bir periyottaki en uygun dağıtımlı ve toplamalı araç rotalamalarının saptanması amaçlanmıştır.

Pati ve ark. (2008), Hindistan'daki kâğıt geri dönüşüm sektörünün çok-ürünlü çok-aşamalı ürün akışı ve yerleşim problemi için bir karma tamsayılı hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Model, öncelik ilişkilerine göre geri dönüşüm lojistik maliyetlerini azaltmayı, ürün kalitesini ve geri dönüşümün çevreye olan katkısını arttırmayı

amaçlamaktadır. Srivastava (2008), tersine lojistik ağ tasarımı için bir KTDP modeli geliştirmiş ve hiyerarşik optimizasyon modeli ile çeşitli senaryolar üzerinden sistemin kârını maksimize etmeyi amaçlamışlardır. Demirel ve Gökçen (2008), ileri ve tersine akışın birlikte olduğu tedarik zinciri ağ tasarımı için bir KTDP modeli geliştirmişlerdir. Çok-ürünlü, imalatçı, dağıtım merkezi, toplama merkezi, demontaj tesisleri ve müşterilerin olduğu modelde satın alma, açma kapama, taşıma ve geri dönüşüm maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Yan ve Lee (2008), açık döngü tedarik zinciri ağ tasarım problemini ele alarak toplam maliyeti (işletme, taşıma, geri dönüşüm ve karşılanamayan talebin birim ceza maliyetleri), minimize eden bir KTDP modeli geliştirmişlerdir. Problem, öncelikle LINDO paket programında çözülmüş, ardından GA'ya dayalı sezgisel bir yaklaşım ile denenerek sezgisel yöntemin işlem süresi ve optimal çözüm sonucu açısından avantajları vurgulanmıştır.

Lee ve ark. (2009), çok-ürünlü, üç aşamalı tersine lojistik ağ için taşıma ve açma/kapama maliyetlerini minimize eden matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Ardından problemin çözümü için GA'ya dayalı sezgisel bir yöntem önermiş ve sayısal örneklerle test ederek önceki çalışmalardan elde ettikleri sonuçlar ile kıyaslamışlardır. Fleischmann ve ark. (2009), tersine lojistik ağ tasarımı problem için geliştirdikleri karma tamsayı programlama modeli ile mevcut modelleri karşılaştırmışlar ve tersine lojistik ağ tasarımında ürün geri dönüşlerinin etkisini ölçmeye çalışmışlardır. Bunun için iki gerçek örnek olayla modellerini test etmiş ve tersine ağ tasarlarken ürün geri dönüşlerinin bağımsız bir şekilde ele alınamayacağını göstermişlerdir. Yang ve ark. (2009), tedarikçi, fabrika, perakendeci, geri dönüşüm merkezleri ve müşterilerden oluşan genel bir KDTZ ağ modeli geliştirmiş ve ağ akışının değişimsel eşitsizlikler teorisi kullanılarak optimize edilmesini amaçlamışlardır. Modelde kullanılan parametrelerin net kazanç ve malzeme akışı üzerinde ki etkilerini gözlemlemek için senaryo analizleri yapılmıştır.

Kannan ve ark. (2010), Pil imalat sanayisi tedarik zincirinin toplam maliyetini minimize etmek için KTDP modeli geliştirmişlerdir. Küçük çaplı modeller için hem GA hem de GAMS paket programı ile çözüm elde ederken, büyük çaplı modeller için GA'ya dayalı yöntemin uygulanabileceğini göstermişlerdir. Önerilen model pil imalat sanayisinde test edilerek maliyette %32,4 azalma elde edildiği görülmüştür. Salema ve ark. (2010) eş zamanlı olarak satın alma, üretim, depolama ve dağıtım planlamasını içeren bir KDTZ modeli oluşturmuşlardır ve Portekiz endüstrisinde uygulaması yapılmıştır. Easwaran ve Üster (2010) üretim tesisleri, dağıtım/toplama merkezleri ve perakendecilerden oluşan çok-ürünlü

KDTZ modeli oluşturmuşlardır. Benders'ın ayrışma yöntemi çözüm aşamasında kullanılmış ve farklı örnekler üzerinde performans analizi yapılmıştır.

Paksoy ve ark. (2011), ulaştırma faaliyetleri sonucu oluşan CO₂ yayılımı ve ürünlerin geri dönüşümüne odaklanan, bu işlemlere karşılık katlanılan maliyetleri minimize eden çok-ürünlü bir KDTZ ağ tasarımı modellemiştir ve analiz etmişlerdir. Pishvae ve ark. (2011), KDTZ ağ tasarımı problemi için öncelikle karma tamsayılı bir model, sonrasında belirsiz parametreleri dikkate alan yarı-tanımlı bir model ve son olarak, deterministik model benzeri bir robust model geliştirerek çözümlerini araştırılmıştır. Wang ve ark. (2011), klasik tesis yeri problemine dayanarak yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı için çevresel etki ve toplam maliyeti minimize eden çok-amaçlı model geliştirmiş ve duyarlılık analizleri yapmışlardır.

Zeballos ve ark. (2012), Portekiz'deki bir cam işletmesi için KDTZ ağ tasarımında geri dönen ürün kalitesi ve miktarındaki belirsizliği içeren iki aşamalı-senaryo temelli bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen model kâr maksimizasyonuna dayalı KTDP problemi şeklinde formüle edilmiş ve ilgili işletmede test edilmiştir. Amin ve Zhang (2012), KDTZ ağ tasarımı için iki aşamadan oluşan entegre bir model oluşturmuşlardır. İlk aşamada tersine lojistikte tedarikçi seçimi için Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. İkinci aşamada, çok-amaçlı KTDP modeli oluşturulmuş ve ilk aşamada bulunan ağırlıklarında maksimize edildiği bir model oluşturulmuştur. Önerilen model, tedarikçi seçimi, sipariş dağıtımı ve KDTZ ağ tasarımı aynı anda ele alan ilk modellerdendir.

Huang ve ark. (2013), ikili geri dönüşüm kanalı ile KDTZ stratejilerini analiz etmişlerdir. Merkezi ve merkezi olmayan senaryolar için oyun teorisine dayalı en uygun fiyatlandırma ve geri dönüşüm stratejileri elde ederek bunların sonuçlarını karşılaştırmalı olarak verilmişlerdir. Fahimnia ve ark. (2013), Avustralya'daki bir işletme için KTDP modeli oluşturularak maliyetlerdeki değişim ve çevresel etkilerin karbon fiyatlandırmasında etkili oluğunu ortaya çıkarmışlardır. Karbon ayak izi etkilerini İleri Tedarik Zinciri (İTZ) ve Tersine Tedarik Zincirinde (TTZ) değerlendiren ilk çalışmadır. Wei ve Zhao (2013) tedarikçi, üretici ve 3PL sağlayıcıdan oluşan bulanık bir KDTZ modeli geliştirmiş, Bulanık Küme ve Oyun Teorilerini kullanarak her üç karar modeli için uygun çözümler elde etmişlerdir. Özceylan ve Paksoy (2013b) çok-dönemli, çok-ürünlü KDTZ ağ tasarımı için maliyeti minimize eden çok amaçlı karma tamsayılı bulanık bir model önermişlerdir. Özceylan ve Paksoy (2013a) çok-dönemli, çok-ürünlü KDTZ ağ tasarımı problemini ele alarak yine maliyetleri minimize eden KTDP modeli ile farklı parametreler üzerinden senaryo analizleri yapmış ve karar vericilere önerilerde bulunmuşlardır.

Soleimani ve ark. (2014) risk ölçümlerini dikkate alan iki aşamalı bir stokastik KDTZ tasarımı ve planlaması üzerine çalışmışlardır. Wilhite ve ark. (2014), Amerikan askeri tedarik zincirinin nasıl tasarlanacağını göstermişlerdir. Jindal ve Sangwan (2014), bulanık ortamda çok-ürünlü, çok tesisli KDTZ ağ tasarımını toplam kârı maksimize etmek üzere bulanık KTDP kullanarak modellemişlerdir. Özceylan ve Paksoy (2014), maliyet katsayıları ve kapasite seviyelerinin bulanık olduğu çok-amaçlı bulanık KTDOP KDTZ modeli önermiş ve modeli yardımcı kesin çok-amaçlı modele dönüştürmek için, ağırlıklı ortalama ve hibrit yöntemlerini kullanmışlardır. KDTZ’de EBP yaklaşımlarını uygulayan ilk çalışmadır ve geliştirilen model, üç farklı EBP yöntemi ile çözülmüştür. Tseng ve ark. (2014), yeşil TZY’de Analitik Ağ Süreci (ANP) kullanarak açık hiyerarşik yapılar ve kapalı döngü arasındaki farklılıkları tedarikçiler-üreticiler-müşteriler açısından araştırmışlardır. Safaei (2014), farklı ürün ve tesisler arasında kapasite dağıtımını için bir dinamik karma tamsayılı model oluşturmuşlardır. Demirel ve ark. (2014), ikincil piyasa ve kademeli teşvik politikaları içeren KDTZ ağında en uygun stratejiyi bulmak üzere karma tamsayılı model önermişlerdir. Sonrasında önerilen model, bulanık seviyeler amaç fonksiyonlarında dikkate alınarak genişletilmiştir. Büyük çaplı modelleri çözmek için GA ve GAMS-CPLEX’den yararlanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kim ve ark. (2014), tedarikçiden alıcıya teslim edilen ürünler için depozitolu taşıma maddelerinin kullanıldığı bir KDTZ modeli geliştirmişlerdir. Depozitolu taşıma maddelerinin dönüş zamanları stokastik olarak ele alınarak nihai ürünlerin teslimat sırasındaki gecikmede bozulabileceği varsayılmıştır. Sayısal deneyler ile modelin analizi yapılmıştır. Ramezani ve ark. (2014a) dışsal değişken olarak finansal yönleri (örneğin cari ve sabit varlıklar ve yükümlülükler/taahhütler) de dikkate alan KDTZ ağ tasarımı için model sunmuşlardır. Ele alınan çalışmanın amacı klasik kâr ölçüsünün maksimizasyonu yerine öz kaynaklardaki değişimin maksimize edilmesidir. Bu nedenle uygulama aşamasında klasik yaklaşım ile finansal yaklaşım karşılaştırılmış ve çeşitli parametreler için duyarlılık analizi uygulanmıştır. Ramezani ve ark. (2014b) çok-ürünlü ve çok-dönemli bir KDTZ ağ tasarımını bulanık kümeler kullanarak ele almışlardır. Kâr maksimizasyonu, teslim zamanının minimizasyonu ve kalite maksimizasyonu ele alınan amaçlardır. Bulanık matematiksel programlamanın iki farklı konusu, belirsizlik için bulanık/esnek kısıtlar ve bilgi eksikliği için bulanık katsayılar, ele alınan modelde incelenmiştir. Devika ve ark. (2014) tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri, satıcılar, müşteriler, toplama ve geri dönüşüm merkezleri içeren çok-amaçlı, çok-aşamalı lojistik ağ tasarımı oluşturmuşlardır. Çevresel etkiler ve toplam maliyetlerin yanı sıra sürdürülebilirliğin sosyal boyutu ayrı bir amaç olarak ölçülmüş ve toplanmıştır. Oluşturulan problem NP-zor

bir problem olduğu için üç yeni metasezgisel yaklaşımla çözüm araştırılmıştır. Özceylan ve ark. (2014) KDTZ ağ tasarımı ve demontaj hat dengeleme probleminin entegre edilmesinden oluşan KTDOP modeli formüle etmişlerdir. Çeşitli performans ölçüleri arasındaki ödünleşmeyi ele almak için çeşitli örnekler üzerinde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Brandenburg ve ark. (2014) İleri Tedarik Zinciri (İTZ)'nde sürdürülebilirlik yönlerini ele alan 134 çalışmanın içerik analizini yapmışlardır. Çalışma ile sürdürülebilir TZY modellerinde hangi faktörlerin ele alındığı, modellerin sınırlılıkları ve gelecekteki çalışmalar için hangi fırsatların olabileceği sorularına yanıt aranmıştır.

Govindan ve ark. (2015) son yıllarda tersine lojistik ve KDTZ alanlarında yayınlanan makaleleri gözden geçiren bir literatür araştırması yapmışlardır. 2007-2013 yılları arasında yayınlanan 382 çalışma seçilmiş değerlendirilmiş ileri çalışmalar için öneriler yapılmıştır. Subulan ve ark. (2015a) bir kurşun/asit akü endüstrisi için toplama ve finansal amaçlardaki risk ölçülerini eş zamanlı dikkate alan yeni bir KDTZ ağ tasarım modeli geliştirmişlerdir. Rasgelelik ve bulanıklığın eş zamanlı ele alındığı model, gerçek hayat uygulamalarını da daha iyi yansıtabilmektedir. Maiti ve Giri (2015) üretici, satıcı ve üçüncü parti firmadan oluşan bir KDTZ modeli oluşturmuşlardır. Merkezi, merkezi olmayan, Nash oyunu ve üç farklı Stackelberg oyunundan oluşan senaryo ele alınmış ve bunların karşılaştırmaları sayısal örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Subulan ve ark. (2015b) bir kurşun/asit akü endüstrisi için çok-amaçlı, çok-ürünlü ve çok-aşamalı, stratejik planlama modeli oluşturmuşlardır. Modelin çözümü için grup karar verme altında "ağırlıklı geometrik ortalama" 'ya dayanan yeni bir bulanık hedef programlama yöntemi önerilmiştir. Soleimani ve Kannan (2015) çok-ürünlü, çok-aşamalı ve çok-dönemli KDTZ için bir model geliştirmiş, çeşitli boyutlardaki örnekleri çözmeye uygun bir yöntem araştırmışlardır. GA ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ve önerilen hibrit PSO-GA algoritmalarının çeşitli boyutlardaki örnekler üzerinde performans analizleri ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Garg ve ark. (2015) İTZ ağında dört, TIZ ağında beş aşamadan oluşan KDTZ modelini oluşturmuşlardır. KDTZ ağında çevresel konuları ele alabilmek için iki-amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli formüle edilmiş ve modeli çözmek için etkileşimli çok-amaçlı programlama yaklaşımından yararlanılmıştır. Khatami ve ark. (2015) var olan çok-ürünlü İTZ ağına, ileri ve tersine ağdaki akışları uyarlayarak yeni bir KDTZ ağı tasarlamışlardır. Senaryoya dayalı stokastik KTDP modeli ileri ve KDTZ ağ tasarımı problemi için sunulmuş, Benders'ın ayrışma yöntemi kullanılarak cep telefonu üreten bir işletme üzerinde örnek uygulama yapılmıştır. Fallah ve ark. (2015) bulanık ortam altında rekabet eden iki KDTZ'yi ele alınmıştır. Üreticiler, satıcılar ve geri dönüşüm merkezlerini içeren tedarik zincirinde,

talepler ve geri dönüşler fiyata bağlı olduğu için eş zamanlı ve Stackelberg rekabeti yaklaşımlarının etkisi araştırılmıştır. Rezapour ve ark. (2015a) iki farklı tedarik zincirinin rekabet ile karşı karşıya kalması durumunda kapalı döngü sistemlerin davranışlarını hesaplayan bir ağ tasarlamışlardır. Stratejik tersine ağ tasarımı (üst seviye) ve taktiksel/operasyonel planlama (alt seviye) için rekabetçi çevre altında iki-seviyeli bir model önermiş ve Ortadoğu'da otomobil yedek parçaları üreten bir şirket üzerinde test etmişlerdir. Elia ve Gnoni (2015) kapalı döngü palet yönetim sistemlerinde kritik faktörleri özetlemek ve lojistik yöneticilerine destek olmak için simülasyon tabanlı bir araç geliştirmişlerdir. Önerilen modelin geçerliliği ve çeşitli senaryo analizleri lojistik servis sağlayıcısı bir firma üzerinde gerçekleştirilerek kapalı döngü palet yönetim sistemlerinin önemi araştırılmıştır. Jena ve Sarmah (2015) kullanılmış ürünlerin geri dönüşü yönünde tüketicilerin niyetini anlamak için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Tüketicilerin ürün geri dönüşlerinde istekliliği için önemli faktörleri ortaya çıkarmışlardır. Bottani ve ark. (2015) bir palet sağlayıcısı, bir üretici ve yedi satıcıdan oluşan gerçek KDTZ ağ tasarımı varlık yönetim süreci optimizasyonu için incelenmiştir. Ekonomik sipariş modeline dayalı detaylı bir simülasyon modeli geri dönüştürülebilecek ürünler için oluşturulmuştur. Çok-amaçlı optimizasyon modeli ModeFRONTIER™ kullanılarak çözülmüş ve çeşitli senaryolar üzerinde araştırma yapılmıştır. Tao ve ark. (2015) üreticiler, satıcılar, talep pazarları ve geri dönüşüm merkezlerinden oluşan, çevresel amaçları sağlamak ve atık üretimini azaltmayı içeren çok-dönemli bir KDTZ modeli geliştirmişlerdir. İki zorunlu karbon emisyonu kısıtları dikkate alınmış ve değiştirilmiş bir projeksiyon ile modelin çözümü araştırılmıştır. Hosseini ve ark. (2015) inşaat sektörüne tersine lojistik konusundaki bilgileri entegre edebilmek için bir literatür araştırması gerçekleştirmişlerdir. Nitel bir meta-analiz yoluyla gerçek hayat bağlamında inşaat sektöründeki paydaşları teşvik edebilmek için önceki ve günümüzdeki çalışmalarda elde edilen bilgileri sunmuşlardır. Moghaddam (2015) sipariş dağıtımı ve tedarikçi seçimi için çok-amaçlı matematiksel bir model önermiştir. Amaç fonksiyonları aday tedarikçilerin toplam kâr, toplam kusurlu parça sayısı, toplam geç teslim edilen parça sayısı ve ekonomik risk faktörlerini göz önünde bulundurarak formüle edilmiştir. Matematiksel modeli çözmek ve baskın olmayan optimum çözümleri bulmak amacıyla üç farklı hedef programlama tekniği Monte Carlo simülasyonu ile entegre edilmiştir. Qiang (2015) tüketicilerin çeşitli pazar taleplerine hizmet verebilmek için iki-dönemli KDTZ ağı oluşturmuştur. İlk dönemde üreticiler üretim miktarına ve yeniden üretilebilir seviyesine karar vermekte ikinci dönemde ise tüketicilerin değerlemelerine göre ürün üretmeye ve/veya

yeniden üretmeye karar vermektedirler. Çeşitli örnek uygulamalar üzerinde tüketicilerin değerlemelerinin modeldeki etkisi araştırılmıştır.

Dai (2016) bulanık ortam altında çok-ürünlü, çok-aşamalı, çok-amaçlı KDTZ modeli önermiştir. Önerilen bulanık modelin geçerliliği ve uygulanabilirliğini test etmek için çeşitli örnekler üzerinde bulanık çok-amaçlı optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Govindan ve ark. (2016a) yeniden üretim sürdürülebilirliğini sürdürmede ürün kazanımının nasıl uygun hale getirilebileceğini göstermek için KDTZ ağı için çok-amaçlı KTDP modeli önermişlerdir. Hibrit yenileme tesisleri, toplama merkezleri, dağıtım merkezleri, depolama ve hibrit üretim tesislerinden oluşan KDTZ ağı, elektrik üretim endüstrisinde bir örnek olay incelemesi ile örneklendirilmiştir. Radhi ve Zhang (2016) yeniden üretim sistemlerinde geri dönen ürünlerin kalitesi için kabul kararı ve kalite sınıflandırması önermişlerdir. Al-Salem ve ark. (2016) hem depo dağıtımını hem de stok politikası yönetimini KDTZ ağı altında ele alan yeni bir entegre model önermişlerdir. Tek bir ürünün üretildiği ancak depoların ileri, tersine ve ortak olarak hizmet verebilmesine göre belirlendiği KTDOP modeli önermişlerdir. Amaç fonksiyonunda doğrusal olmayan formülasyondan kaçınmak için parçalı doğrusallaştırma yöntemi uygulanmış ve çeşitli örnekler üzerinde duyarlılık analizi yapılmıştır. Zhang ve Unnikrishnan (2016) fabrika, birden fazla dağıtım merkezi ve birden fazla satıcıdan oluşan KDTZ'de koordineli konum-stok modelini ele almışlardır. Önerilen model ile ileri ve tersine ağıdaki dağıtım merkezlerinin konumu ve kapasiteleri belirlenebilmektedir. Altı farklı koordineli strateji belirlenmiş ve bunların faydaları deneyler üzerinde gösterilmiştir. Kaya ve Urek (2016) konum, stok ve fiyat kararlarını aynı anda ele alan bir KDTZ modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen KTDOP modelinde, tesis sayısı 20 ve üzerine çıktığı zaman çözüm elde etmek mümkün olmadığı için metasezgisel yaklaşımlardan tavlama benzetimi, GA ve tabu arama ile çözüm araştırılmıştır. Yi ve ark. (2016) ömrünü tamamlamış inşaat makinelerinin toplanması ve yeniden üretilmesi süreçlerini ele alan satıcı eğilimli KDTZ modeli oluşturmuşlardır. Önerilen model sadece toplanan ürünlerin demontaj edilmesini değil yeniden üretilen parçaların montaj edilmesini içermektedir. Geliştirilen modelin Çin'de inşaat makineleri üretimi yapan bir işletme üzerinde sınanmıştır. Talaei ve ark. (2016) CO₂ salınım oranının azaltılması gibi çevresel amaçları ele alan KTDP modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelin sağlam bulanık programlama yaklaşımı ile çözümü araştırılmıştır. Torabi ve ark. (2016) hem kısmi hem de tüm tesis içinde yaşanabilecek aksamaları aynı zamanda kritik girdi değişkenlerindeki belirsizliği dikkate alan KDTZ modeli önermişlerdir. Önerilen Karma Tamsayı Olasılıklı Doğrusal Programlama modelinde, yeni tesislerin açılış maliyetini ve aksamalardan kaynaklı maliyetleri eş zamanlı

olarak minimize edilmektedir. Shu ve ark. (2016) müşterileri tercihlerini de göz önünde bulundurarak üreticiler, dağıtıcılar ve müşterilerden oluşan optimal üretim fiyatını ele alan bir model oluşturmuşlardır. Yapılan çalışma sonucunda üreticiler yeni ürünün üretim maliyeti daha düşükse yeniden üretim maliyetine katlanmak yerine yeni ürün üretmeye karar vermektedirler. Govindan ve ark. (2016b) Hint otomobil parçalarının yeniden üretimindeki engelleri ele alan bir model çerçevesi önermişlerdir. Yapısal Yorumlayıcı Modelleme (Interpretive Structural Modeling) ve ANP yöntemleri bulanık ortam altında ele alınmıştır. Çalışma sonucunda yeniden üretim sürecindeki engellerin yok edilmesi ve tanımlanması ile KDTZ ağındaki birimlere yardımcı olunmuştur. Zhang ve Ren (2016) orijinal üretici, üçüncü parti yeniden imalatçı ve satıcıdan oluşan, yeni üretilen ve yeniden üretimi yapılan ürünler arasındaki rekabeti ve fiyat farkını dikkate alan bir KDTZ modeli oluşturmuşlardır. Yedek oranı, hurda değeri, piyasa etkileri gibi çeşitli parametrelerin tedarik zinciri kararları ve performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Wu ve Wu (2016) yeni ürünlerin satıldığı orijinal ekipman üreticisi ve yeniden üretilmiş ürünlerin satıldığı bağımsız yeniden üreticilerden oluşan bir KDTZ modeli geliştirmişlerdir. Farklı stratejik planlar ve denge kararlarının oluşturulması ile yeniden üretim stratejileri ve firmaların kararları arasındaki ilişki incelenmiştir. Aydın ve ark. (2016) yeni ve yeniden üretilmiş ürünleri içeren ürün hatlarının tasarımı için bir oyun teorisi modeli kullanarak bir üretici ve tedarik zinciri ortakları arasındaki uyumu incelemişlerdir. Çalışmada tedarik zinciri ortaklarının fiyatlandırma kararlarını ve yeniden üretim için ürün iade oranını belirlemek için Stackelberg oyun teorisine dayanan çok amaçlı bir optimizasyon modeli formüle edilmiştir. Tahirov ve ark. (2016) dönen ürünlerin kazanımı içeren bir KDTZ modeli geliştirerek saf üretim, yeniden üretim ve karma üretim stratejilerinden hangisinin daha uygulanabilir olduğunu araştırmışlardır.

Tsao ve ark. (2017) RFID teknolojisi altında ürünlerin yeniden üretimi için KDTZ ağını modellemek üzere yeni bir yaklaşım uygulayarak çözüm için doğrusal olmayan programlama teknikleri geliştirmişlerdir. Sayısal analizin sonuçları, KDTZ'de RFID benimsenmesinin işletmeler için oldukça faydalı olabileceğini göstermiştir. Govindan ve Soleimani (2017) bu alanda başta gelen dergilerden biri olan Journal of Cleaner Production dergisine kabul edilen makalelerden yola çıkarak tersine ve kapalı döngü TZY konusunda 83 makaleyi içeren kapsamlı bir literatür araştırması sunmuşlardır. Özceylan ve ark. (2017) Türkiye'deki kullanım ömrü bitmiş araçların işleyişini göz önünde bulunduran bir vaka çalışması için KDTZ ağı sunmuşlardır. Tersine malzeme akışlarını ileri tedarik zincirlerine yeniden entegre etmek için bir doğrusal programlama modeli geliştirmiş, modelin

performansı ve otomotiv endüstrisindeki uygulanabilirliğini göstermek için de çeşitli KDTZ senaryoları tartışılmıştır. Jahangoshai Rezaee ve ark. (2017) miktar indirim politikasını dikkate alarak etkin tedarikçi seçimi, sipariş tahsisi ve KDTZ optimizasyonu üzerine entegre eşzamanlı veri zarflama analizi – Nash pazarlık oyununa dayanan çok amaçlı programlama modeli sunmuşlardır. Sarkar ve ark. (2017) nakliye ve toplama hizmetleri sağlayan bir 3PL'ye sahip çok aşamalı bir KDTZ modeli önermişlerdir. Önerilen KTDOP modeli, ürün nakliyesi için iade edilebilir taşıma kalemlerini kullanan melez bir üretim-yeniden üretim sisteminde üretim ve taşıma kaynaklı çevresel etkileri araştırmaktadır. Wang ve ark. (2017) iki rakip üreticinin bulunduğu KDTZ için oyun teorisi modelleri geliştirerek ödül-ceza mekanizmasını incelemişlerdir. Safaei ve ark. (2017) Kağıt ve karton geri dönüşüm ağını optimize etmek için KTDP modeli önermiş ve ağdaki talep belirsizliğinin üstesinden gelmek için sağlam optimizasyon yaklaşımını kullanmışlardır. Tsao ve ark. (2017) RFID teknolojisi altında ürünlerin yeniden üretimi için KDTZ ağını modellemek üzere yeni bir yaklaşım uygulayarak çözüm için doğrusal olmayan programlama teknikleri geliştirmişlerdir. Sayısal analizin sonuçları, KDTZ'lerde RFID benimsenmesinin işletmeler için oldukça faydalı olabileceğini göstermiştir. Kim ve ark. (2017) KDTZ yönetimi için, RFID ve IoT kullanarak tedarik zinciri ile ürün yaşam döngüsü içinde gerçek zamanlı bilgi toplayan, bu sayede KDTZ'nin karlı ve çevre dostu çalışmasını kolaylaştıran bir sistem çerçevesi önermişlerdir. Long ve ark. (2017) farklı üretim stratejilerine sahip bir üretici ve yeniden imalatçıdan oluşan iki dönemli KDTZ'deki etkileşimleri araştırmışlardır. Merkezi ve merkezi olmayan modellerde tedarik zinciri üyelerinin maliyetleri, karları ve denge miktarları karşılaştırılarak, yeniden imalatçının yeniden üretilmiş ürünleri satmayı ve üretici ile rekabet etmeyi seçtiği koşullara odaklanılmıştır. Modellerin duyarlılık analizi, merkezileştirilmiş modelin genel tedarik zinciri açısından daha yüksek verimlilik elde etmede etkili olduğunu göstermiştir. Bazan ve ark. (2017) bir imalatçı ve kullanılmış ürünleri yeniden üretme imkânına sahip bir perakendeciden oluşan iki seviyeli bir KDTZ için farklı iki model sunmuşlardır. İlgili çalışmada, üretim süreçlerinde kullanılan enerji, üretim ve taşıma faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları ve kullanılan bir ürünün yeniden kazanım sayısı şeklinde üç kritik çevresel konu ele alınmıştır. Panda ve ark. (2017) kurumsal sosyal sorumluluğun etkilerini analiz etmiş ve sosyal sorumluluk sahibi üretici-perakendeci KDTZ de kanal koordinasyonunu iki alanı (ürün geri dönüşümü yoluyla kâr maksimizasyonu ve sosyal sorumluluk) dikkate alarak incelemişlerdir. Heydari ve ark. (2017) müşterilere ürünleri geri getirme karşılığında indirim veya doğrudan bir ücret sunarak kullanılmış ürünleri iade etme isteğini artıran ve sürdürülebilir tüketimi iyileştirmeye çalışan iki aşamalı bir TTZ'yi ele

almışlardır. Daha sonra model, KDTZ'yi dikkate alacak şekilde genişletilmiştir. Soleimani ve ark. (2017) tedarikçiler, üreticiler, dağıtım merkezleri, müşteriler, depo merkezleri, iade merkezleri ve geri dönüşüm merkezlerinden oluşan KDTZ'nin tasarım problemini ele almışlardır. Ağdaki her bir bileşenin açma-kapama ve aralarındaki optimum ürün akışını belirleyen modeli çözmek için genetik algoritma kullanılmış ve farklı yönere sahip çoklu senaryolar incelenmiştir. Giri ve ark. (2017) imalatçının ürünü geleneksel perakende kanalı aracılığıyla müşterilere sattığı ileri çift kanal ve e-internet, geleneksel 3PL kanalları aracılığıyla yeniden üretim için kullanılan ürünlerin toplandığı tersine çift kanaldan oluşan iki çift kanallı KDTZ ağını ele almışlardır. Beş farklı senaryo (merkezi, merkezi olmayan (Nash oyunu), üretici, perakendeci ve üçüncü taraf liderliklerindeki merkezi olmayan) altında tedarik zinciri için fiyatlandırma ve iade ürün toplama kararları analitik olarak elde edilmiştir. Xie ve ark. (2017) merkezi ve merkezi olmayan çift kanallı KDTZ'lerin koordinasyonunu inceleyerek ileri ve tersine kanallardaki gelir paylaşım oranının çevrimiçi / çevrimdışı fiyatlar ve toptan satış fiyatları üzerindeki etkisini tartışmışlardır. Gaur ve ark. (2017) KDTZ problemini incelemek için entegre bir optimizasyon modeli geliştirmiş ve bir pil üreticisine ilişkin vaka çalışmasına uygulamışlardır. Vaka çalışmasına dayanarak, İTZ konfigürasyonunun KDTZ konfigürasyonu ile karlılığını karşılaştırmak için bir dizi "eğer-öyleyse" analiz dizisini takip eden kapsamlı hesaplama deneyleri yürütülmüş ve yönetsel sonuçları tartışılmıştır. Zhou ve ark. (2017) ürün iadeleri ve yeniden üretim belirsizliklerinin, bir üretici, perakendeci ve tedarikçiden oluşan üç aşamalı bir üretim ve yeniden üretim kapalı çevrim tedarik zincirinin dinamik performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Mohammed ve ark. (2017) iki farklı belirsizlik altında karbon ayak izini dikkate alarak çok-dönemli, çok-ürünlü KDTZ tasarımı ve planlaması için bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Talep ve geri dönüş belirsizlikleri çoklu senaryolarla, tedarik zinciri ile ilgili faaliyetlerden kaynaklanan karbon emisyonlarının belirsizliği ise sınırlı kutu seti (bounded box set) ve sağlam optimizasyon yaklaşımıyla çözümlenerek değerlendirilmiştir. Liu ve ark. (2017) orijinal ekipman üreticisinin yeni ve yeniden üretilmiş ürünleri bir perakendeci aracılığıyla sattığı, kullanılmış ürünleri çift geri dönüşüm kanalları yoluyla topladığı KDTZ'de fiyatlandırma ve tersine kanal seçimi karar problemlerini araştırmışlardır. Amin ve ark. (2017) lastik geri kazanım seçeneklerine göre bir lastik yeniden üretim KDTZ ağı tasarlamış ve optimize etmişlerdir. Ayrıca, talep ve iadeler gibi farklı belirsiz kaynaklar altında, problemin net bugünkü değerini birden çok dönemde hesaplamak için yeni bir karar ağacı temelli metodoloji sunmuşlardır. Chen ve ark. (2017) güneş enerjisi endüstrisinde ekonomik ve çevresel kaygıları olan bütünleşik bir KDTZ ağ tasarım problemini

sürdürülebilirlik perspektiflerinden incelemişlerdir. Çok aşamalı KDTZ tasarım problemini çözmek için toplam maliyet ile toplam CO₂ emisyonu arasındaki dengeyi yakalayan deterministik çok amaçlı KTDP modeli önerilmiş ve optimal çözümü araştırmak için kalabalık mesafeye dayalı belirsiz sınıflandırma yaklaşımına sahip çok amaçlı bir PSO algoritması geliştirilmiştir.

Haddadsisakht ve Ryan (2018) yeni ve iade edilen ürünler için belirsiz talebe tabi olan KDTZ ağ tasarımını optimize etmişlerdir. Önerilen model, tesis yatırımı, dağıtım-toplama ve farklı tip taşıma birimi sayısına karar veren üç aşamalı melez sağlam / stokastik bir programlamadır. Sahebjamnia ve ark. (2018) sürdürülebilir lastik KDTZ ağının tasarımı için çok amaçlı KTDP modeli geliştirmişlerdir. Önerilen model, toplam maliyetin ve çevresel etkilerin yanı sıra iş fırsatları ve işin zararlarını içeren sosyal etkileri de optimize etmeyi amaçlamaktadır. Büyük ölçekli ağları çözerken mevcut meta-sezgisel algoritmaların dezavantajlarını hafifletmek için, yeni ve eskilerin avantajlarına dayanan dört yeni melez meta-sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Xu ve Wang (2018) perakende fiyat ve emisyon azaltımına bağlı talebe sahip KDTZ'nin karar stratejisi ve kar dağılımını araştırmak üzere tek bir üretici ve perakendeciden oluşan merkezi ve merkezi olmayan modeller önermişlerdir. Nash pazarlık teorisine dayanarak, memnuniyet derecesi nesnel bir işlev olarak kullanılmış ve koordinasyon mekanizmasının fizibilitesi incelenmiştir. Taleizadeh ve ark. (2018) iki farklı KDTZ'de faaliyet gösteren üretici, perakendeci ve 3PL'lerin fiyatlandırma stratejileri, kalite seviyeleri ve girişim kararlarını incelemek üzere Stackelberg oyun modeli geliştirmişlerdir. Modak ve ark. (2018) ürün fiyatı ve kalite seviyesine duyarlı talebin olduğu iki aşamalı bir KDTZ'de geri dönüşüm ve ürün kalite seviyesinin fiyatlandırma kararı üzerindeki etkilerini analiz etmek için Stackelberg oyun kuramı altında perakendeci, üretici ve 3PL liderliğindeki üç olası toplama faaliyetini ele almışlardır. Jabbarzadeh ve ark. (2018) aksamalar karşısında esnek performans gösteren KDTZ ağının tasarımı için stokastik ve sağlam bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Sağlam modeli verimli çözmek için bir Lagrange gevşeme algoritması geliştirilmiş ve önerilen model cam endüstrisinin bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Tosarkani ve Amin (2018) kesin olmayan bilgiler altında çok bileşenli, çok-ürünlü, çok-dönemli ve çok-aşamalı bir KDTZ için olası üst, orta ve düşük kar aralıklarını belirlemek üzere tamamen bulanık bir çok amaçlı programlama yöntemi geliştirmiş ve çözüm için mesafe tekniği ve ϵ -kısıtlama yöntemini kullanılmışlardır. Fathollahi-Fard ve ark. (2018) çok amaçlı KDTZ ağı tasarlamak için ekonomik ve sosyal yönleri aynı anda ele alan iki aşamalı stokastik bir programlama modeli önermiş ve çözüm için bir dizi meta sezgisel algoritma hibridizasyonu kullanmışlardır.

Farrokh ve ark. (2018) belirsizlik altında KDTZ ağ tasarımı problemini ele alarak çözüm için önemli avantajlara sahip yeni, sağlam bir stokastik programlama yaklaşımı önermişlerdir. Samadi ve ark. (2018) üç yeni sezgisel yöntem önererek sürdürülebilir bir KDTZ ağ problemini ele almışlardır. Giri ve Masanta (2018) bir üretici, bir perakendeci ve iki farklı tedarikçiden oluşan KDTZ modeli geliştirmişlerdir. Modelde geri dönüşlerin rastgele ve teslim sürelerinin stokastik olduğu varsayılmıştır. Bitmiş ürünün pazar talebi doğrusal olarak perakende satış fiyatı ve kalitesine bağlı, üretim süreci öğrenmeye tabidir. Shankar ve ark. (2018) KDTZ ağı için, farklı stratejilerle oluşan maksimum marjinal geliri hesaplamak üzere kullanılan çok aşamalı stok, çok dönemli planlama ve çok ürünlü senaryo ile karma tamsayı matematiksel bir model geliştirmiş ve bir işbirlikli oyunun sıralı formunu işlemek için ilk aşamada önerilen modelin çıktısını kullanmışlardır. Önerilen iki aşamalı karar modeli, farklı stratejileri değiştirmenin bir göstergesi olarak farklı ürünlerin üretim sürelerini ve teslimat sınırlarını analiz eder. Li ve ark. (2018) 3PL'li kapalı döngü bir sistemde yer-envanter kararlarını birlikte inceleyerek KTDP modelleri geliştirmiş ve çözüm için diferansiyel gelişim ve genetik algoritmaya dayanan yeni bir sezgisel tarama tasarlamışlardır. Alandard ve ark. (2018) bir üretici, perakendeci ve toplayıcı içeren bulanık KDTZ ağını inceleyerek bulanık fiyat ve satış çabalarına bağlı talebe dayanan karar problemini analiz etmişlerdir. Altı oyun teorisi modeli oluşturulmuş, oyun ve bulanık teoriler uygulanarak optimal çözümler elde edilmiş ve çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak, merkezi olmayan bir KDTZ'nin performansını merkezi bir KDTZ'nin performansı ile eşleştirmek için pratik, yeni bir kanal koordinasyon çerçevesi araştırılmıştır. Ebrahimi (2018) belirsizlik altında sürdürülebilirlik unsurlarını ve miktar indirimlerini dikkate alan bir KDTZ ağı tasarlamış ve tedarikçi seçimi ve yer seçimi-rotalama problemleri için stokastik çok amaçlı bir optimizasyon modeli formüle etmiştir. Önerilen çerçeveyi çözmek için ϵ -kısıtlama yöntemi uygulanmış ve bir vaka çalışması sunularak verimliliğini ölçmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Gu ve ark. (2018) bir pil üreticisi ve yeniden imalatçıdan oluşan üç dönemli elektrikli araç aküsü geri dönüşüm ve yeniden kullanım KDTZ'sini incelemişlerdir. Farklı dönemlerdeki toplam kârı optimize etmek için, üretici ve yeniden imalatçı arasında en uygun fiyatlandırma stratejisi geliştirilmiş, iade verimi, sıralama oranı, geri dönüşüm oranı arasındaki ilişkiler tartışılmıştır. Sonuç, yeni pil üretimi ile karşılaştırıldığında, pil geri dönüşümü ve yeniden kullanımının hammadde tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunacağını ve dolayısıyla çevresel etkiyi azaltabileceğini, ancak finansal fayda sağlayamayabileceğini göstermektedir. Dehghan ve ark. (2018) KDTZ ağ tasarımı alanındaki belirsizliği ele almak üzere bir yemeklik yağ tedarik zincirinde çok-ürünlü ve

çok-dönemli bir model geliştirmişlerdir. Önerilen model iki tür belirsiz parametre içerdiğinden ve senaryo-bulanık temelli parametreler olduğundan, Me ölçüsüne dayanan belirsiz parametrelerle başa çıkmak için yeni bir Sağlam Stokastik-Olasılıksal Programlama önerilmiştir. Ma ve Li (2018) belirsiz talep ve iadelere sahip tehlikeli ürün KDTZ ağ tasarımı problemine odaklanmış ve risk kısıtlaması ve ödül-ceza mekanizmasının eş zamanlı dikkate alındığı iki aşamalı stokastik bir programlama modeli (senaryoya dayalı) önermişlerdir. Önerilen modeli çözmek için paralel numaralandırma yöntemi ve genetik algoritma yaklaşımları tasarlanmıştır. Jerbia ve ark. (2018) çoklu kurtarma seçenekleri olan KDTZ ağ tasarımı problemini incelemiş ve deterministik problemi KTDP olarak formüle etmişlerdir. Müşteri geri kazanım oranları, gelirler, maliyetler ve her bir kurtarma seçeneğine atanan geri dönüş oranlarının ağ yapısı ve şirket karı üzerindeki etkisini incelemek üzere duyarlılık analizi yapılmış ve işletmelerin karşılaştığı yüksek belirsizlikleri açıklamak için modelin stokastik bir versiyonu geliştirilmiştir. Nallusamy ve ark. (2018) KDTZ ağını yapılandırmak için üç ana geri kazanım türünü göz önünde bulundurarak standart sabit sipariş miktarı politikasını uygulayan KTDP modeli geliştirmişlerdir.

Hajipour ve ark. (2019) KTDP ile kâr maksimizasyonu için stokastik tek dönemli çok-ürünlü izlenebilir KDTZ modeli önermişlerdir. Önerilen modelin önemli özelliklerinden biri, müşteri tarafından karşılaşılan maliyetleri ve satın alma davranışlarını dikkate almasıdır. Yadegari ve ark. (2019) stok maliyetini göz önünde bulundurarak KDTZ ağ tasarımı problemi için çok-dönemli KTDP modelinin çözümünü yeni hibrit memetik algoritma ile araştırmışlardır. Ghahremani-Nahr ve ark. (2019) hammadde alımındaki belirsizlik ve eksiklik altında çok-aşamalı, çok-ürünlü, çok-dönemli KDTZ ağı için tesis yeri / sipariş tahsis modeli önermişlerdir. Taleizadeh ve ark. (2019) çok-dönemli, çok-aşamalı KDTZ modelinde ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri floresan ampul üreten bir işletme üzerinde ele almışlardır. Zhen ve ark. (2019) CO₂ emisyonunu en aza indirmek için, yeşil ve sürdürülebilir bir KDTZ ağını belirsiz talep altında stokastik iki-amaçlı optimizasyon modeli geliştirerek araştırmışlardır. Yavari ve Zaker (2019) elektrik kesinti riski altında olan bozulabilir ürünler için esnek yeşil KDTZ probleminin tasarımını ele almışlardır. Ahmadi ve Amin (2019) cep telefonu endüstrisinde KDTZ ağ tasarımı ve tedarikçi seçimi için stokastik KTDP modeli önermişlerdir. Manavalan ve Jayakrishna (2019) TZY, ERP, IoT ve Endüstri 4.0'ın çeşitli yönlerini gözden geçirmek ve IoT gömülü sürdürülebilir tedarik zincirine Endüstri 4.0 dönüşümü için mevcut fırsatları bir literatür araştırması ile belirlemişlerdir. Hajiaghaei-Keshteli ve Fathollahi Fard (2019) KTDP modelini ulaştırma maliyetlerinde indirim varsayımını dikkate alarak çok-amaçlı sürdürülebilir KDTZ ağ

tasarım problemi için geliştirilmişlerdir. Papen ve Amin (2019) önerdikleri KDTZ ağındaki en iyi yeşil tedarikçiyi seçmek üzere kalite, zamanında teslimat ve maliyete ek olarak yeşil kriterleri göz önünde bulunduran, çok-amaçlı programlama modeli ve çözüm yaklaşımları sunmuşlardır. Darbari ve ark. (2019) kullanım ömrü bitmiş dizüstü bilgisayarlar için TBL yaklaşımları doğrultusunda çok kriterli bir optimizasyon modeli tasarlamışlar ve bulanık hedef programlama ile geliştirilen modeli çözmüşlerdir. Yang ve Chen (2020) toplama merkezlerindeki farklı işlemleri belirleyerek bu işlemleri Bulanık ANP ve çok-amaçlı KDTP modeliyle entegre ederek KDTZ ağı tasarlamışlardır. Ren ve ark. (2020) karbon fiyat belirsizliğinin tersine lojistik, maliyetler, emisyonlar, tesis yerlerinin seçimleri ve ürün akışlarının tedarik zincirini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Mohtashami ve ark. (2020) taşıma filolarının taşıma ve bekleme süresini optimize etmek için kuyruk sistemini kullanan yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı modeli geliştirmişlerdir. Santander ve ark. (2020) açık kaynaklı 3D yazıcı teknolojileri kullanılarak plastik geri dönüşümü için KDTZ ağının ekonomik ve çevresel faydalarını ele almışlardır. Genc ve De Giovanni (2020) yeniliklere dayalı yalın programlar bağlamında tüketiciler, üreticiler ve tedarikçiler arasındaki ilişkileri inceleyerek çeşitli KDTZ modellerini oyun teorisi yaklaşımları ile araştırmışlardır. Samuel ve ark. (2020) çok-ürünlü, çok-müşterili, kalite ve emisyon politikalarının etkilerini dikkate alan KDTZ ağ tasarımı için bir KDTP modeli sunmuşlardır. Govindan ve ark. (2020) Bulanık ANP, Bulanık DEMATEL ve çok-amaçlı KDTP modellerini, farklı araçlar kullanarak çok-depolu, çok-ürünlü döngüsel KDTZ’de döngüsel tedarikçi seçimi ile sipariş tahsisi için geliştirmişlerdir.

Özet olarak, mevcut literatürdeki TTZ ve KDTZ ağ tasarımlarını konu alan çalışmalar incelendiğinde hem bağımsız (tersine) hem de bütünleşik (kapalı döngü) modellerin, genellikle kapasite, talep, stok vb. kısıtlara sahip maliyet minimizasyonu veya kâr maksimizasyonu olarak tek seviye şeklinde ele alındığı görülmektedir.

2.2. Tedarik Zinciri Yönetiminde Blok Zincir Teknolojilerinin Uygulamalarına İlişkin Literatür Taraması

Finans alanındaki uygulamaları ile bilinen blok zincirinin izlenebilirlik özelliğinin ön plana çıkmasıyla birlikte tedarik sürecinde ürünlerin takibi için tedarik zincirindeki uygulamalar için de fayda sağlayacağı gözlenmiş ve bu konu üzerine çeşitli çalışmalar başlatılmıştır.

Çok sayıda çalışma, mevcut literatürü analiz etmenin yanı sıra, blok zinciri teknolojisinin lojistik ve tedarik zincirindeki pratik uygulamalarını, temel faydalarını ve

zorluklarını sunmuştur. Treiblmaier (2018), dört yerleşik ekonomik teori üzerine inşa edilmiş bir çerçeve sunarak, TZY için blok zincirinin potansiyel etkilerini araştırmışlardır. Cole ve ark. (2019), operasyonlar ve TZY perspektifinden blok zincir teknolojisi araştırmasını teşvik etmeye, potansiyel uygulama alanlarını belirlemeye ve ileri araştırmalar üzerine bir gündem sağlamaya çalışmışlardır. Azzi ve ark. (2019), blok zincirinin tedarik zinciri mimarisine tanıtılmasının faydalarını ve blok zinciri tabanlı bir TZY ekosisteminde karşılaşılan zorlukları incelemiştir. Schmidt ve Wagner (2019), işlem maliyeti teorisini kullanarak altı önermeden oluşan bir dizi geliştirdiler, blok zincirinin fırsatçı davranışı, çevresel ve davranışsal belirsizliğin etkisini sınırladığını ve şeffaf ve geçerli işlemlere izin vererek işlem maliyetlerini azalttığını savunmuşlardır.

Batwa ve Norrman (2020), TZY’de blok zinciri teknolojisinin farklı uygulamalarını tanımlamış ve araştırmışlardır. Analiz için blok zinciri ile ilgili makalelerin sistematik literatür incelemesine dayanan bir çerçeve önererek TZY’de, izlenebilirlik ve finansın blok zinciri teknolojisinin en uygulanabilir uygulamaları olduğunu belirlemişlerdir. Dutta ve ark. (2020), tedarik zinciri operasyonlarında blok zincir entegrasyonunu kullanan ilgili tüm araştırmaları inceleyerek fırsatlarını ve toplumsal etkilerini vurgulamışlardır. Esmaeilian ve ark. (2020), sürdürülebilir tedarik zincirleri için blok zincir teknolojisine ve Endüstri 4.0'a genel bir bakış sağlamışlardır. Dört ana alan altında sürdürülebilirliği artıran blok zinciri yeteneklerini detaylandırmış ve blok zincirinin olumsuz etkilerini, araştırma boşluklarını ve gelecekteki araştırma yönlerini tartışmışlardır. Queiroz ve ark. (2019), blok zinciri ve TZY’nin entegrasyonuna ilişkin mevcut literatürü -2008 ve 2018 yılları arasında hakemli dergilerde 27 makale- analiz etmek ve sentezlemek için sistematik inceleme yaklaşımını izlemişlerdir. TZY’de mevcut blok zincir uygulamalarının, blok zinciri benimsemenin temel zorluklarının ve blok zincirleri geleceğinin neler olduğuna ışık tutmayı amaçlamışlardır. Wamba ve Queiroz (2020), blok zinciri evrimini gözden geçirerek operasyonlar ve TZY alanında değer yaratma konusunda blok zincir rolü hakkında bir tartışma sağlamışlardır. Wang ve ark. (2020), etkin ve verimli TZY için faaliyetlerin koordinasyonunda blok zinciri teknolojisini uygulama olanaklarını göstermiştir. Dietrich ve ark. (2021), blok zinciri teknolojisini ve TZY’yi birleştiren son yayınları araştırmış ve bunları blok zinciri üzerine haritalanacak karmaşıklık açısından sınıflandırmışlardır. Moosavi ve ark. (2021), blok zincirin TZY’ye nasıl katkıda bulunabileceğini belirlemek için bibliyometrik ve ağ analizi yoluyla sistematik bir inceleme yapmışlardır.

Bu çalışmaların dışında, literatürde az sayıda olmasına rağmen, blok zincir teknolojisinin tedarik zincirine uygulanmasıyla ilgili bazı çıkarımsal vaka çalışmaları

bulunmaktadır. Kumar ve Iyengar (2017), TZY süreçleri sırasında pirincin güvenliğini sağlayan blok zincir teknolojisini uygulayan bir pirinç tedarik zinciri sistemi kurmuşlardır. Casado-Vara ve ark. (2018), döngüsel ekonomi konseptini mümkün kılan ve mevcut tedarik zincirine ait pekçok dezavantajı ortadan kaldıran yeni bir blok zincir-tedarik zinciri modeli önermişlerdir. Casino ve ark. (2019), merkezi olmayan ve otomatik gıda tedarik zincirlerinin izlenebilirliğini sağlamak için blok zincir teknolojisine ve akıllı sözleşmelere dayalı işlevsel bir model geliştirmişlerdir. Rejeb ve ark. (2019), IoT altyapısı ile birleştirilmiş blok zinciri teknolojisinin konuşlandırılmasının modern tedarik zincirlerini nasıl düzene sokabileceğini ve fayda sağlayabileceğini göstermiş ve ardından bu teknolojinin IoT'nin temel özelliklerini nasıl etkileyebileceğini özetleyen altı araştırma önerisi türeterek gelecekteki projeler için bir temel oluşturmuşlardır. Choi (2020), moda için uygun ürün tedarik zincirinin finansman sorunlarını incelemiştir. Geleneksel ve blok zinciri destekli tedarik zincirleri için analitik modeller geliştirmiş ve ardından iki tedarik zinciri arasındaki optimal sistemlerin performanslarını karşılaştırmıştır. Sund ve ark. (2020), en büyük mobilya perakendecisi IKEA için blok zinciri fizibilite çalışmasına katkıda bulunmuşlardır. Li ve ark. (2020), tedarik zinciri ağı için blok zinciri, IoT ve makine öğrenimi teknolojilerini birleştirerek bir üretim kapasitesi değerlendirme sistemi önermiş ve bu sistemi bir simülasyon deneyi ile değerlendirmişlerdir. Tönnissen ve Teuteberg (2020), operasyonel bir tedarik zincirindeki aktörlerin blok zincir teknolojisi ile etkileşimi üzerine açıklayıcı bir model geliştirmek için çoklu vaka analizi kullanmışlardır. Di Vaio ve Varriale (2020), sürdürülebilir bir performans perspektifinden TZY'de karar verme süreçlerine odaklanarak, blok zinciri teknolojisinin operasyon yönetimi için önemli etkilerini araştırmış ve bu doğrultuda, havalimanı endüstrisindeki ana blok zincir teknolojisi uygulaması olarak bir İtalyan havalimanı altyapısını başarıyla analiz etmişlerdir. Wong ve ark. (2020), TZY için blok zincir teknolojisini benimsemeye yönelik davranışsal niyeti incelemiş ve 157 şirketten toplanan verileri analiz ederek uygulanabilirliği hakkında değerli bilgiler sunmuşlardır. Kamble ve ark. (2021), *blok zincir teknolojisinin* tedarik zinciri entegrasyonu ve sürdürülebilir tedarik zinciri performansı üzerindeki doğrudan etkisini ve *blok zincir teknolojisi ve tedarik zinciri entegrasyonunun* sürdürülebilir tedarik zinciri performansı üzerindeki etkileşimli etkisini incelemişlerdir. Buna göre, doğrulayıcı faktör analizi ve yapısal eşitlik modellemesini izleyen 138 Hintli otomotiv şirketinin yanıtlarını analiz etmişlerdir.

Kendi çalışmamızda blok zinciri teknolojisinin geleneksel tedarik zincirlerinde uygulanmasıyla ne gibi kazanımlar elde edileceğini ve bunun maliyetleri nasıl etkileyeceğini

ortaya koymak için farklı senaryolar üzerinden uygun modeller geliştirecek ve sonuçları analiz edeceğiz.

2.3. Rekabetçi Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemlerine İlişkin Literatür Taraması

Bağımsız firmalar arasındaki rekabet üzerine geniş bir literatür mevcut iken, tedarik zincirleri arasındaki rekabete son 10 yılda odaklanılmıştır. Mevcut çalışmaların büyük bir kısmı ise bir zincir içindeki firmalar arasındaki rekabeti araştırmaktadır (Farahani ve ark., 2014).

Cachon (2001), bir tedarikçi ve birden fazla perakendeci bulunan iki kademeli bir tedarik zincirinde envanter politikalarının rekabetçi ve işbirliğine dayalı seçimini inceleyerek, rekabetçi çözümler için tüm Nash dengelerini bulmak üzere bir yöntem sunmuştur. Nagurney ve ark. (2002), birçok karar verici ve onların bağımsız davranışlarını ele almak için rekabetçi bir tedarik zinciri ağı denge modeli geliştirmişlerdir. Caldentey ve Wein (2003), bir tedarikçi ve perakendecinin bulunduğu rekabetçi bir tedarik zincirinin izole bir bölümünü M/M/1 stoğa üretim kuyruğu olarak modellemişlerdir. Sonrasında merkezileştirilmiş Nash ve Stackelberg çözümlerinin toplam maliyetleri, karar değişkenlerini ve müşteri hizmet düzeylerini karşılaştırmışlardır. Rau ve ark. (2003), bozulan ürünler için üç kavram akışını içeren (bozulan envanter modeli, çok kademeli envanter sistemi ve entegrasyon tedarik zinciri) çok kademeli bir entegre envanter modeli geliştirerek bu model ile tedarikçi, üretici ve alıcı arasında entegre bir perspektiften optimal ortak toplam maliyet elde etmeyi amaçlamışlardır. Nagurney (2010), homojen bir ürünün çoklu talep pazarlarına rekabetçi üretimi, depolanması ve dağıtımı ile ilgilenen oligopolistik firmaların bulunduğu bir tedarik zinciri ağ tasarımı problemini modellemiştir. Adida ve DeMiguel (2011) Belirsiz tüketici talebini karşılamak için rekabet halinde birden fazla riskten kaçınan perakendeciye bir dizi ürün tedarik etmek için birden fazla üreticinin rekabet ettiği bir tedarik zincirinde rekabeti incelemişlerdir. Azarmehr ve ark. (2012) iki tedarikçi ve maksimum kâr için birbirini takip eden iki rakip perakendecinin olduğu merkezi olmayan bir tedarik zinciri sunarak hizmet ve fiyat oyunlarında Nash dengesi içeren perakendeciler arasındaki etkileşimli dinamikleri karakterize etmişlerdir. Antai ve Olson (2013) tedarik zincirleri arasındaki rekabet için etkileşim fikrini geliştirmek üzere vaka çalışması metodolojisi aracılığıyla bir İsveç lojistik merkezini araştırmış ve kuruluşların tedarik zincirleri boyunca etkileşim noktalarının, tedarik zincirine karşı tedarik zinciri rekabetinin gerçekte nasıl oynanabileceğini belirlemede bir rol üstlenmek için yeterli genişlik sunabileceğini göstermişlerdir. Zhang ve ark. (2014), ikili bir tekel ortamındaki tüketicilerin

referans fiyat etkilerinin varlığında kendi faydalarını optimize etmek için fiyatlandırma stratejilerini seçen bir üretici ve bir perakendeciden oluşan bir tedarik zincirini ele alarak deterministik talep fonksiyonuna dayalı olarak denge fiyatlarını türetmişler ve ortaya çıkan kar duyarlılığını analiz etmişlerdir. Rezapour ve ark. (2015b), tedarik zinciri talebinde kalite ve fiyatın etkisini araştırmış ve iki farklı model önermişlerdir. Farahani ve ark. (2015), perakende tesis yerlerinin ve rakip bir tedarik zincirinin rakip perakendecilerine ait gerekli kapasiteleri belirlemeyi amaçlayan iki seviyeli bir tedarik zincirinin ağ tasarım problemini araştırmış ve problem için doğrusal olmayan ve dışbükey olmayan modeller önermişlerdir. Küçük boyutlu tek perakendecili problemler için optimizasyon algoritması olarak aralık dalsınıırını kullanırken esnek ve esnek olmayan talepleri olan çoklu perakendecili problemleri çözmek için ise bir sezgisel, bir tavlama benzetimi, bir iç nokta, bir genetik ve bir örüntü arama algoritması uygulamışlardır. Heydari ve ark. (2017), bir üretici ve bir perakendeci ile iki kademeli bir TTZ'yi ele almış ve ardından modeli bir KDTZ'yi dikkate alacak şekilde genişletmişlerdir. Tedarik zincirlerini koordine etmek için ise miktar indirimleri, farklı teşvikler ve artan ücret sözleşmeleri önermişlerdir. Rezapour ve ark. (2017), bozulmanın tedarik zincirlerinin rekabet gücü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. En karlı ağ yapısını ve azaltma politikalarını bulmak için bir KTDOP modeli kullanarak problemi ele almış ve modeli çözmek için parçalı doğrusal bir yöntem tasarlamışlardır. Ghavamifar ve ark. (2018), bir üretici ve bayilerin hedeflerine ulaşmak için rekabet ettiği rekabetçi bir tedarik zinciri ağı tasarlamak için iki seviyeli çok amaçlı bir programlama yaklaşımı önermiş ve modeli çözmek için Benders ayrıştırma yöntemleri ve uzlaşma programlamasından Ma ve ark. (2018), iki rekabetçi üretici ve bir perakendecinin bulunduğu iki aşamalı bir tedarik zincirinde fiyatlandırma stratejilerini incelemişlerdir. Altı oyun modeli (merkezi, MSBertrand, MS-Stackelberg , RS-Bertrand , RS-Stackelberg ve maliyet paylaşımli sözleşme) altında tedarik zinciri üyelerinin karları, optimal yeşil üretim seviyesi, perakende ve toptan satış fiyatlarının yanı sıra tüm tedarik zincirini ele almışlardır. Hosseini-Motlagh ve ark. (2018), rekabet eden perakendecilerin Cournot, Collusion ve Stackelberg davranışları altında tedarik zinciri üyelerinin optimal kararlarını değerlendirerek kararlar için karşılık gelen kapalı form optimal çözümleri elde etmişlerdir. Ayrıca, çoklu bağlantılar arasında kararları koordine etmek için yeni çok taraflı tazminata dayalı toptan eşya fiyat sözleşmesi geliştirdiler ve bir endüstriyel vaka çalışmasında önerilen modellerin performansını ve uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Tong ve Li (2018) tedarik zincirinin dışından gelen dış fonlar ve tedarik zincirinin ortaklarından gelen iç fonlar şeklinde iki farklı yatırım fonunu araştırmış ve bu finansman planları kapsamında yeşil bir üretici, normal bir üretici ve bir

perakendecisi olan rekabetçi bir tedarik zincirini analiz etmişlerdir. Rezaei ve Maihami (2019), bir üretici, bir perakendeci/yeniden imalatçı ve bir toplama merkezi olan çok kademeli bir KDTZ'de iki dönemli oyun teorisi tabanlı yeni bir model çerçevesi sunmuşlardır. Setak ve ark. (2019), belirsizlik altındaki üç kademeli bir tedarik zincirinde bir Stackelberg oyunu şeklinde formüle edilmiş bütünlük ve rekabeti dikkate alan iki matematiksel model önererek belirsizlik problemlerini modellemek için iki aşamalı bir stokastik yaklaşım ve problemi çözmek üzere hibrit bir genetik algoritma uygulamışlardır. Seyedhosseini ve ark. (2019), tekeli bir üretici ve iki duopolistik perakendeciden oluşan iki kademeli bir rekabetçi tedarik zinciri için talebin sosyal fiyat duyarlılığını önermiş ve üreticinin kurumsal sosyal sorumluluk çabasının müşterilerin fiyat duyarlılığı üzerindeki etkisini göstermişlerdir. Tedarik zincirini merkezi, merkezi olmayan ve koordineli karar alma yapılarında modellemişlerdir. Jian ve ark. (2020), bir gelir paylaşımı sözleşme mekanizması getirerek iki oyun modeli oluşturmuş ve bu mekanizmanın rekabetçi bir tedarik zincirinin fiyatlandırma kararları ve kar dağıtımını üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir.

Rezapour ve Farahani (2010), iki rakip zincirin optimizasyon davranışını modelleyerek denge koşullarını türetmişlerdir. Çözüm için sonlu boyutlu değişken eşitsizlik formülasyonu kurularak modifiye edilmiş bir izdüşüm yöntemi kullanılmıştır. Rezapour ve ark. (2011b), bir pazar için aynı ürünü sağlayan önceden var olan rakip zincirlerin mevcudiyetinde esnek olmayan talep altında ilgili pazara yeni girecek tedarik zinciri ağı tasarlamak için bir model önermişlerdir. Ortaya çıkan model KTDOP ile formüle edilmiş ve sonrasında doğrusal bir modele dönüştürülerek çözülmüştür. Rezapour ve ark. (2011a), deterministik fiyata bağlı taleplere sahip çok katmanlı bir zincir ve bazı yeni perakendeciler açma eğiliminde olan bir rakip zincir tasarlamışlardır. Problemi, kombinatoriyal meta-sezgisel ile çözülen bir lineer ikili iki seviyeli bir programlayla Von Stackelberg stratejisi için ve lineer ikili programlayla minimum pişmanlık stratejisi için modellemişlerdir. Rezapour ve Farahani (2014); Rezapour ve ark. (2014); Rezapour ve ark. (2015b); Rezapour ve ark. (2016) öncesinde var olan rekabetçi bir tedarik zinciri varlığında piyasaya giren bir tedarik zinciri tasarlamak için tedarik zincirleri arasında dinamik rekabeti varsayan iki seviyeli bir model geliştirmişlerdir. Değişken fiyatlar ve hizmet seviyelerini öngörülü talebin esnek olduğu Rezapour ve Farahani (2014), ve talebin fiyat ve mesafeye göre esnek olduğu Rezapour ve ark. (2014) çalışmaları çözüm için kesin ve metasezgisel algoritmalar önermişlerdir. Talebin deterministik ve fiyata bağlı olduğu Rezapour ve ark. (2015b) çalışmasında değiştirilmiş bir projeksiyon çözüm tekniği uygulanırken Rezapour ve ark. (2016) çalışmasında hem 'tek ürün stratejisi' hem de 'ikame edilebilir ürün stratejisi' için

yeni bir model önerilmiştir. Yang ve ark. (2017), ticaret plan ve emisyon üst sınırı kapsamında bir üretici ve bir perakendeci bulunduran iki rekabetçi tedarik zincirini ele alarak bu tedarik zincirlerin denge çözümlerini (Stackelberg ve Nash oyunları) birkaç farklı yapı ile karşılaştırmışlardır. Saghaeeian ve Ramezani (2018) üç aşamalı, çok ürünlü, çok kaynaklı ve tek dönemli, ikili pazarlarda rekabet eden bir tedarik zincirine karşı olan bir tedarik zincirini ele almışlardır. Bir Stackelberg oyunu için problemi iki seviyeli modelle formüle etmiş ve iki seviyeli modeli tek seviyeli bir karma tamsayı doğrusal olmayan programlamaya dönüştürmek için Karush-Kuhn-Tucker koşullarını uygulamışlardır. Büyük boyutlu problemleri çözmek için Hibrit Genetik Algoritmayı önerirken hibrit meta-sezgisel parametreleri kalibre etmek ve daha sağlam çözümler elde etmek için ise Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Seyedhosseini ve ark. (2018), belirsizlik altında rekabet halindeki tek, iki kutuplu ve oligopol merkezi olmayan tedarik zincirlerinin yer aldığı rekabetçi tedarik zinciri ağı tasarım problemini sunmuş ve iki seviyeli programlama ve olasılık teorisine dayalı bir çözüm algoritması kurmuşlardır.

2.4. Etkileşimli/Çok-seviyeli Bulanık Programlamaya İlişkin Literatür Taraması

Klasik Doğrusal Programlama, geliştirildiğinden itibaren hayatımızda rol almaya başlamış ve sıklıkla kullanılagelmiştir. Günümüzde ise, tek bir amacın modellenmesinden ziyade birden fazla amacın farklı seviyelerdeki karar vericiler ile aynı anda modellenmesine olanak tanıdığından dolayı çok-seviyeli programlama yöntemleri değer kazanmaya başlamıştır. Örneğin, bir tedarik zincirindeki aktörlerden biri olarak lojistik firması taşıma maliyetlerini minimize etmek veya toplam gelirini maksimize etmek isterken, ana sanayi firması teslimat süresini kısaltmayı hedefleyebilir. Bu gibi durumlarda insan ve çevre gibi faktörlerden kaynaklanan belirsizliklerin bulunduğu çok-seviyeli karar verme problemleri daha da zorlaşmaktadır. Çok-seviyeli programlama yöntemlerinde çoğunlukla üst seviyedeki KV'nin kararına göre alt seviyedeki KV(ler) kendi amaçlarını optimize etmeye çalışır(lar). Alt seviyedeki KV(ler)nin kendi yararını da göz önünde bulundurarak üst seviyedeki KV ile etkileşimine dayanan yaklaşımlar gerçek dünyanın işbirliğine dayalı tedarik zinciri yapılarını yansıtmaktadır.

Lai (1996) çok-seviyeli programlama problemlerinin çözümü için en uygun üyelik kavramını önererek üç-seviyeli programlama problemi üzerinde uygulamıştır. Önerilen yöntem, alt seviyedeki KV'nin üst seviye KV'nin bir hedefini veya tercihini dikkate alarak amaç fonksiyonunun optimize ettiği fikrine dayanmaktadır. Üst seviye KV, kendi amacına göre optimal üyeliğini belirlemekte, alt seviye KV'ler üst seviyedeki KV'nin tatmin seviyesi

üzerindeki bir kısıtlamayla, kendi kararlarını hesaplayarak optimal çözüme ulaşmaktadır. Shih vd. (1996), merkezi olmayan birden fazla karar vericiye sahip hiyerarşik yapıdaki planlama problemlerinin çözümü için çok-amaçlı optimizasyon ve tolerans üyelik fonksiyonlarını kullanarak bulanık bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Üyelik fonksiyonlarının değişikliğine dayanan çözüm yöntemi çok-seviyeli problemleri tek bir iterasyon ile çözebilmektedir. Lai (1996) ve Shih vd. (1996) yaklaşımlarında, üst seviyede hem amaç fonksiyonu hem de karar değişkenleri için bulanık amaçlar belirlendiğinden dolayı bulanık amaçların tutarsız olması durumunda istenmeyen sonuçlar oluşabilmektedir. Bu tarz problemlerin üstesinden gelebilmek için, Sakawa vd. (1998) EBP'yi önermişlerdir. Etkileşimli yöntemlerde, her seviye karar vericinin bulanık amaçları belirlendikten sonra, her seviyedeki memnuniyet seviyesi dengesi göz önünde bulundurularak üst seviyedeki karar vericinin memnuniyet seviyesi istenen memnuniyet sonucuna ulaşılan kadar güncellenir. Yöntemin algoritması, ilk başta iki-seviyeli programlama problemleri için sunulmuştur. Buna göre, Stackelberg algoritmasının aksine üst seviyedeki KV bulanık amaç ve minimum tatmin seviyesini belirlemekte; alt seviyedeki KV ise bu tatmin seviyesini göz önünde bulundurarak kendi bulanık hedefini optimize etmeye çalışmaktadır. Sonrasında çok-amaçlı programlama problemleri için de gerekli olan algoritma sunulmuştur. Lee ve Chang (2005) bir nehir havzası için çok-amaçlı bir kalitesi yönetim stratejisi için bir çerçeve sunulmuş olup, ekonomik ve çevresel kalite konularını içeren üç çelişkili amacı ele almışlardır. Li ve ark. (2006) teorik ve pratik açıdan daha etkin, iki aşamalı maks-min bulanık uzlaşık yaklaşımını önermişlerdir. Önerilen yaklaşım ile potansiyel uygun olmayan çözümlerden kaçınarak, çok-amaçlı doğrusal drogramlama problemleri için etkin bir çözüm elde edebilmektedir. Liang (2006), parçalı doğrusal üyelik fonksiyonunu kullanarak bulanık çok amaçlı ulaştırma problemin çözümü için toplam teslimat maliyeti ve zamanını, aynı anda minimize etmeyi amaçlayan etkileşimli çok-amaçlı doğrusal drogramlama yöntemi geliştirmiştir. Mishra ve Ghosh (2006) iki-seviyeli kuadratik kesirli programlama problemlerinde uzlaşık çözüm elde etmek için EBP yaklaşımını önermişlerdir. Ahlatcioglu ve Tiryaki (2007) iki yeni EBP yaklaşımı önermiştir. AHP yöntemi yardımıyla üst düzey KV, alt düzeydeki hedeflere ağırlık atamakta ve alt seviyedeki KV'lerin ağırlıkları modele yansıtılmaktadır. Selim ve Ozkarahan (2008), tedarik zinciri tasarımı üzerine bir bulanık çok-amaçlı doğrusal drogramlama modeli geliştirmiş ve uzlaşık çözüm elde etmek için yeni ve eşdeğer etkileşimli bulanık hedef programlama yaklaşımını önermişlerdir. Torabi ve Hassini (2008) tedarik zinciri ağ tasarımı üzerine başlangıçta yeni çok-amaçlı olasılıklı KTDP problemini oluşturmuşlar, ardından olasılıklı modeli dönüştürmek üzere yardımcı

çok-amaçlı doğrusal modeli uygulayarak çözüm için yeni bir EBP yaklaşım önermişlerdir. Kato ve ark. (2009) şans kısıtlama programlama kavramına göre, iki-seviyeli stokastik doğrusal drogramlama problemini beklenti kısıtları olan varyans modeli ile deterministik probleme dönüştürmüşlerdir. Liang ve Cheng (2009), işletme maliyetlerine ait her bir kategori için paranın zaman değerini göz önünde bulundurarak, tedarik zincirlerine çok ürünlü ve çok zamanlı üretim/dağıtım planlama karar problemlerini entegre etmek için toplam maliyetleri ve teslimat süresini eş zamanlı minimize etmeye çalışan bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Xu ve ark. (2015) alternatif bölgeleri belirlemek ve önceden belirlenmiş bir kömürle çalışan santral için en uygun yeri bulmak için bir coğrafi bilgi sistemi metodolojisi önermişlerdir. Önerilen iki-seviyeli modelin çözümünde EBP ve NSGA-II'ye dayalı bir çözüm yaklaşımı uygulanmıştır. Alavidooost ve ark. (2016) çok-amaçlı basit montaj hattı ile U-tipi montaj hattı dengeleme problemlerini modellemek için yeni iki aşamalı EBP yaklaşımını önermişlerdir. Çalık ve ark. (2017a) iki-seviyeli müttefik (ortak kaynaklar kullanan) KDTZ ağı için Bulanık AHP yöntemine dayalı yeni bir EBP yaklaşımı önermişlerdir. EBP yaklaşımları ile önerilen yeni yöntemin etkinliği karşılaştırılmış ve önerilen yaklaşımın üst seviye KV'ler için daha yüksek tatmin düzeyi verdiği gösterilmiştir. Benzer şekilde Çalık ve ark. (2017b) ve Çalık ve ark. (2018) bir önceki çalışmanın devamı niteliğinde müttefik KDTZ için yine Bulanık AHP'ye dayalı yeni bir bulanık EBP yaklaşımı önermişlerdir. Yıldızbaşı ve ark. (2018)'de otomotiv sektöründe fabrikalar, ayrıştırma merkezleri ve müşterilerden oluşan çok-seviyeli bir KDTZ ağı için literatürde mevcut farklı EBP yaklaşımları için hesaplamalı deneyler yapmış ve karşılaştırmalı bir performans analizi gerçekleştirmişlerdir. Wu ve ark. (2018) belirsizlik altında KDTZ ağ tasarımı için bulanık KTDP modeli tasarlamışlar ve tercih edilen uzlaşık çözümü bulmak için dört EBP yaklaşımını analiz etmişleridir. Ferdowsi ve ark. (2018) minimum toplam yakıt ikmali maliyetinin yanı sıra minimum gerekli yakıt ikmali sayısına sahip olmak için bir araca nerede yakıt ikmali yapılacağını seçmek için bulanık iki-amaçlı bir model geliştirerek yeni EBP yaklaşımı önermişlerdir. EBP yaklaşımları çeşitli matematiksel programlama problemlerini ele alacak şekilde genişletilmiştir: Bulanık parametrelerle iki-seviyeli kesirli doğrusal drogramlama problemleri (Sakawa ve ark., 2000b), bulanık parametrelerle çok-seviyeli doğrusal drogramlama problemleri (Sakawa ve ark., 2000a), iki-seviyeli kesirli doğrusal drogramlama problemleri (Sakawa ve Nishizaki, 2001), çok-amaçlı stokastik doğrusal drogramlama problemleri (Sakawa ve ark., 2003), merkezi olmayan iki-seviyeli doğrusal drogramlama problemleri (Sakawa ve Nishizaki, 2002b; Sakawa ve ark., 2002), iki-seviyeli doğrusal kesirli üretim ve atama problemleri

(Sakawa ve ark., 2001b), GA ile çok-seviyeli 0-1 programlama problemleri (Sakawa ve ark., 1999; 2001a), GA ile bulanık parametrelerle iki-seviyeli konveks olmayan programlama problemleri (Sakawa ve Nishizaki, 2002a), olasılık tabanlı modeller aracılığıyla iki-seviyeli programlama problemleri (Sakawa ve ark., 2011; 2012; Sakawa ve Matsui, 2012; 2013b; 2013c; 2013a; 2013d; 2014), tabu arama ile bulanık stokastik çok-seviyeli 0–1 programlama (Sakawa ve Matsui, 2014), bulanık stokastik iki-seviyeli doğrusal drogramlama (Sakawa ve ark., 2014). Ayrıca, Sakawa ve Nishizaki (2012) iki-seviyeli veya çok-seviyeli programlama problemlerinde çözüm yöntemlerinin geliştirilmesini bir literatür taraması ile incelemiştirlerdir. Yano ve Sakawa (2014) olasılık tabanlı olasılık maksimizasyonu yoluyla çok-amaçlı bulanık rastgele doğrusal drogramlama problemleri için EBP yaklaşımını sunmuşlardır.

Tezde bu çalışmalardan farklı olarak günümüz sürekli değişen koşullara daha uyumlu çözümler sunacak yeni bir etkileşimli çok seviyeli bulanık programlama yaklaşımı önerilecektir.

2.5. Tedarik Zinciri Yönetiminde BMW'in kullanımına İlişkin Literatür Taraması

BWM, 2015 yılında Dr. Jafar Rezaei (Delft University of Technology) tarafından geliştirilen yeni bir ÇKKV yöntemidir. BWM, iş, sağlık, mühendislik, tarım ve ekonomi gibi çeşitli karar verme alanlarında kullanılabilir. Prensipten olarak, amacın bir dizi alternatif arasından uygun bir alternatif seçmek ve derecelendirmek olduğu her yerde bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntem tek karar verici veya bir karar vericiler grubu tarafından kullanılabilir. Mevcut ÇKKV yöntemlerine kıyasla BWM'in göze çarpan özellikleri şunlardır: i) daha az karşılaştırma verisi gerektirir; ii) daha tutarlı karşılaştırmalar yapılmasına yol açar, yani daha güvenilir sonuçlar üretir (Rezaei 2018).

BWM'e göre, en iyi (en çok arzu edilen, en önemli olanı) ve en kötü (en az arzu edilen, en az önemli olan) kriterler ilk olarak karar vericiler tarafından belirlenir. Çift yönlü karşılaştırmalar daha sonra söz konusu iki kriterin (en iyi ve en kötü) ve kalan diğer kriterlerin her biri arasında gerçekleştirilir. Bir maximin problemi, farklı kriterlerin ağırlığını belirlemek için doğrusal drogramlama şeklinde formüle edilir ve çözülür. Farklı kriterlere göre alternatiflerin ağırlıkları aynı süreçten elde edilir. Alternatiflerin son puanları, en iyi alternatifin seçildiği farklı kriterler ve alternatifler arasından ağırlıkların toplanmasıyla elde edilir. Karşılaştırmaların güvenilirliğini kontrol etmek için BWM için bir tutarlılık oranı geliştirilmiştir. İlk önerilen BWM yöntemi doğrusal olmayan bir model içermektedir (Rezaei 2015). Sonraki versiyonu ise doğrusallaştırılmıştır (Rezaei 2016). Rezaei vd. (2015) ilk

olarak BWM yöntemini tedarikçi segmentasyonu sürecinde, ardından Rezaei vd. (2016) geleneksel ve çevresel kriterleri entegre ederek tedarikçi seçimi probleminde kullanmışlardır. Ahmad vd. (2017) gaz ve petrol sektöründeki ekonomik istikrar, politik istikrar, paydaş baskısı, rekabet, enerji dönüşümü ve yönetmelikler olmak üzere altı dış gücün sürdürülebilir TZY uygulamalarındaki önemini nicel olarak değerlendirmek için Amerikan ve Avrupa üniversitelerinden sürdürülebilir tedarik zinciri ve petrol-gaz alanındaki akademik uzmanlara ve gelişmekte olan ülkelerdeki iki ulusal petrol ve gaz işletmelerine bir anket yapmış ve toplanan verileri BWM yöntemini kullanılarak analiz etmişlerdir. Ahmadi vd. (2017) imalat firmalarında tedarik zincirinin sosyal sürdürülebilirliğini araştırmak üzere önerdikleri çerçevenin uygulanabilirliğini ve verimliliğini göstermek için BWM yöntemini kullanılarak 38 uzmanın değerlendirmelerini analiz etmişlerdir. Gupta ve Barua (2017) KOBİ'lerin yeşil inovasyon kabiliyeti temelinde tedarikçi seçimi için üç aşamalı bir metodoloji sunmuşlardır. İlk aşamada literatür taraması ile birlikte uzman görüşleriyle toplam yedi ana ve 42 alt KOBİ'lerde yeşil inovasyon kriterleri seçilmiştir. İkinci aşama, çalışmadaki tüm ana ve alt kriter ağırlıklarını hesaplamak için BWM yöntemi kullanılmıştır. Son aşamada, Bulanık TOPSIS yöntemiyle kriter ağırlıkları kullanılarak yedi tedarikçi sıralanmıştır. Sahebi vd. (2017) Tahran Kızılay Derneklerinin bir örnek çalışması bağlamında insani tedarik zinciri engellerini analiz etmek için Bulanık Delphi ve BWM yöntemlerini kullanan entegre bir yaklaşım sunmuşlardır. Uzmanlarla yapılan görüşmeler ve mevcut literatür ışığında, insani tedarik zincirinde tespit edilen 28 engel, Bulanık Delphi ile dokuz kategoride sınıflandırılarak 22 engelle indirilerek BWM yöntemiyle değerlendirilmiştir. Aboutorab vd. (2018) belirsizlikle başa çıkmak için Z-sayılarını BWM metoduna entegre ederek Z-BWM yöntemini geliştirmiş ve bir tedarikçi geliştirme probleminde uygulamışlardır. Deneysel sonuçlara göre, Z-BWM yöntemi BWM ve Bulanık BWM ile karşılaştırıldığında daha tutarlı bir yaklaşım sunmuştur. Cheraghalipour ve Farsad (2018) İran'ın kuzeyindeki çok-dönemli, çok-ürünlü ve çok tedarikçili gerçek bir vaka çalışmasının sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve sipariş tahsis problemini, miktar indirimleri ve kesinti risklerini dikkate alarak çözmek için bir karar verme aracı sağlamışlardır. Belirlenen kriter ağırlıkları ve bu kriterlere göre de tedarikçilerin öncelik ağırlıkları BWM yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve önerilen modelde bu skorlar maksimize edilmeye çalışılmıştır. Groenendijk vd. (2018) transit düğümün kalitesini belirleme sürecinde seyahat edenlerin deneyimini de göz önüne alarak BWM yöntemine dayalı bir değerlendirme yöntemi geliştirmişler ve Rotterdam vakası üzerinde uygulamışlardır. Gupta (2018) BWM yöntemi ile VIKOR yöntemini entegre ederek hava

yolu taşımacılığında hizmet kalitesinin değerlendirilmesi için melez bir yaklaşım önermiştir. Shojaei vd. (2018) yine hava yolu taşımacılığında Taguchi kayıp fonksiyonunu, BWM yöntemini ve VIKOR'u birleştirerek havalimanlarının değerlendirilmesi ve sıralanması için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Lo vd. (2018) yeşil tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemi için BWM- modifiye bulanık TOPSIS ile bulanık çok-amaçlı doğrusal drogramlama içeren yeni bir model önermişlerdir. Önerilen yöntem bir elektronik işletmesi tarafından sağlanan gerçek veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Rezaei vd. (2018) farklı ülkelerin lojistik performansları hakkında fikir edinmek için farklı ülkelere 107 uzmandan oluşan bir anket yaparak altı Lojistik Performans Endeksi bileşenine (altyapı, lojistik hizmetleri, dakiklik, gümrük, uluslararası sevkiyatlar ve izleme-takip) BWM yöntemini kullanarak ağırlık atamışlardır. Elde edilen puanlar, ülkelere lojistik durumlarını en verimli şekilde nasıl geliştirebilecekleri hakkında fikir vermektedir. Govindan vd. (2019) Hindistan'da bulunan bir işletmenin Üçüncü Parti Tersine Lojistik Sağlayıcı (3PRLP) problemini ele almışlardır. İşbirlikçi ortakların seçimi için COPRAS-BWM entegre yöntemini kullanarak sürdürülebilir bir değerlendirme çerçevesi sunmuşlardır. Haeri ve Rezaei (2019) ekonomik ve çevresel kriterleri içeren kapsamlı bir gri tabanlı yeşil tedarikçi seçim modeli önermişlerdir. İran'daki büyük motorlu taşıt imalatçısı için beş alüminyum malzeme tedarikçisini değerlendirmek ve sıralamak için beş uzmandan oluşan bir panel oluşturulmuştur. Kriterleri değerlendirmek için BWM ve bulanık gri bilişsel yöntemleri birleştirerek yeni bir ağırlık atama modeli önerilmiştir. Daha sonra geliştirilen Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle yeşil tedarikçiler değerlendirilmiştir. Wu vd. (2019) yeşil tedarikçi seçimi problemi için Aralık Tip-2 bulanık ortamda BWM ve VIKOR tekniğine dayalı entegre bir metodoloji sunmuşlardır. Liu vd. (2019a) BWM ve Alternatif Kuyruk Yöntemini entegre ederek, aralık değerli sezgisel bulanık ortamda sürdürülebilir tedarikçi seçimi için yenilikçi ÇKKV modeli önermiş ve bir saat üreticisi örneğiyle modelin uygulanabilirliği ve etkinliğini göstermişlerdir. Liu vd. (2019b) 3PRLP seçimi için yeni Aralık-Değerli Pisagor Kararsız bulanık BWM ÇKKV yöntemi önermişlerdir. Pamucar vd. (2019) 3PLP'leri değerlendirmek için MABAC yanında WASPAS ve BWM yöntemine dayalı yeni bir bütünleşik aralıklı kaba sayı (IRN) yaklaşımı sunmuşlardır. Melez IRN-BWM kriterlerin öncelikli ağırlıklarını hesaplamak için kullanılırken, IRN-WASPAS ve IRN-MABAC, 3PLP'lerin son sıralamasını elde etmek için kullanılmıştır. Suhi vd. (2019) Bangladeş'teki seçkin endüstrilerin tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliği için çevresel kriterleri değerlendirmek üzere BWM yöntemi önermişlerdir. Elde edilen bulgular, Bangladeş'teki endüstrilerde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında en önemli göstergenin atık yönetimi olduğunu ortaya koymuştur. Fartaj vd.

(2019) otomotiv parçaları imalat işletmesine ait tedarik zincirinin kritik ulaşım bozulma faktörlerini analiz etmeyi ve BWM-kaba dayanım ilişkisi (RSR) analiz yöntemlerini kullanarak karşılıklı ilişkileri ortaya koymayı amaçlamışlardır. Geliştirilen BWM-RSR çerçevesinin uygulanabilirliği Oldcastle, Ontario, Kanada'daki bir otomotiv parçaları imalat işletmesinde gösterilmiştir. Sonuçlar, altyapı darboğazlarının / tıkanıklığının ve yetersiz vasıflı iş gücünün otomotiv endüstrisindeki ulaşım ağının bozulmasında en kritik faktörler olduğunu göstermiştir. Orji vd. (2019) nakliye lojistiği sürdürülebilirliği için eko-inovasyon uygulamalarının uygulanmasındaki zorlukları tanımlamışlardır. Bu zorlukları geliştirmekte olan bir ekonomi olan Nijerya'daki göreceli önemleri açısından değerlendirmek ve sıralamak için BWM yöntemini uygulamışlardır. Munny vd. (2019) Bangladeş'teki bir ayakkabı imalat işletmesinin tedarik zincirinde sosyal sürdürülebilirlik sağlayıcıları, BWM yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Sonuçlar, işyeri sağlığı ve güvenliği uygulamalarının, bir ayakkabı imalat işletmesi tedarik zincirinin sosyal sürdürülebilirliğinin en önemli sağlayıcısı olduğunu, bunu işletme çalışanlarına sunulan ücret ve yan yardımların izlediğini göstermiştir. Qin ve Liu (2019), acil durum malzeme tedarikçisi seçim problemi için entegre bir Tip-2 bulanık BWM ve COPRAS yaklaşımı sunmuştur. Gan vd. (2019) esnek tedarikçi seçim problemini çözmek üzere grup karar verme için rastgele ortamlarda bulanık BWM ve modüler TOPSIS kombinasyonuna dayanan melez bir yöntem önermişlerdir. Rahemi vd. (2020) bir biyoetanol tedarik zinciri ağının optimum tasarım ve planlamasını formüle etmek için iki amaçlı KTDP modeli önererek, ekili alanların toprağına ve topografik özelliklerine göre mevcut ekin alanlarının uygunluğunu belirlemek için BWM, PROMETHEE II ve GIS kullanmışlardır. Önerilen modelin performansı, İran'ın Fars eyaletindeki çok hammaddeli bir biyoetanol tedarik zincirinde gösterilmiştir. Gupta ve ark. (2020) tedarik zinciri performansının iyileştirilmesi için faydalı olan temel sayısallaştırma ve BT olanaklarını değerlendirmek, sıralamak ve önceliklendirmek için BWM'i kullanmışlardır. Grida ve ark. (2020) bir karar verme çerçevesinde plitojenik kümeyi hem BWM hem de VIKOR yöntemleriyle entegre ederek IoT tabanlı tedarik zincirinin performansını değerlendirmenin belirsizliğini ele almışlardır. Yazdani ve ark. (2020) İspanya'daki bir hastanenin tedarikçi seçim problemi için BWM ve DEMATEL yöntemlerini kullanarak bir karar verme modeli önermişlerdir. Amiri ve ark. (2021) tedarik zincirinde sürdürülebilir tedarikçi seçimi için üçgen bulanık yaklaşımlı, BWM tekniğine dayalı yeni bir model sunmuşlardır. Baki (2021) Tedarikçi seçimini değerlendirmek için ekonomik, çevresel, sosyal ve yetkinlik kavramlarını içeren BWM ve TODIM tekniklerine dayalı çok boyutlu bütünleşik bir yaklaşım önermiştir. Geliştirilen yaklaşımda, BWM kriterlerin önem derecesini bulmak için, bulanık TODIM ise

tedarikçileri sıralamak için kullanılarak Türkiye'de bir otomotiv firması üzerinde test edilmiştir. BWM yönteminin KDTZ'de kullanımı konusunda henüz bir makale yayınlanmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu net bir şekilde, 2017 yılında yapılan bir literatür araştırması, 1994-2017 tarihleri arasında yayınlanmış 800 eseri değerlendirerek KDTZ yönetimi konusunda kullanılan bulanık ÇKKV yöntemleri alanındaki araştırma boşluklarına dair bir analiz sunarak göstermişlerdir (Tozanli vd. 2017). Tez çalışmasında, tutarlılık oranına göre önemli ölçüde daha iyi sonuçlar veren BWM yönteminin EBP yöntemleri ile entegre edilmesi ve geliştirilecek yeni yaklaşımların KDTZ yönetiminde kullanılması ile bu boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tez kapsamında ele alınan KDTZ, Blok zincir teknolojisi, Rekabetçi tedarik zinciri ağ tasarımı problemleri, BWM, Bulanık BWM ve Bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

Tedarik Zinciri, son müşteriye değer sunma işlevini yerine getiren satın alma, üretim, lojistik, dağıtım, pazarlama faaliyetlerinin bütünüdür. Geleneksel ileriye dönük tedarik zincirlerinde, müşteri tipik olarak tedarik zincirinin sonudur. Sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomiye odaklanmayla birlikte çevre dostu ürünler yapma eğiliminin artması son yirmi yılda klasik tedarik zinciri kavramına *Yeşil Tedarik Zinciri*, *Sürdürülebilir Tedarik Zinciri*, *Tersine Tedarik Zinciri*, *Kapalı Döngü Tedarik Zinciri* gibi farklı terimleri kazandırmıştır (Kumar ve Kumar, 2013). TTZ son kullanıcılardan ömrünü tamamlamış veya kullanım sonu ürünleri elde etmek için ürün satın alma, ürünleri kullanım noktalarından ileriye doğru taşıyarak tekrar değer elde etme sürecidir. KDTZ'ler ise, geleneksel İTZ faaliyetlerinin yanında TTZ'nin ek faaliyetlerini içerir yani TTZ'yi İTZ'ye entegre eder (van de Scheur). Genel olarak, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Yönetimi zaman içinde farklı tür ve hacimlerdeki getirilerden dinamik değer kazanımı ile bir üründen tüm yaşam döngüsü boyunca değer yaratmayı en üst düzeye çıkarmak için bir sistemin tasarımı, kontrolü ve işleyişi olarak tanımlanabilir (Kumar ve Kumar, 2013; Stindt ve Sahamie, 2014; Chen, 2016). İlk akademik çalışmaları (Thierry ve ark., 1995; Fleischmann ve ark., 1997) 1990'larda yapılan bu araştırma alanına ilgi sürekli artarak muazzam sayıda yayın ortaya çıkarmıştır (Stindt ve Sahamie, 2014).

Artan küresel rekabet, kısalan yaşam döngüleri, genişleyen çevre mevzuatı ve bayilerdeki her zamankinden daha yumuşak ticari geri alım politikaları, ürün iadelerini arttırmaktadır (van de Scheur). Kullanım ömrü sona ermiş ürünlerinden kendilerini sorumlu hisseden üreticiler, tedarik zinciri yoluyla iade edilen ürünlerden maksimum değeri geri kazanmak için doğrusal tedarik zincirlerini dairesel hale dönüştürmelidir. Bu durum halıdan bilgisayara kadar pek çok sektör için ürün iadelerini önemli bir konu haline getirmekle birlikte birçok karmaşıklık da yaratır, bu karmaşıklıklarla başa çıkmak için de verimli KDTZ'lere ihtiyaç vardır (Varnavas, 2011). Tedarik zincirini kapatmak, bir kuruluş için operasyonel ve finansal avantajlar sağlar ve aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik lehine çalışır. KDTZ yönetimi rekabet avantajı sağlar ve bir organizasyonun ekonomik durumunu

iyileştirir. KDTZ yönetiminin etkin bir şekilde uygulanması, atıklarda ve çevre kirliliğinde azalmaya, kaynak kullanımının optimizasyonuna ve maliyetlerde düşmeye yol açar (Kumar ve Kumar, 2013).

Bir KDTZ'nin kârlılığını değerlendirirken, doğrudan finansal etkilere bakmaktan daha fazlası vardır. Döngü kapatılarak üretilebilecek aşağıdaki iş değeri türleri öncelikle tanımlanmalı ve en iyi stratejiye karar vermek için tüm değerler bütünsel olarak düşünülmelidir (Laan, 2019).

- *Kaynak değeri.* Bunlar, ürünlerin, bileşenlerin ve malzemelerin daha ucuza satın alınması ve elden çıkarma ücretleri ile çevre cezaları gibi olumsuz dışsallıklardan kaçınma gibi doğrudan finansal etkilerdir.
- *Çevresel/sosyal değer.* Dolaylı olarak, ürün geri kazanım girişimlerinin ilgili paydaşlara iletilmesi, marka imajının iyileşmesine ve gelecekteki mevzuata daha kolay uyum sağlanmasına yol açabilir.
- *Müşteri değeri.* Ürün kurtarma faaliyetleri yoluyla, daha yüksek müşteri memnuniyeti ve bağlılığına yol açabilecek daha geniş bir ürün ve hizmet yelpazesi sunulabilir.
- *Bilgi değeri.* Ürün iadelerinin aktif olarak toplanması ve incelenmesi; ürün tasarımını iyileştirmek ve ileri/tersine lojistik süreçlerini optimize etmek için gerekli bilgileri sağlayabilir.

3.1.1. Kapalı döngü ve geleneksel tedarik zincirleri arasındaki farklar

Geleneksel TZY genellikle tek bir amaç olarak ekonomiye odaklanırken KDTZ yönetimi, ekonomik olduğu kadar ekolojik nedenleri de amaç olarak dikkate alır, bu sebeple de KDTZ'lerin yönetimi daha karmaşıktır ve çevresel etkileri dikkate alarak ileri ve tersine lojistiği aynı anda kontrol etmek için daha fazla çaba gerektirir.

KDTZ yönetimi, geleneksel tedarik zinciri türlerine kıyasla aşağıdaki beş açıdan değişikliklere odaklanır:

1. **Amaç.** Geleneksel tedarik zinciri, ekonomik faydaları en üst seviyeye çıkarmak için maliyeti düşürmeyi ve tedarik zinciri girişiminin verimliliğini artırmayı amaçlar. KDTZ, aynı zamanda kaynak tüketimini, enerji tüketimini ve kirletici emisyonları azaltmaya çalışarak, sosyal açıdan sorumlu bir işletme yaratmaya ve ekonomik faydaları, sosyal etkileri ve çevresel etkileri dengelemeye özen gösterir.
2. **Tedarik zincirinin yönetim yapısı.** Geleneksel tedarik zincirlerinde eksik olan çevresel performans, KDTZ yönetiminde işletmenin iç ve dış yönetimine dâhildir.

- 3. İş modeli.** KDTZ yönetimi, daha eksiksiz bir iş modeli anlamına gelir. Hammadde tedarigi ve endüstriyel tasarımdan üretim ve teslimata kadar tüm yaşam döngüsü boyunca eksiksiz yeşil ve düşük karbonlu bir tedarik zinciri sistemi gerçekleştirmek için çevre koruma unsurları tüm lojistik ve tedarik zincirine dâhil edilir.
- 4. İş süreci.** Geleneksel tedarik zinciri, tedarikçilerle başlar kullanıcılarla biter ve buradaki ürün akışı, “Beşikten Mezara” olarak bilinen, tek yönlü ve geri döndürülemezdir. KDTZ yönetimi bu yönetim şeklini değiştirir ve “Beşikten Reenkarnasyona” eylemine dönüştürür. KDTZ yönetimi düşüncesinde, ürün akışı döngüsel ve tersine çevrilebilirdir ve tüm ürünler tüm yaşam döngüsü boyunca ve ötesinde yönetilmelidir, böylece “atık” ikinci bir yaşam bulur veya yeni üretim veya başka amaçlar için kullanılabilir hammadde haline gelir.
- 5. Tüketim modeli.** Geleneksel tedarik zincirlerinin tüketim modeli, tüketici çıkarları ve ticari faaliyetler tarafından yönetilen gönüllü bir girişimdir. KDTZ yönetimi, yeşil kamu alımları, kurumsal sosyal sorumluluk ve sürdürülebilir tüketim eğitimi ve uygulamaları yoluyla teşvik edilebilir (Kumar ve Kumar, 2013).

KDTZ’ler, ürün iadelerine odaklanır. Kullanıcılar, ürün yaşam döngüsü sırasında ve sonrasında çeşitli nedenlerle ürünleri iade edebilir. Ticari iadeler, satın alma işleminden sonraki 30, 60 veya 90 günlük süre içinde gerçekleşirken garanti ve onarım iadeleri, kullanım sonu iadeleri ve kullanım ömrü sonu iadeleri, ürün satıldıktan aylar, yıllar hatta on yıllar sonra gerçekleşebilir. Her bir getiri türü, değer geri kazanımını maksimum seviyeye çıkarmak için özelliklerine uygun bir KDTZ faaliyeti gerektirir (Guide Jr ve Van Wassenhove, 2006).

3.1.2. Kapalı döngü tedarik zinciri operasyonları

KDTZ, ürünlerin tüketiciye-ileriye doğru hareketi için; tedarik, üretim, dağıtım ve tüketim gibi geleneksel tedarik zinciri faaliyetlerine sahip olmasının yanında TTZ süreçleri için de gerekli aşağıda verilen bir dizi özel faaliyete sahiptir (Krikke ve ark., 2003; Seitz, 2005; Varnavas, 2011);

Toplama/ Ürün edinme: Kullanılmış öğeleri (ürün, bileşen veya malzeme) kullanılabilir hale getiren ve daha ileri işlemler için fiziksel olarak bir noktaya taşıyan tüm faaliyetlerdir. Bu faaliyet, ürün alımını, nakliyesini ve depolanmasını içerebilir.

Muayene ve Avıklama: Toplanan ürünlerin durumunun belirlenmesi sürecidir. Çeşitli geri kazanım ve bertaraf seçeneklerine karar vermek üzere akışın bölünmesiyle sonuçlanır. Bu faaliyet, test etme, sökme, parçalama, kırpınıtlama, sıralama, sınıflandırma ve depolama işlemlerini içerebilir.

Yeniden işleme/ Geri kazanım: Kullanılmış bir öğenin bir tür yeniden kullanılabilir öğeye fiilen dönüştürülmesidir. Seçilen kurtarma seçeneğine bağlı olarak, doğrudan yeniden kullanım, onarım(tamir), yeniden üretim, geri dönüşüm, bertaraf gibi çeşitli faaliyetleri kapsar.

Bertaraf: Yeniden kullanılmayan ya da geri kazanımı ekonomik olmayan ürünler veya zararlı maddelerin yakma fırınlarına veya çöp sahalarına atılarak çevreye zarar vermeden ortadan kaldırılmasıdır.

Yeniden dağıtım ve pazarlama: Geri kazanılan malzemeleri pazarlara yönlendirmek ve bunları fiziksel olarak potansiyel yeni kullanıcılara ulaştırmaktır. Buna satış faaliyetleri, nakliye ve depolama dâhildir.

3.1.2.1. Kapalı döngü tedarik zincirinde ürün değerlendirme/kurtarma seçenekleri

Geri dönen ürünün durumu, kalitesi ve özellikleri göz önünde bulundurularak çeşitli geri kazanım yöntemlerinden biri gerçekleştirilir. KDTZ'nin esas operasyonu olan geri kazanım süreci için aşada verilen kurtarma seçenekleri tanımlanmaktadır (Seitz, 2005; Varnavas, 2011);

Yeniden kullanım (reuse): Kullanılmış ürünler çalışır durumda iade edilir ve herhangi ek bir işlem gerektirmeden yeniden satılır. Yeniden kullanılan ürünlerin kaliteleri yeni ürünlerden daha düşük olabilir. Ayrıca aynı amaçla kullanılmasının yanı sıra farklı bir alanda da kullanılabilir.

Tamir (repair): Kullanılmış ürüne ait kırık ve/veya bozuk parçaların tamir edilmesi veya değiştirilmesi sonucu ürünün 'çalışma düzenine' döndürülmesidir. Genellikle garanti kapsamında dönen ürünlere uygulanan bir faaliyettir. Yine burada geri kazanılan ürünün kalitesi yeni ürüne oranla daha düşük olabilmektedir.

Yenileme (refurbishing): Kullanılmış ürünlerin parça seviyesine kadar demonte edilerek muayene edilmesi, kırılan modüllerin değiştirilmesi, teknolojik yeniliklerin eklenmesi ve genel bir bakım yapılarak ürünün belirlenen kalite seviyesine getirilmesi işlemidir.

Yeniden üretim (remanufacturing): Kullanılmış ürünler, bileşen düzeyine kadar komple sökme ve kapsamlı inceleme ve kırık/modası geçmiş parçaların değiştirilmesi yoluyla yeni ürünler kadar iyi kalite standartlarına getirilir. Yani, ürünler orijinal kimliklerini korurken

'yeni kadar iyi' bir standarda sahip olur ve diğer kurtarma seçeneklerine kıyasla daha yüksek değer sunar.



Şekil 3.1. Yeniden kullanım ve tamir örnekleri

Üründen parça alma (*cannibalization*): Kullanılmış ürünlerden tamir, yenilenme veya yeniden üretim işlemlerinden herhangi birinde kullanılmak üzere, diğer kurtarma seçeneklerine nazaran nispeten az sayıda parça ve modülün geri kazanılmasıdır.

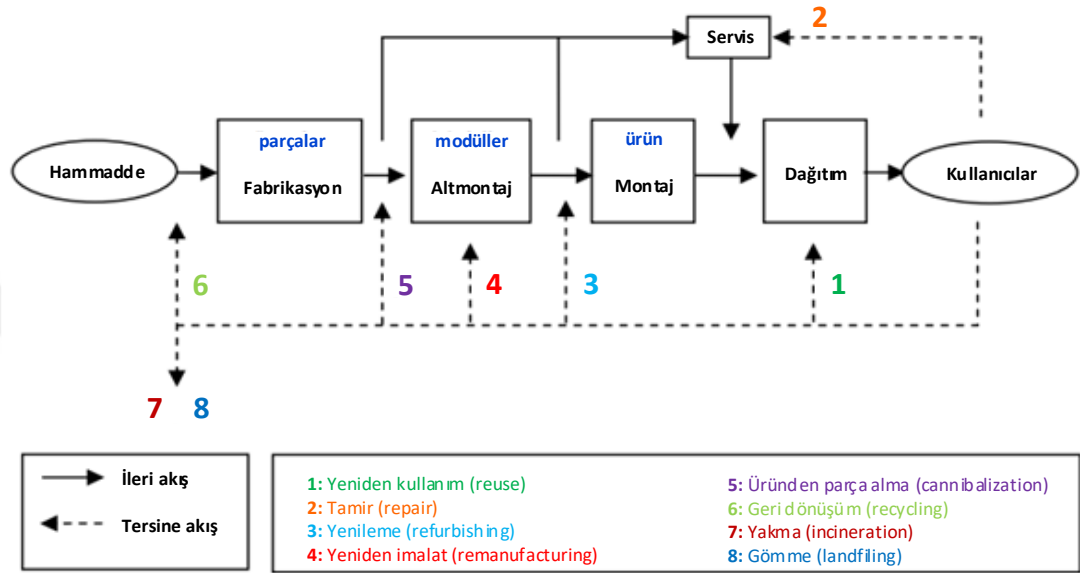
Geri dönüşüm (*recycling*): Kullanılmış ürün ve parçalardan çıkan malzemelerin çeşitli ayrıştırma işlemleriyle hammadde haline dönüştürülerek orijinal veya diğer ürünlerin üretiminde yeniden kullanılmasıdır. Diğer işlemlerin aksine geri dönüşümde ürün ve bileşenlerin özellik ve fonksiyonları kaybolur.



Şekil 3.2. Yenileme ve geri dönüşüm örnekleri

Parlıkad ve ark. (2003) ayrıca bertaraf (yakma, gömme, ...) ve enerji geri kazanımının, yukarıdaki işlemlerle kurtarılamayan parça ve malzemeler için kullanılan diğer işlemler olduğunu belirtmektedir.

Yukarıda açıklanan her bir ürün kurtarma seçeneklerinin döngüde faaliyete girdiği kısım farklılık göstermektedir. Şekil 3.3, ürün değerlendirme işlemlerinin KDTZ'nin hangi aşamasında sürece dâhil edildiğini göstermektedir.



Şekil 3.3. Ürün geri kazanım işlemlerinin ağıdaki yeri (Thierry ve ark., 1995)

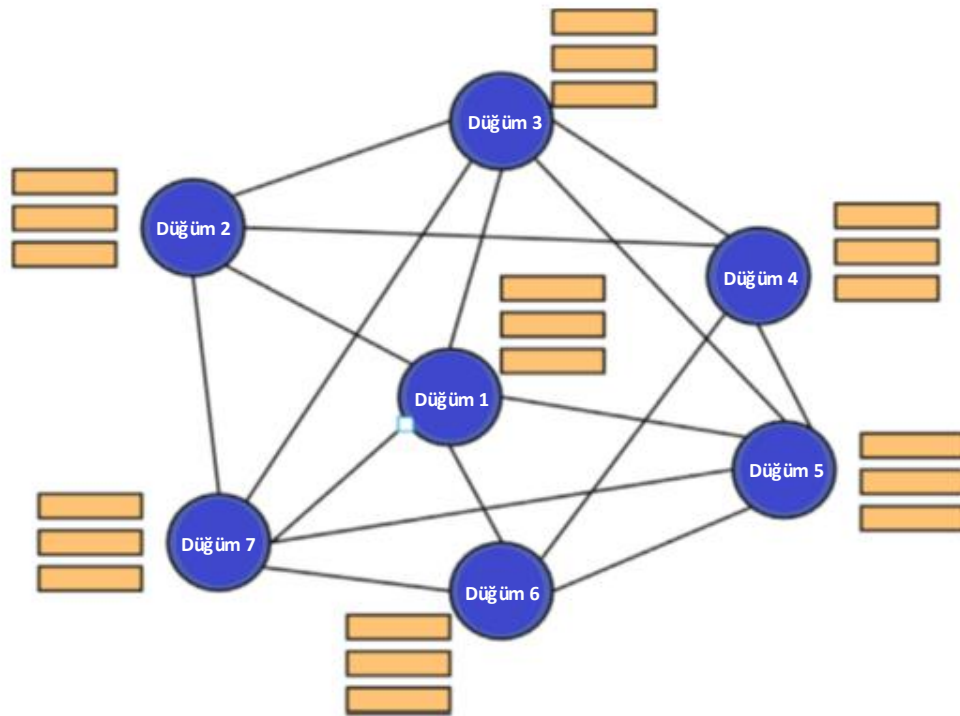
3.2. Blok Zincir Teknolojisi

Dijital bilginin, güvenilmeyen bir iletim kanalı aracılığıyla bir uçtan diğer uca aktığı modern alanda mahremiyet ve gizlilik büyük bir endişe kaynağıdır. Bitcoin'in arkasındaki dijital sistem olan Blok zincir teknolojisi, eşler arası güvenli bir iletişim sağlar. Başlangıçta blok zincir teknolojisi kavramı Bitcoin kripto para biriminden türemiştir, bu kavram daha sonra farklı alanlarda kullanılmıştır. O zamandan beri piyasada 2000'dan fazla kripto para birimi mevcuttur. Bitcoin kullanımı hala dünya çapında çok yaygın olarak mevcut olmasa da kara para aklamayı önleme, yasal ve yasadışı madencilik performansı gibi farklı konular Bitcoin ile ilişkilidir. Bu teknoloji finans, sağlık, IoT, yasal perspektif, hükümet, elektrik şebekesi, ulaşım sistemi, ticaret dünyası, bulut bilişim, E-iş, endüstri, TZY vb. gibi birçok uygulama alanı için yararlıdır ve kullanılmaktadır (Mohanta ve ark., 2019).

Blok zinciri, ağıdaki tüm düğümlere yayılmış (merkezi olmayan) ve ağ katılımcılarının (düğümler) kendileri tarafından doğrulanan ve güvenliği sağlamak için tüm işlemlerle ilgili bilgileri değişmez bir şekilde tutan bir dağıtılmış defter olarak bilinir. Bloklar

kronolojik olarak düzenlenir ve önceki işlem bloğuna yeni bir işlem bağlanır, bu işleme hash denir (Parung, 2019; Júnior ve ark., 2022).

Blok zincir, internet bağlantısı olan herkesin, her yerde kullanabileceği küresel bir veritabanındaki teknolojidir. Bankalar ve hükümetler gibi merkezi taraflara ait olan geleneksel bir veri tabanından farklı olarak, bir blok zincir kimseye ait değildir. Bütün bir ağ onu gözetlerken, sahte belge, işlemler ve diğer bilgilerle sistemi aldatmak neredeyse imkânsızdır. Şekil 3.4'de Blok zincirin temel mimarisini gösterilmektedir. Blok zinciri, bilgileri bir ağ üzerinden düğümler arasında kalıcı olarak depolar. Bu sadece bilgiyi merkezden dağıtmakla kalmaz, aynı zamanda yayar. Ağdaki her düğüm, tüm düğümler arasında tutarlılık sağlamak için periyodik olarak güncellenen blok zincir sisteminin yerel kopyasını saklayabilir. Blok zincir, birbirine güvenmeyen birden fazla düğümün karar verme sürecini yürüten dağıtık bir hesaplama ve bilgi paylaşım platformudur. Merkezi sistemde problem tek bir noktadayken merkezi olmayan bir sistemde, tek başarısızlık noktasının üstesinden gelen birden fazla koordinat noktası vardır. Çünkü dağıtılmış bir ortamda her düğüm toplu olarak işi yürütür. Dağıtılmış bir şekilde bağlı düğüm olarak temsil edilen her kullanıcı düzenli olarak güncellenen blok zincir listesinin bir kopyasını bulundurur. Bir düğüm, bir işlemi başlatmak, doğrulamak veya madencilik yapmak gibi farklı faaliyetler gerçekleştirebilir (Mohanta ve ark., 2019).



Şekil 3.4. Blok zincir mimarisini (Mohanta ve ark., 2019).

3.2.1. Blok zinciri mimarisi

Blok zincir mimarisi, ilgili işlemleri yöneten ve blok zinciri uygulamaları için protokoller oluşturan beş modülden oluşur:

- Veri kaynağı modülü: Dağıtılmış ve paylaşılan veritabanlarında blok zincirinin oluşturulmasına yardımcı olur. Blok zinciri kullanıcıları tarafından alınan verilerin değiştirilmemesini ve bozulmamasını sağlar.
- İşlem modülü: Blok zincirde bir işlemin yolculuğunu izler, yönetir, etkinleştirir ve destekler. İşlemleri paketler ve her düğüme bir blok şeklinde teslim eder. İşlemlerin blok zincirlerde silinmesini veya geri alınmasını engeller.
- Blok oluşturma modülü: Bloklar, madenciler tarafından oluşturulan veri yapılarıdır ve ağın tüm düğümlerine çoğaltılan işlemlerin bilgilerini ve ayrıntılarını içerirler. Bu modül önceki bloğun hash değerlerini ve bağlantılarını sağlayarak mevcut bir zincire yeni blokların eklenmesini sağlar.
- Konsensüs modülü: Verilerin bozulmasını önlemek, tüm işlemleri onaylamak ve doğrulamak için çalışma kanıtı ve durum kanıtı algoritmalarını kullanır. Dağıtılmış ağda veri tutarlılığı, özenle tasarlanmış uzlaşma algoritmaları ile sağlanır. Dağıtılmış fikir birliği (konsensüs), hem işlemlerin geçerliliğinin doğrulanmasına hem de blok zinciri sistemindeki bloklar arasında bağlantı gerçekleştirilmesine yardımcı olur.
- Bağlantı ve arayüz modülü: İşlemlerin takibini yapar ve akıllı sözleşmeler hakkında gerçek zamanlı veri sağlanmasına yardımcı olur. Bu modül, blok zincir uygulamaları için gerekli tüm bilgi teknolojisi platformlarını, algoritmaları ve yazılımları senkronize eder (Dutta ve ark., 2020).

3.2.2. Blok zincirinin özellikleri

Blok zincirini benzersiz ve gelecekteki endüstriyel uygulamalar için umut verici kılan özellikleri şunlardır:

- Merkezi olmamak: Merkezi depolama yoktur. Merkezi olmayan bir karar vermeyi destekler. Sistemdeki verilere birden fazla sistem üzerinden erişilebilir, izlenebilir, saklanabilir ve güncellenebilir.
- Şeffaflık ve görünürlük: Veriler, ağdan gelen mutabakatla ağ üzerinde kaydedilir ve saklanır, ve blok zincirlerdeki tüm düğümlere yayılarak kullanım ömrü boyunca görünür

ve izlenebilir. İşlemler veya kayıtlar gizlenemez, bu da daha fazla güven yaratır ve iş sistemine değer katar.

- Güven ve Güvenlik: İş ortakları birbirlerini tanımadan ticaret yapabilirler. Akıllı sözleşmeler genellikle operasyona dahil olan tüm taraflar için uygulanacak kurallar, cezalar ve eylemler için koşulları içerecek şekilde kodlanır. Akıllı sözleşme, tedarik zincirlerinde hızlı yanıt operasyonlarını destekler. Gelişmiş hesaplama mantığı, kriptografik teknoloji ve dağıtılmış merkezi olmayan ağ, güvenli bir ortam sunar. Ayrıca, yalnızca gizlilik sağlamakla kalmaz, aynı zamanda tüm faaliyetlere özgünlük ve inkar edilemezlik sağlar.
- Değişmezlik: Aynı zamanda çevrilemezlik olarak da bilinir. Veriler blok zincirindeki tüm düğümler tarafından onaylandıktan sonra pek değiştirilemez veya silinemez. Blok zinciri, değişmezliği tespit etmek için zaman damgaları ve kontroller sağlar.
- Geri alınamazlık: Yapılan her işlem için, her blok zincirinde belirli ve doğrulanabilir bir kayıt tutulur.
- Özerklik: Blok zincirindeki her düğüm, üçüncü taraf müdahalesi olmadan verilere güvenli bir şekilde erişebilir, bunları aktarabilir, depolayabilir ve güncelleyebilir.
- Açık kaynak: Blok zinciri, hiyerarşi duygusu ile ağdaki herkese açık kaynak erişimi sağlar.
- Anonimlik: Düğümler arasında veri aktarımı gerçekleştiğinden, bireyin kimliği anonim kalır.
- Sahiplik ve benzersizlik: Blok zincirinde değiş tokuş edilen her belge, sahiplik kayıtlarını benzersiz bir karma kodla saklar.
- Kaynak: Her ürünün blok zincirinde orijinalliğini ve kökenini kanıtlayan bir dijital kayıt belgesi vardır (Dutta ve ark., 2020; Pajila ve ark., 2020; Wang ve ark., 2020).

Yukarıda bahsedilen avantajlı özelliklerine rağmen, blok zincir teknolojisi *ölçeklenebilirlik* ve *enerji tüketimi* olmak üzere iki ana dezavantaja sahiptir. Teknoloji dağıtıldığı ve merkezi olmadığı için, bilgiyi ağdaki tüm düğümler arasında yaymak, bu bilgiyi işlemek ve doğrulamak için gereken süre, düğümlerin sayısına, ağ bant genişliğine ve depolama alanına bağlıdır. Daha fazla teknoloji benimsenmesi ve artan ağ düğümleri, enerji tüketimini artırabilir ve daha fazla depolama alanı gerektirebilir. Blok zincir teknolojisinin, esas olarak farklı aktörlerin dâhil olduğu ve bu aktörlere kendi aralarında güvenin olmadığı senaryolarda katkıda bulunabileceğini vurgulamak önemlidir (Junior ve ark., 2022).

3.2.3. Blok zincir türleri

- Genel: Genel Blok Zinciri, internette herkesin görebildiği defterlere sahiptir. Burada herkes blok zincirini doğrulayabilir ve blok zincirine bir işlem bloğu ekleyebilir (Mohanta ve ark., 2019). Kamusal nitelik, zincire hangi blokların eklendiğini ve mevcut durumunun ne olduğunu belirleme sürecine herkesin özgür ve koşulsuz katılımından kaynaklanmaktadır. Bitcoin ilk merkezi olmayan halka açık defterdir ve 2013-14'ten beri küresel bir statü kazanmıştır (Pilkington, 2015).
- Özel: Özel Blok zincirleri, kuruluştaki yalnızca belirli kişilerin işlem bloğunu doğrulamasına ve eklemesine izin verir, ancak genellikle internetteki herkesin görüntülenmesine izin verilir (Mohanta ve ark., 2019). Tamamen özel bir defterde yazma izinleri, merkezi bir karar verme odağı tarafından izlenir. Okuma izinleri genel veya kısıtlıdır (Pilkington, 2015).
- Konsorsiyum: Burada sadece bir grup kuruluş (bankalar gibi) işlem bloğunu doğrulayabilir ve işlem ekleyebilir, ancak defter istenirse açılabilir veya grup seçmek için kısıtlanabilir (Mohanta ve ark., 2019). İki uç arasında, katı bir kamu/özel ikiliği yerine “kısmen merkezi olmayan” blok zincirlerinden oluşan bir süreklilik vardır. “Konsorsiyum blok zincirleri, düşük güven (kamu blok zincirleri) ve tek-yüksek güvenilen varlık modeli (özel blok zincirleri) arasında bir melez oluşturur (Pilkington, 2015).

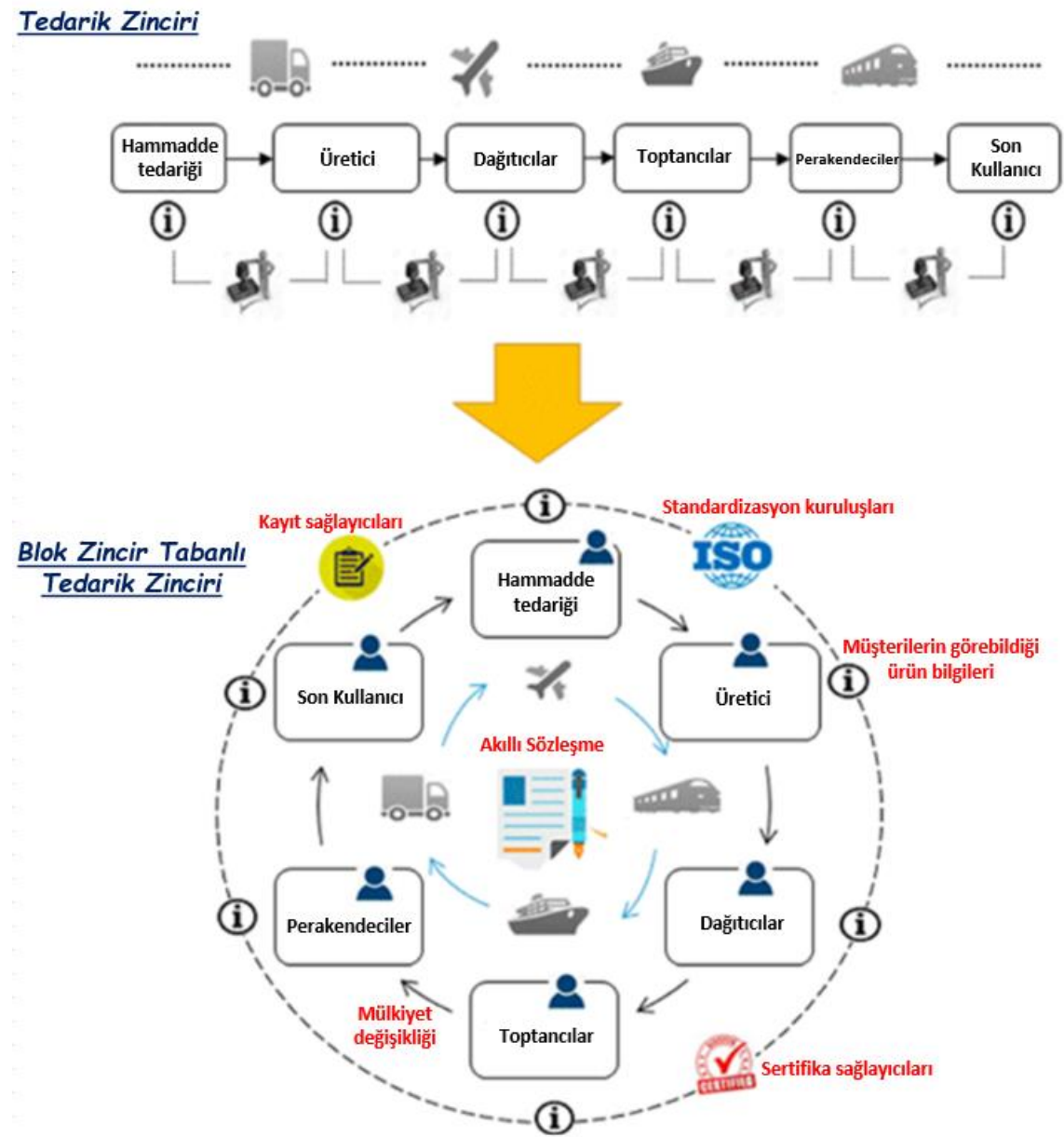
Blok zincir teknolojisi, Endüstri 4.0 çağında önemli bir dağıtılmış güvenli teknolojidir ve hem akademi hem de endüstri alanında büyük ilgi görmüştür. Yalnızca dağıtık uygulamalara dayanan yeni bir internet altyapısı türü değil, aynı zamanda gelecekteki iş için yeni bir paradigma sağlayabilecek yeni bir tedarik zinciri ağı türüdür. Gelişmekte olan bir dijital sistem olarak, bu dağıtılmış teknolojiyle ilgili birçok devrim ve araştırma henüz başlamaktadır.

Şirketler, küreselleşme, daha yüksek müşteri beklentisi, pazar rekabeti, tedarik zinciri karmaşıklığı ve değişkenlik nedeniyle artan belirsizlik, zorluklar ve kısıtlamalarla karşı karşıyadır; bunlar, tedarik zinciri içinde veya tedarik zincirleri arasında koordinasyon, işbirliği ve bilgi teknolojisi ihtiyaçlarını gerektirir (Wang ve ark., 2020).

Blok zincirleri, potansiyel olarak, tedarik zincirlerinin tasarımı, organizasyonu, operasyonları ve genel yönetimi için etkileyici bir teknolojidir (Saberri ve ark., 2019).

3.2.4. Blok zincir tabanlı tedarik zinciri

Tedarik zinciri bağlamında blok zincirinin nasıl işlediği hala yoruma ve geliştirmeye açıktır. Herkese açık olabilen bitcoin ve diğer finansal blok zinciri uygulamalarından farklı olarak; blok zinciri tabanlı tedarik zinciri ağları, birden fazla, sınırlı oyuncu ile kapalı, özel, izinli bir blok zinciri gerektirebilir. Gizlilik seviyesi belirleme ilk kararlardan biridir. Şekil 3.5, blok zincir tabanlı bir tedarik zincirine geleneksel bir tedarik zinciri dönüşümünün genel bir grafiğini göstermektedir (Saber ve ark., 2019).



Şekil 3.5. Tedarik zinciri dönüşümü (Saber ve ark., 2019)

Blok zinciri tabanlı tedarik zincirlerinde dört ana varlık rol oynamaktadır;

Ağdaki aktörlere benzersiz kimlikler sağlayan *Kayıt Sağlayıcıları*, Sürdürülebilir tedarik zincirleri için adil ticaret veya blok zinciri politikaları ve teknolojik gereksinimler gibi standardizasyon şemalarını tanımlayan *Standardizasyon Kuruluşları*, Tedarik zinciri ağı katılımı için aktörlere sertifika sağlayan *Sertifika Sağlayıcıları*, Sistem güvenini sürdürmek için kayıtlı bir denetçi veya onaylayıcı tarafından sertifikalandırılması gereken üreticiler, perakendeciler ve müşteriler dâhil olmak üzere *Aktörler*.

Tedarik zincirindeki her ürün, ilgili tüm aktörlerin doğrudan ürün profili erişimine sahip olabilmesi için dijital bir blok zinciri varlığına sahip olabilir. Yalnızca doğru dijital anahtarlarla sahip tarafların bir ürüne erişimi olması istenen durumlarda, erişimi sınırlamak için güvenlik önlemleri alınabilir. Ürünün türü, durumu ve standartları gibi bir dizi veri toplamak mümkündür. Bir ürüne eklenen bilgi etiketi, fiziksel ürünleri blok zincirindeki sanal kimliklerine bağlayan bir tanımlayıcıyı temsil eder. Bu ürünün profiline yeni bilgiler girmek veya başka bir tarafla ticaret başlatmak için aktörlerin izin alması önemli bir kuraldır. Bir ürün başka bir aktöre transfer edilmeden (veya satılmadan) önce her iki taraf da değişimi doğrulamak için dijital bir sözleşme imzalayabilir veya bir akıllı sözleşme gereksinimini karşılayabilir. Değişiklik başlatıldığında veri işlemlerinin kayıtları sistem tarafından otomatik olarak güncellenir.

Blok zinciri teknolojisi, tür (ne olduğu), miktar (ne kadar olduğu), kalite (nasıl olduğu), konum (nerede olduğu) ve mülkiyet (her an kime ait olduğu) olmak üzere en az beş temel ürün boyutunun üzerinde durabilir ve detaylandırabilir. Bu şekilde blok zinciri, bu sistemi işleten ve sürdüren güvenilir bir merkezi kuruluşa olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve müşterilerin kesintisiz gözetimine ve hammadeden son satışa kadar olan işlemleri incelemesine olanak tanır. Bu bilgiler ve işlemler, çoklu blok zincir defterlerine kaydedilir ve güncellemeler ile doğrulanabilir.

Blok zinciri tabanlı bir tedarik zincirindeki akıllı sözleşme yönetimi ve süreç kuralları; aktör sertifikasyonunu, onayını ve hangi süreçlere erişmelerine izin verildiğini yönetebilir. Aktörler, bir tür fikir birliği süreci olmadan kuralları değiştiremezler.

Blok zincir, hem tedarik zinciri süreci ve ürün yönetimini hem de farklı ağ aktörleri arasındaki finansal işlemleri etkilemektedir. Ödeme ağları, para transfer hizmetleri ve borsalar dâhil olmak üzere finansal araçların aracılığını ortadan kaldırarak önemli bir potansiyel avantaj sağlar. Böylece ortaklar arasındaki ticaret süreçlerini daha verimli hale getirerek milyonlarca dolar tasarrufta bulunur (Saber ve ark., 2019). Çizelge 3.1, tedarik zincirlerinde blok zincir uygulamasının bazı faydalarını göstermektedir.

Çizelge 3.1. Tedarik zincirlerinde blok zinciri uygulamasının faydaları (Dutta ve ark., 2020)

Faydaları	Detaylar
Veri yönetimi	- Farklı tedarik zincirlerinde bulunan verilerin kalibrasyonunu sağlar. - Depolanan verilerin güvenliğini artırır. - Tüm bilgilerin gerçek zamanlı yakalanmasını sağlar.
Akıllı sözleşme yönetimi	- Her fonksiyon için özelleştirilmiş ve bireysel sözleşmeler tanımlanabilir ve birbirleriyle koordine edilebilir. - İş operasyonları için süreç tasarımına yardımcı olur. - Görünürlüğü artırır ve aracı ihtiyacını ortadan kaldırır.
Fikri Mülkiyet yönetimi	- Fikri Mülkiyetin korunması ve tescilini gerçekleştirir.
Şeffaflığı artırma	- Bir işlem sırasında ögenin durumunu izlemeye yardımcı olur. - Veri analizi faaliyetlerini otomatikleştirir. - Hiyerarşi üzerinden izin düzeyine dayalı uçtan uca şeffaflık sağlar.
Yanıt süresini iyileştirme	- Kaynaklarını daha iyi kullanarak dinamik ve gerçek zamanlı tedarik zincirleri oluşturur.
Aracısız ortam yaratma	- Kesintisiz bir işlem zincirine yol açar. - Hızı artırır. - Sürecin paydaşları arasında güveni artırır.
Operasyonel verimlilik	- Tedarik zinciri sürecinin uçtan uca hızını iyileştirir. - Süreci sağlam kılmak için başlangıçta hataları ve sorunları tanımlar.
Değişmezlik	- Tüm değişiklikler için fikir birliği mekanizması oluşturur. - Tüm işlemlerin güvenliğini sağlar.

3.3. Rekabetçi Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Problemleri

Tedarik zincirleri günümüz pazarlarının en önemli parçalarından biridir (Rezapour, 2013). Son birkaç yılda, ekonomik, teknoloji ve piyasa güçlerinin birleşimi, kuruluşları tedarik zinciri stratejilerini incelemeye ve yeniden düşünmeye zorladı. Bu güçlerden bazıları, iş dünyasının küreselleşmesi, ürün çeşitliliğinin artması, tedarik zinciri ağlarının karmaşıklığının artması ve ürün yaşam döngülerinin kısılmasıdır (Kodali ve Routroy, 2006). Günümüzün rekabetçi pazarlarında, tedarik zincirleri birkaç rekabetçi şirket tarafından oluşturulmakta ve pazarlarda rakip şirketler veya diğer tedarik zincirleri gibi birçok rakibin varlığında çalışmaktadır. Böyle bir ortamda, tedarik zincirleri içinde ve arasında farklı rekabet biçimleri mevcuttur (Rezapour, 2013). Kuruluşlar, rekabetçi kalabilmek için “rekabetçi tedarik zinciri” adı verilen bir yaklaşımla tedarik zinciri ortakları arasında daha fazla koordinasyon ve işbirliği sağlamaya çalışmıştır (Kodali ve Routroy, 2006).

Günümüzde, çok sayıda rakibin daha düşük perakende fiyatları, daha yüksek hizmet seviyeleri, daha yüksek kaliteler, daha yakın perakende tesisleri, yüksek kaliteli tedarik tesisleri vb. sağlayarak şiddetle daha büyük pazar payları elde etmeye çalıştığı artan sayıda endüstri bulunmaktadır (Rezapour, 2013). Fonksiyonel ürünler, tuvalet malzemeleri, yiyecek ve içecekler gibi günlük ihtiyaçlar için gerekli olan ve nispeten istikrarlı bir şekilde sürekli olarak tüketilen öğeleri ifade eder; yenilikçi ürünler ise otomotiv ve akıllı telefonlar gibi inovasyon konusunda rekabet eden ürünleri temsil ediyor. Fonksiyonel ürün tedarik

zincirleri, ürün oldukça ikame edilebilir olduğundan ve tüketicilerin günlük ihtiyaçlarının bir parçası olduğundan, piyasada stok bulunabilirliği konusunda rekabet eder. Yenilikçi ürün tedarik zincirleri ise, otomobil, akıllı telefonlar ve markalı moda gibi birincil olmayan ihtiyaçlar için müşterilerin isteklerini karşılamak için inovasyonla mücadele etmektedir (Arvitrida, 2017).

Örneğin yüksek teknoloji ürünler pazarında, önemli yazılım tedarikçilerinden ikisi olan Microsoft ile Symbian ve önemli cihaz üreticilerinden ikisi olan HTC ile Nokia, son zamanlarda rekabet özelliklerini geliştirmek için birbirleriyle bireysel firmalar yerine tedarik zincirleri şeklinde rekabet etmeye karar vererek pazarda Microsoft'tan oluşan bir zincir; HTC, Symbian ve Nokia'dan oluşan başka bir zincirle rekabet etmeye başlamıştır (Rezapour, 2013; Farahani ve ark., 2014). Yani TZY'nde rekabet artık daha iyi kâr ve pazar payı elde etmek için şirketler arasında değil tedarik zincirleri arasında gerçekleşmektedir. Yine, Benetton ve Zara'nın tedarik zincirleri ürün tasarımı inovasyonunu son tüketiciye ulaştırmak açısından pazara sunma sürelerini hızlandırma yönüyle birbirleriyle rekabet etmektedir. Bununla birlikte, bir firmanın hedefini tedarik zincirinin hedefine kaydırmak çoğu firma için hala önemli bir sorundur. Ayrıca gerçekte firma ilişkileri, çoğunlukla TZY'nde varsayıldığı gibi, tek bir tedarik zinciri kadar basit değildir; aslında, gerçek tedarik zincirleri çok daha karmaşık birer ağdır. Bunun yanında, aynı tedarik zinciri içindeki bireysel firmalar arasında rekabet de piyasada hala mevcuttur. Her firmanın, herhangi bir firmanın hedefine ulaşmasında bir kısıtlama yaratan çelişkili etkileşimleri vardır. Her firma karını maksimize etmek isterken sınırlı kaynaklara sahip olduğundan bu etkileşim kaçınılmazdır. Bu, alıcı ve tedarikçi arasındaki koordinasyonun kalitesini arttırdığı için rekabetin üretici için bir taraftan avantajlı olabileceği anlamına da gelmektedir (Arvitrida, 2017).

“Dinamik” ve “ rekabet” terimleri genellikle profesyoneller tarafından günümüz piyasalarının özelliklerini açıklamak için kullanılır (Rezapour, 2013). Sosyal bilimlerde, özellikle stratejik yönetim alanında, rekabetin, kurumsal başarıyı destekleyerek daha iyi bir şirket karlılığına yol açan yeniliği geliştirdiği öne sürülür. Ekonomistlerin bakış açısından rekabet, müşteriye daha iyi değer sağlayabilir ve üretici için toplam üretim maliyetlerini azaltabilir şeklinde ifade edilir. (Arvitrida, 2017).

Herhangi bir endüstri veya pazarın rekabet edebilirlik derecesi iki önemli faktöre bağlıdır (Rezapour, 2013; Farahani ve ark., 2014):

- Müşterilerin talebini yakalamak isteyen rakiplerin sayısı.
- Yeni bir rakibin uzun vadede pazar payına girmesi ve bunu sürdürmesinin kolaylığı ve zorluğu.

Piyasalarda rekabet türü çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Piyasanın *tekel* olduğu bir pazarda, piyasaya yalnızca bir sektör hâkimdir ve fiyatları kendisi belirlemektedir (rekabet yoktur). Bu rekabet türünün olduğu durumlarda, genellikle hükümet tarafından bazı düzenlemeler uygulanmaktadır. *Tam veya saf rekabetin* olduğu diğer tarafta ise piyasa oldukça rekabetçidir ve bu tür bir pazarda, fiyat üzerinde çok az kontrolü olan veya hiç kontrolü olmayan birçok rakip bulunmaktadır. *Tam rekabet* piyasasının detay varsayımları aşağıdaki gibidir (Rezapour, 2013; Farahani ve ark., 2014):

- Bu rekabette çok sayıda rakip vardır ve her rakibin genel pazara göre önemsiz bir pazar payı vardır. Dolayısıyla fiyat alıcı bir rakip, kendi arzındaki bir değişiklikle ürünün piyasadaki fiyatını etkileyemez.
- Tüm rakipler, benzer veya tamamen ikame edilebilir ürünleri piyasaya arz etmektedir. Pazarın müşterileri onları özdeş olarak algılar.
- Piyasanın müşterileri, piyasanın rekabetçi tedarikçileri hakkında eksiksiz bilgiye sahiptir. Örneğin, rakiplerinin ürünleri için talep ettiği fiyatları bilmektedirler.
- Piyasadaki tüm rakiplerin kaynaklara, teknolojiye, bilime vb. eşit erişime sahip olduğu varsayılmıştır. Herhangi bir teknoloji gelişimi, pazardaki tüm rakiplere yayılabilir.
- Piyasa her yeni rakibe açıktır ve uzun vadede piyasadan çıkmak için herhangi bir engel yoktur. Bu özellik, uzun vadede rakiplerin kârını etkiler.
- İmalat ve tüketim kısımlarında herhangi bir dışsallık yoktur. Dolayısıyla özel ve sosyal maliyetler arasında bir fark yoktur.

Bu varsayımlardan herhangi birinden vazgeçildiğinde, eksik rekabet türü ile karşı karşıya kalınır. Bu aralık içinde, *oligopol* ve *duopol* piyasalar mevcuttur. Bir oligopol piyasasında, birkaç rakip pazarın büyük kısmına hakimdir ve sektör, bankacılık veya sigorta piyasaları gibi oldukça yoğunlaşmıştır. Oligopol piyasası en yaygın piyasa türüdür. Bu pazarlardaki rakipler benzer veya yüksek oranda ikame edilebilir ürünler satarlar. Genellikle bu tür pazarlara girmek için bazı önemli engeller vardır.

Bir duopol piyasasında, piyasada birkaç küçük rakip olabilirken, asıl iki ana rakip piyasayı kontrol eder. Örneğin, uçak endüstrisinde Airbus ve Boeing olmak üzere iki ana oyuncu vardır. Günümüzün şiddetli rekabet piyasaları, şirketleri, benzersiz markalara sahip bağımsız firmalar yerine, zincirlerin ayrılmaz bir parçası olarak rekabet etmeye zorlamaktadır. Firmaların zincir halinde çalışması da, içinden verimli ürün akışı olan bir ağ yapısını gerektirir (Rezapour, 2013; Farahani ve ark., 2014).

Taylor (2003)'e göre, 21. yüzyılda üstün bir ürünü üretmede ve/veya satmada en iyi olmak artık yeterli değildir. Artık başarı, geleneksel ticaret ilişkilerinin kazanç/kayıp

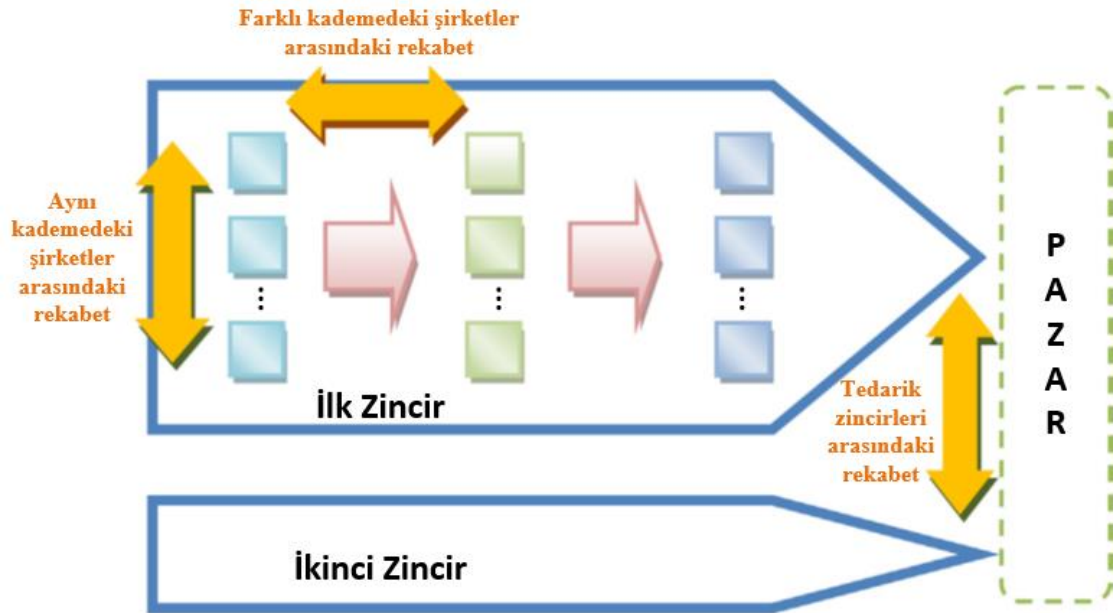
müzakerelerinin üzerine çıkabilen ve en iyi ürünleri en iyi fiyata sunmak için birlikte çalışabilen bir şirketler ekibinin kurulmasına bağlıdır. Üretimde mükemmellik, daha büyük tedarik zinciri rekabet oyununda bir oyuncu olmak için sadece giriş ücretidir.

Yukarıda bahsedilenlere göre, tedarik zincirleri arasındaki ve içindeki rekabet, geleceğin pazarlarının en önemli özelliğidir (Rezapour, 2013).

Tedarik Zincirleri arasındaki rekabet (Farahani ve ark., 2014)

Literatürde tedarik zincirleri alanında üç tür rekabet tartışılmaktadır (Şekil 3.6):

- Tek bir tedarik zincirlerinde aynı kademedeki şirketler arasındaki rekabet
- Tek bir tedarik zincirlerinin farklı kademelerinde şirketler arasında rekabet
- Tedarik zincirleri arasındaki rekabet



Şekil 3.6. Tedarik zinciri alanındaki farklı rekabetler (Farahani ve ark., 2014)

3.3.1. Rekabetçi özelliklerin sınıflandırılması

Rekabetçi özellikler birçok yönden farklıdır. Bazıları, perakendeciler tarafından sağlanan hizmetlerin mesafesi, büyüklüğü, kapasitesi ve kalitesi gibi değiştirilmesi zor ve maliyetli olan uzun vadeli. Tedarik zinciri ağ tasarımı aşamasının temel kaygıları olan stratejik kararlarla daha çok ilişkilidirler. Fiyat ve hizmet düzeyi gibi diğer özellikler daha esnek ve pazardaki değişikliklere ve diğer rakiplerin özelliklerine göre belirlenebilir. Bunlar daha çok operasyonel kararlarla ilgilidir. Bir tedarik zincirinin genel yapısı, fiyatlandırma ve hizmet seviyesi gibi gelecekteki operasyonel kararları etkileyeceğinden, tedarik zinciri ağ yapısını tasarlarken hem stratejik hem de operasyonel rekabet özellikleri

dikkate alınmalıdır. Tedarik zinciri ağ yapısı, zincirin stratejik ve operasyonel rekabetçi özelliklerini doğrudan ve dolaylı olarak etkiler. Bir pazardaki farklı rakiplerin rekabet özelliklerini etkileyen birçok rekabet türü vardır (Şekil 3.7) (Farahani ve ark., 2014).

3.3.1.1. Statik rekabet

Statik rekabetin temel varsayımı, pazarın önceden var olan rekabet özelliklerinin yeni bir rakibin girmesiyle değişmeyeceğidir. Dolayısıyla karar değişkenleri stratejik kararlardır. Bu rekabet faktörleri stratejik kararlarla belirlendiğinden tedarik zinciri ağ tasarımı modellerinde statik rekabet dikkate alınmaktadır. Statik rekabeti tartışan neredeyse tüm makalelerde, stratejik kararlar tesis konumu, tesis kapasitesi vb. ile ilgilidir. Rekabetçi tesis yerleşimi problemlerinde tesislerin rekabetçi bir ortamda yeri araştırılır. Amaç, hâlihazırda birkaç rakibin bulunduğu bir pazarda bazı rakip perakende satış noktalarının yerini bulmaktır ve bu problemler öncelikle matematiksel modeller olarak formüle edilir (Farahani ve ark., 2014).

3.3.1.2. Dinamik rekabet

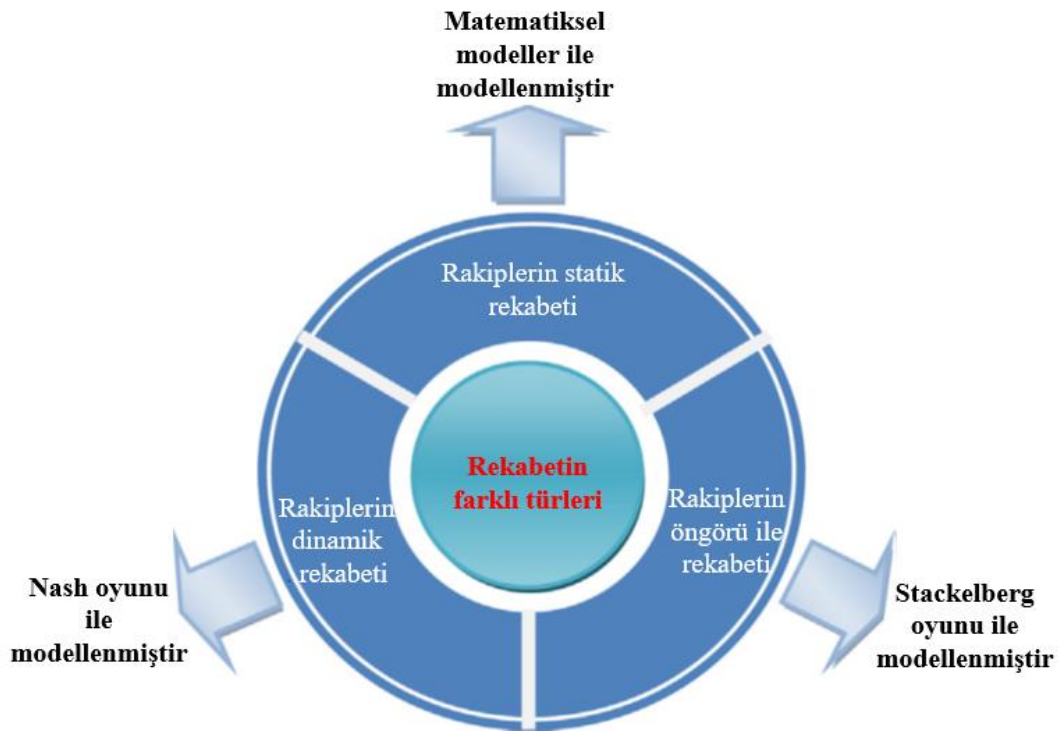
Dinamik rekabette temel varsayım, mevcut rakiplerin rekabet özelliklerinin yeni rakibin piyasaya girmesini takiben değişebileceğidir. Sonuç olarak, bu özellikler fiyatlandırma ve uygun hizmet seviyelerinin belirlenmesi gibi operasyonel kararlarla ilgilidir. Dinamik rekabet genellikle, rakiplerin aynı anda rekabet özelliklerini belirledikleri Nash dengesi tarafından modellenir.

Ağ tasarım aşaması daha stratejik kararlarla ilgilense de, optimal ağ, hem stratejik hem de operasyonel faktörlerin dikkate alındığı bir ağdır. Gelecekteki operasyonel rekabet faktörleri ve dolayısıyla tedarik zincirinin beklenen geliri, rakiplerin pazardaki dinamik rekabetinin gelecekteki sonuçları ile birlikte tedarik zinciri ağ tasarımı aşamasında dikkate alınmalıdır (Farahani ve ark., 2014).

3.3.1.3. Öngörülü rekabet

Öngörülü rekabette temel varsayım, lider olan bir rakibin pazara girişinden sonra takipçi bir rakibin ardından pazara gireceğidir. Liderin kararları, takipçinin eylemlerine dayanır. Bu modellerde gelecekteki rekabetin olası etkisi dikkate alınmalıdır. Örneğin takipçi ağının kurulmasının ardından mevcut rakipler tesislerinin özelliklerini değiştirerek takipçinin bazı müşterilerini kaybetmesine neden olabilir. Bu nedenle lider, takipçinin girişini takiben pazar payını en üst seviyeye çıkarmak üzere gelecekteki rakibinin mantıksal

davranışını analiz etmelidir. Bu tür problemlerin formülasyonu, genellikle iki veya çok seviyeli programlama modelleri ile formüle edilen Stackelberg oyunlarına yol açar. Stackelberg oyunlarında kararların sırası önemlidir, ancak operasyonel kararların aynı anda alındığı varsayılır. Öngörülü Rekabetçi tesis yerleşimi problemleri oldukça yaygın bir durumdur. Ancak çok seviyeli modelleri çözmenin zorluğu nedeniyle bu alanda az sayıda çalışma bulunmaktadır (Farahani ve ark., 2014).



Şekil 3.7. Rekabetin farklı türleri (Farahani ve ark., 2014)

KDTZ'ler bugünün ve geleceğin pazarlarının önde gelen varlıklarıdır. Bu nedenle, yeni tedarik zincirleri tasarlamının tüm aşamalarında rekabet gücü dikkate alınmalıdır. Bir zincirin fiziksel ağ yapısını tasarlamaya tedarik zinciri ağ tasarımı denir. Bir tedarik zinciri yapısı; genel performansı, esnekliği, maliyetleri ve rekabet gücü üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle de tedarik zinciri ağ tasarımı zincirin gelecekteki tüm taktik ve operasyonel kararlarını etkileyen yeni bir zincir tasarlamının en önemli aşamalarından biri olarak kabul edilir. Simchi-Levi ve ark. (2004) de tedarik zinciri ağ tasarımını zincirlerin tüm maliyetlerini azaltmak (karlarını artırmak) için birincil ve en önemli adım olarak görmektedir. Bir zincirin ağ yapısını tasarlarken, gelecekteki rekabet gücünü artırmak için rekabetçi piyasaların etkisini dikkate almaya “rekabetçi tedarik zinciri ağ tasarımı” denir.

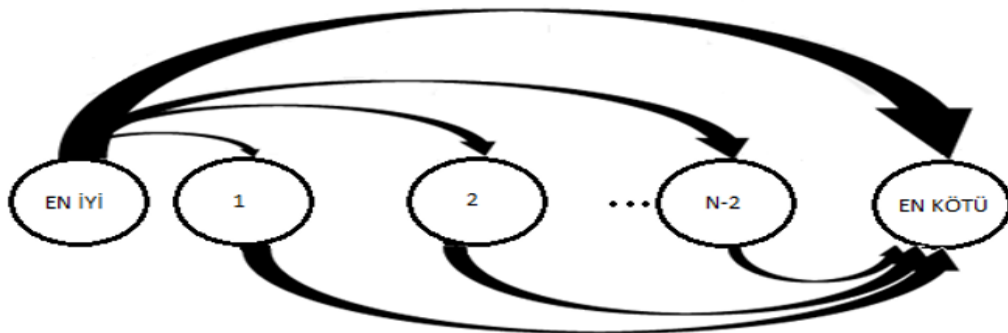
Günümüzün son derece rekabetçi pazarlarında, rekabetçi tedarik zinciri ağı tasarlamak, başarılı tedarik zincirlere sahip olmanın vazgeçilmez koşuludur (Farahani ve ark., 2014).

Bu bağlamda bizde tez çalışmasının ikinci kısmında, ÇSR-KDTZ yönetiminde ağ tasarımı ve optimizasyonu problemi üzerine çalışarak tüm karar vericilerin amaçlarını optimize etme üzerine rekabetçi davranışlarını inceledik ve uygun çözüm yöntemleri ile tüm karar vericileri eş zamanlı memnun etmeyi amaçladık.

3.4. En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method)

En İyi- En Kötü Yöntemi (BWM), 2015 yılında Jafar Rezaei tarafından geliştirilen yeni bir ÇKKV yöntemidir. BWM, iş, sağlık, mühendislik, tarım ve ekonomi gibi çeşitli karar verme alanlarında, prensip olarak amacın bir dizi potansiyel alternatif arasından tek bir alternatif seçmek ve derecelendirmek olduğu her yerde kullanılabilir. Tek karar verici veya karar vericiler grubu tarafından kullanılabilir. Mevcut ÇKKV yöntemlerine nazaran daha az karşılaştırma verisi gerektirir; daha tutarlı karşılaştırmalar, daha güvenilir sonuçlar üretir (Rezaei, 2015).

BWM'ye göre, karar veren tarafından ilk önce en iyi (örneğin en çok istenen, en önemli) ve en kötü (örneğin en az istenen, en az önemli) kriterler belirlenir. Daha sonra bu iki kriterden her biri (en iyi ve en kötü) ve kalan diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır. Bir maximin problemi, farklı kriterlerin ağırlığını belirlemek için doğrusal programlama şeklinde formüle edilir ve çözülür. Farklı kriterlere göre alternatiflerin ağırlıkları aynı süreçten elde edilir. Alternatiflerin son puanları, en iyi alternatifin seçildiği farklı kriterler ve alternatifler arasından ağırlıkların toplanmasıyla elde edilir. Karşılaştırmaların güvenilirliğini kontrol etmek için BWM için bir tutarlılık oranı geliştirilmiştir. İlk önerilen BWM yöntemi non-lineer bir model içermektedir (Rezaei, 2015). Sonraki versiyonu ise doğrusallaştırılmıştır (Rezaei, 2016).



Şekil 3.8. BMW referans karşılaştırma (Rezaei, 2015)

3.4.1. En iyi en kötü yöntemin adımları

En iyi-En kötü metodu altı adımda gerçekleşmektedir.

Adım 1. Bir dizi karar kriteri $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ belirlenir.

Adım 2. N adet kriter arasından en iyi (en önemli, en çok istenen) ve en kötü (en önemsiz, en az istenen), kriterler belirlenir.

Adım 3. Belirlenen en iyi kriterin diğer kriterlere göre tercihi 1 ile 9 arasında bir sayı kullanılarak belirlenir. Eşit öneme sahip olması 1 ile, çok önemli olması ise 9 ile belirtilmektedir.

Diğerlerine karşı en iyi kriter vektörü (BO): $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$, burada a_{Bj} , kriter C_j üzerinde en iyi kriter C_b 'nin tercihini belirtir. $a_{BB} = 1$ dir.

Adım4. Bu aşamada ise diğer kriterlerin en kötü kritere tercihi 1 ile 9 arasında bir sayı kullanılarak belirlenir.

En kötü kritere karşı diğerleri vektörü (OW): $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$, burada a_{jW} , kriter C_j 'nin en kötü kriter C_W üzerindeki tercihini belirtir. $a_{WW} = 1$ dir.

Adım 5. Optimum ağırlıklar bulunur ($w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$), burada w_j , C_j kriterinin optimal ağırlığını gösterir. Her bir w_B/w_j ve w_j/w_W çifti için $w_B/w_j = a_{Bj}$ ve $w_j/w_W = a_{jW}$ dir.

Tüm kriterler için bu şartları yerine getirmek için, maksimum mutlak farklılıkların minimize edildiği bir çözüm bulunmalıdır; $|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}| \quad |\frac{w_j}{w_W} - a_{jW}|$.

Ağırlıkların negatif olmamasına ve toplam koşuluna bakıldığında, aşağıdaki model ortaya çıkmaktadır (Rezaei, 2015):

$$\begin{aligned} \min \max \{ & |w_B - w_j a_{Bj}|, |w_j - w_W a_{jW}| \} \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Model (3.1) doğrusal hale aşağıdaki gibi çevrilmiştir (Rezaei, 2016):

$$\begin{aligned} \min \xi \\ & |w_B - w_j a_{Bj}| \leq \xi \\ & |w_j - w_W a_{jW}| \leq \xi \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Modelin (3.2)'nin çözümü ile w_j kriter ağırlıkları ve ξ tutarlılık indeksi elde edilir. Bu model için ξ doğrudan karşılaştırmaların tutarlılığı için bir gösterge olarak kabul edilebilir. Sıfıra yakın ξ değerleri yüksek düzeyde tutarlılık gösterir.

3.4.2. En iyi en kötü yöntemin tutarlılık oranı

Tüm kriterler için $a_{Bj} * a_{jW} = a_{BW}$ olduğunda yapılan karşılaştırma tamamen tutarlıdır. Bununla birlikte, karşılaştırmaların tam olarak tutarlı olmaması durumunda aşağıdaki eşitsizlik geçerlidir:

$$a_{Bj} * a_{jW} \neq a_{BW} \quad (3.3)$$

ζ , Eşitlik (3)'ün a_{Bj} ve a_{jW} 'sundan sırasıyla çıkarılması gereken ve Eşitlik (3.3)'ün en yüksek eşitsizliğini elde etmek için Eşitlik (3.3)'ün a_{BW} 'suna eklenmesi gereken bir değer olsun. Böylece, aşağıdaki formülasyon elde edilir;

$$(a_{Bj} - \zeta) * (a_{jW} - \zeta) = a_{BW} + \zeta \quad (3.4)$$

Minimum tutarlılık için $a_{Bj} = a_{jW} = a_{BW}$ iken;

$$(a_{BW} - \zeta) * (a_{BW} - \zeta) = a_{BW} + \zeta \quad (3.5)$$

Yani;

$$\zeta^2 - (1 + 2a_{BW})\zeta + (a_{BW}^2 - a_{BW}) = 0 \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.6) çözüldüğünde a_{BW} 'nin farklı değerleri için, $\max \zeta$ elde edilir, burada $\max \zeta$, Çizelge 3.2'de gösterildiği gibi tutarlılık indeksi (CI) olarak kabul edilir. Tutarlılık oranı (CR) aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$CR = \xi^* / \zeta \quad (3.7)$$

Burada ξ^* , Model (3.2) çözümlenerek elde edilir ve $\max \zeta$ yani CI, Çizelge 3.2'de gösterildiği gibidir (Rezaei, 2015).

Çizelge 3.2. Tutarlılık indeksi (CI) (Rezaei, 2015)

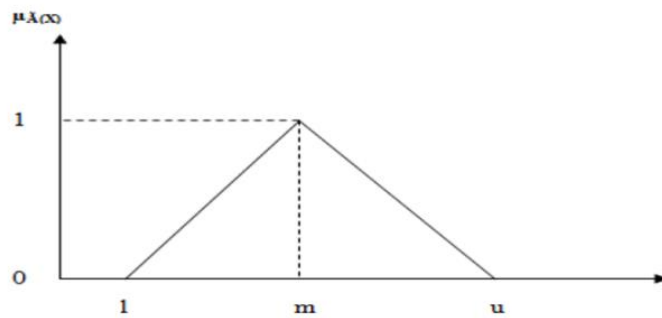
a_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$CI (\max \zeta)$	0	0.44	1	1.63	2.30	3	3.73	4.47	5.23

3.5. Bulanık En İyi En Kötü Yöntemi

Bu bölümde, öncelikle bulanık kavramın ön hazırlıkları kısaca tanıtılacak sonrasında Dong ve ark. (2021) tarafından önerilen üçgen bulanık sayılara dayalı Bulanık En İyi-En Kötü Yöntemi (Fuzzy Best-Worst Method – FBWM) ayrıntılı olarak sunulacaktır.

Bulanık küme teorisi: Bulanık kümeler, insan düşüncesinin esasen bulanık olduğunu belirten L. A. Zadeh (1965) tarafından yorumlandı. Bulanık küme teorisi, karar vericilerin yargıları gibi belirsiz ve muğlak bilgilere dayalı karar verme süreçlerini modellemek için kullanılmıştır (Zadeh, 1965; Lima Junior ve ark., 2014).

Üçgen bulanık sayılar: Bir bulanık küme, üyelik fonksiyonu ile tanımlanır ve tüm elemanları 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine sahiptir (Zadeh, 1965). Şekil 3.9'de üçgen bulanık bir sayı gösterilmektedir. Üçgen bulanık sayı (l, m, u) şeklinde gösterilmektedir ve $l < m < u$ 'dur (Lima Junior ve ark., 2014; Kargi, 2016).



Şekil 3.9. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu ve elemanları aşağıdaki gibi temsil edilir:

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < l, \\ \frac{x-l}{m-l} & \text{for } l \leq x \leq m, \\ \frac{u-x}{u-m} & \text{for } m \leq x \leq u, \\ 0 & \text{for } x > u, \end{cases} \quad (3.8)$$

Üçgen bulanık sayılarda aritmetik işlemler: Bulanık sayılar üzerinde aritmetik işlemler, aralık aritmetik işlemler, yaklaşık aritmetik işlemler, güven aralıklı aritmetik işlemler veya bulanık sayı tipine göre değişen üyelik işlevli aritmetik işlemler gibi farklı tekniklerle yapılabilir. Bu bölümde üçgen bulanık sayılar üzerinde yaklaşık sonuç veren aritmetik işlemler sunulmuştur.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ olmak üzere iki üçgen bulanık sayı olsun.

Eşitlik: A ve B bulanık sayıların eşitliği, tüm karşılıklı öğelerin (üyelik fonksiyonları) eşitliği anlamına gelir. Matematiksel olarak;

$$\tilde{A} = \tilde{B} \Leftrightarrow (a_1, a_2, a_3) = (b_1, b_2, b_3) \Leftrightarrow a_1 = b_1, a_2 = b_2, a_3 = b_3$$

Toplama: $\tilde{A} (+)\tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine üçgen bulanık bir sayıdır.

Çıkarma: $\tilde{A} (-)\tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)$ olarak ifade edilir ve sonuç yine üçgen bulanık bir sayıdır.

Simetrik: $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ üçgen bulanık sayısının simetrisi $-(\tilde{A}) = (-a_3, -a_2, -a_1)$ olacaktır.

Çarpma: $\tilde{A} (\times)\tilde{B} = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3)$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine üçgen bulanık bir sayıdır.

Bölme: $\tilde{A} (/)\tilde{B} = (\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1})$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine üçgen bulanık bir sayıdır.

Çarpma ve bölme işlemleri yalnızca pozitif bulanık sayılar için tanımlanmıştır. Pozitif bulanık sayı, alt sınırı pozitif bir sayı olan bir sayıdır (Lee, 2004; Bector ve Chandra, 2005).

Durulaştırma: Durulaştırma işlemi, bulanık bir kümeyi temsili bir sayısal değerle ifade ederek bulanık sayıların klasik sayılara dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirir (Sousa ve Kaymak, 2002). Durulaştırma işlemi gerçekleştirmek için *Ağırlık Merkezi Yöntemi*, *Maksimum Üyelik Yöntemi*, *Ortalama Maksimum Üyelik Yöntemi* ve *Ağırlıklı Ortalama Yöntemi* gibi farklı yöntemler vardır. Ağırlıklı ortalama yöntemlerinden biri olan aşağıdaki durulaştırma tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dereceli ortalama entegrasyon gösterimi: Bir $\tilde{A} = (l, m, u)$ üçgen bulanık sayının dereceli ortalama entegrasyon gösterimi $R(\tilde{A})$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Liao ve ark., 2013; Guo ve Zhao, 2017; Bas ve ark., 2019; Dong ve ark., 2021).

$$R(\tilde{A}) = \frac{l+4m+u}{6} \quad (3.9)$$

Eğer $\tilde{w}_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$ bir üçgen bulanık sayı ise ($j=1, 2, \dots, n$). Bir üçgensel bulanık ağırlık vektörü $\tilde{w} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]$, her $j \in \{1, 2, \dots, n\}$ için aşağıdaki eşitliklerin geçerli olması koşuluyla normalleştirilmiş (durulaştırılmış) bulanık ağırlık vektörü olarak adlandırılır (Dong ve ark., 2021).

$$\sum_{j=1}^n w_j^m = 1, \quad w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, \quad w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (3.10)$$

3.5.1. Matematiksel programlama modelinin oluşturulması

Tüm kriterlerin optimal ağırlığı, w_B/w_j ve w_j/w_W her bir çiftinin $w_B/w_j = a_{Bj}$ ve $w_j/w_W = a_{jW}$ olduğu bir değerdir (Rezaei, 2015). Ancak tüm j ler için $w_B/w_j = a_{Bj}$ ve $w_j/w_W = a_{jW}$ eşitliklerini elde etmek zordur. Bu eşitlikler sırasıyla $w_B = w_j a_{Bj}$ ve $w_j = a_{jW} w_W$ 'ye eşit olduğundan $w_B = w_j a_{Bj}$ ve $w_j = a_{jW} w_W$ eşitliklerini mümkün olduğunca sağlayacak bulanık ağırlıkların bulunması beklenir. Yani;

$$(w_B^l, w_B^m, w_B^u) = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)(a_{Bj}^l, a_{Bj}^m, a_{Bj}^u), \quad (3.11)$$

$$(w_j^l, w_j^m, w_j^u) = (a_{jW}^l, a_{jW}^m, a_{jW}^u)(w_W^l, w_W^m, w_W^u), \quad (3.12)$$

Eşitlik (3.11) ve (3.12) bulanık denklemler olarak kabul edilir, yani;

$$(w_B^l, w_B^m, w_B^u) \cong (w_j^l a_{Bj}^l, w_j^m a_{Bj}^m, w_j^u a_{Bj}^u), \quad (3.13)$$

$$(w_j^l, w_j^m, w_j^u) \cong (a_{jW}^l w_W^l, a_{jW}^m w_W^m, a_{jW}^u w_W^u), \quad (3.14)$$

Burada \sim bulanık bir sayıyı belirtir, “ \cong ” sembolü ise gerçek sayı kümesindeki “=” in bulanık bir versiyonudur ve “bulanık eşittir” dilsel yorumuna sahiptir. Dolayısıyla, Eşitlik (3.13) ve (3.14) aşağıdaki bulanık denklemlere eşdeğerdir:

$$w_B^l - w_j^l a_{Bj}^l \cong 0, \quad w_B^m - w_j^m a_{Bj}^m \cong 0, \quad w_B^u - w_j^u a_{Bj}^u \cong 0, \quad (3.15)$$

$$w_j^l - a_{jW}^l w_W^l \cong 0, \quad w_j^m - a_{jW}^m w_W^m \cong 0, \quad w_j^u - a_{jW}^u w_W^u \cong 0, \quad (3.16)$$

Kolaylık için;

$$R(w_j^l) = w_B^l - w_j^l a_{Bj}^l \cong 0, \quad R(w_j^m) = w_B^m - w_j^m a_{Bj}^m \cong 0, \quad R(w_j^u) = w_B^u - w_j^u a_{Bj}^u \cong 0, \quad (3.17)$$

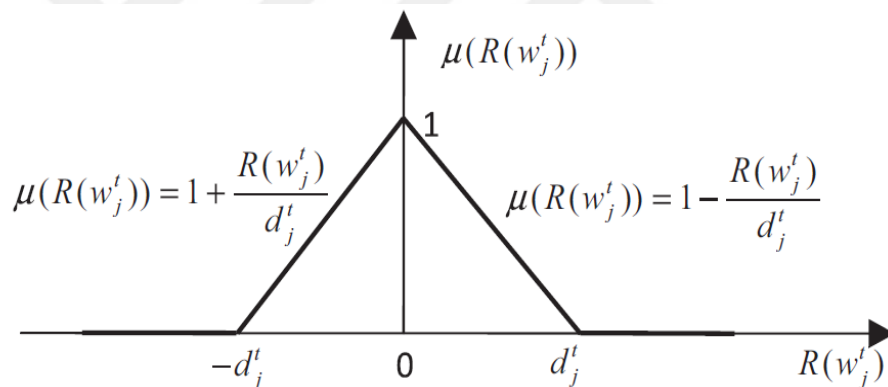
$$Q(w_j^l) = w_j^l - a_{jW}^l w_W^l \cong 0, \quad Q(w_j^m) = w_j^m - a_{jW}^m w_W^m \cong 0, \quad Q(w_j^u) = w_j^u - a_{jW}^u w_W^u \cong 0, \quad (3.18)$$

Aşağıda, (3.17) ve (3.18) eşitlikleri için sırasıyla (3.19) ve (3.20) üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur;

$$\mu(R(w_j^t)) = \begin{cases} 1, & \text{if } R(w_j^t) = 0 \\ 1 - \frac{R(w_j^t)}{d_j^t}, & \text{if } 0 \leq R(w_j^t) \leq d_j^t \\ 1 + \frac{R(w_j^t)}{d_j^t}, & \text{if } -d_j^t \leq R(w_j^t) < 0 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.19)$$

$$\mu(Q(w_j^t)) = \begin{cases} 1, & \text{if } Q(w_j^t) = 0 \\ 1 - \frac{Q(w_j^t)}{q_j^t}, & \text{if } 0 \leq Q(w_j^t) \leq q_j^t \\ 1 + \frac{Q(w_j^t)}{q_j^t}, & \text{if } -q_j^t \leq Q(w_j^t) < 0 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.20)$$

Burada tolerans parametreleri $d_j^t > 0$ ve $q_j^t > 0$ ($j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u$). $R(w_j^t) = w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \cong 0$ bulanık denklemi için üyelik fonksiyonu Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. $R(w_j^t) = w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \cong 0$ bulanık denklemi için üyelik fonksiyonu

Bir bulanık karar S , bulanık bir küme olarak kabul edilebilir, $S = \{(\tilde{w}, \mu_S(\tilde{w})) | \tilde{w} \in W\}$, burada;

$$\mu_S(\tilde{w}) = \beta = \min\{\mu(R(w_j^t)), \mu(Q(w_j^t)) | j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u\}, \quad (3.21)$$

Daha sonra, Eşitlik (3.21) aşağıdaki şekilde dönüştürülür:

$$\begin{cases} \mu(R(w_j^t)) \geq \beta & (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ \mu(Q(w_j^t)) \geq \beta & (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \end{cases} \quad (3.22)$$

Burada β , bulanık kısıtların minimum memnuniyet derecesini gösterir. Optimal bulanık ağırlık vektörü $\tilde{w}^* = [\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*]$, elde etmek için minimum memnuniyet derecesini β maksimize eden aşağıdaki matematiksel programlama modeli önerilmiştir.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \beta \\ \text{s. t. } & \begin{cases} \mu(R(w_j^t)) \geq \beta \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ \mu(Q(w_j^t)) \geq \beta \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.23)$$

3.5.2. Oluşturulan matematiksel programlama modelinin çözümü

Eşitlik (3.19) ve (3.20) parçalı fonksiyon olduğundan, Eşitlik (3.23)'ün çözümü karar vericinin risk tutumuna bağlıdır. Bu nedenle, denklemleri çözmek için dört yaklaşım önerilmiştir.

- C_B en iyi kriter olduğundan \tilde{w}_B ağırlığı maksimum olmalıdır. $R(w_j^t) = w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \cong 0$ bulanık eşitliği için, **iyimsen bir karar verici** $R(w_j^t) = w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t > 0$ olduğuna inanabilir ve bu yüzden $\mu(R(w_j^t)) = 1 - \frac{R(w_j^t)}{a_j^t}$ 'yi üyelik fonksiyonu olarak yani Şekil 2'nin sağ tarafını seçer, ve **kötümser bir karar verici** $R(w_j^t) = w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t < 0$ olduğuna inanabilir ve bu yüzden $\mu(R(w_j^t)) = 1 + \frac{R(w_j^t)}{a_j^t}$ 'yi üyelik fonksiyonu olarak yani Şekil 2'nin sol tarafını seçer.
- C_W en kötü kriter olduğundan \tilde{w}_W ağırlığı minimum olmalıdır. $Q(w_j^t) = w_j^t - a_{jW}^t w_W^t \cong 0$ bulanık eşitliği için, **iyimsen bir karar verici** $Q(w_j^t) = w_j^t - a_{jW}^t w_W^t > 0$ olduğuna inanabilir ve bu yüzden $\mu(Q(w_j^t)) = 1 - \frac{Q(w_j^t)}{q_j^t}$ 'yi üyelik fonksiyonu olarak seçer, ve **kötümser bir karar verici** $Q(w_j^t) = w_j^t - a_{jW}^t w_W^t < 0$ olduğuna inanabilir ve bu yüzden $\mu(Q(w_j^t)) = 1 + \frac{Q(w_j^t)}{q_j^t}$ 'yi üyelik fonksiyonu olarak seçer.

Ayrıca **tarafsız bir karar verici** için iki durum vardır.

- **Durum 1. Tarafsız bir karar verici** $R(w_j^t) = w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \cong 0$ ve $Q(w_j^t) = w_j^t - a_{jW}^t w_W^t \cong 0$ bulanık eşitlikleri için, sırasıyla $\mu(R(w_j^t)) = 1 - \frac{R(w_j^t)}{a_j^t}$ ve $\mu(Q(w_j^t)) = 1 + \frac{Q(w_j^t)}{a_j^t}$ 'yi üyelik fonksiyonu olarak seçer.
- **Durum 2. Tarafsız bir karar verici** $R(w_j^t) = w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \cong 0$ ve $Q(w_j^t) = w_j^t - a_{jW}^t w_W^t \cong 0$ bulanık eşitlikleri için, sırasıyla $\mu(R(w_j^t)) = 1 + \frac{R(w_j^t)}{a_j^t}$ ve $\mu(Q(w_j^t)) = 1 - \frac{Q(w_j^t)}{a_j^t}$ 'yi üyelik fonksiyonu olarak seçer.

Tüm karar vericiler için, yukarıdaki durumlarına göre seçtikleri Eşitlik (3.19)'daki $\mu(R(w_j^t))$ ve Eşitlik (3.20)'deki $\mu(Q(w_j^t))$ formülasyonları, Eşitlik (3.23)'de yerine konularak aşağıdaki doğrusal programlama modellerine dönüştürülür.

(1) İyimser yaklaşım:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \beta \\
 \text{s. t. } & \begin{cases} 1 - \frac{w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t}{a_j^t} \geq \beta, & 0 \leq w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \leq d_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 1 - \frac{w_j^t - a_{jW}^t w_W^t}{q_j^t} \geq \beta, & 0 \leq w_j^t - a_{jW}^t w_W^t \leq q_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \\ \sum_{j=1}^n w_j^m = 1, & w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (3.24)
 \end{aligned}$$

(2) Kötümser yaklaşım:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \beta \\
 \text{s. t. } & \begin{cases} 1 + \frac{w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t}{a_j^t} \geq \beta, & -d_j^t \leq w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 1 + \frac{w_j^t - a_{jW}^t w_W^t}{q_j^t} \geq \beta, & -q_j^t \leq w_j^t - a_{jW}^t w_W^t \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \\ \sum_{j=1}^n w_j^m = 1, & w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (3.25)
 \end{aligned}$$

(3) Karma yaklaşım-I:

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \beta \\
& \text{s. t. } \begin{cases} 1 - \frac{w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t}{d_j^t} \geq \beta, \quad 0 \leq w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \leq d_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 1 + \frac{w_j^t - a_{jW}^t w_W^t}{q_j^t} \geq \beta, \quad -q_j^t \leq w_j^t - a_{jW}^t w_W^t \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \\ \sum_{j=1}^n w_j^m = 1, \quad w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, \quad w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (3.26)
\end{aligned}$$

(4) Karma yaklaşım-II:

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \beta \\
& \text{s. t. } \begin{cases} 1 + \frac{w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t}{d_j^t} \geq \beta, \quad -d_j^t \leq w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 1 - \frac{w_j^t - a_{jW}^t w_W^t}{q_j^t} \geq \beta, \quad 0 \leq w_j^t - a_{jW}^t w_W^t \leq q_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \\ \sum_{j=1}^n w_j^m = 1, \quad w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, \quad w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (3.27)
\end{aligned}$$

Optimal ağırlık vektörü \tilde{w}^* , (3.24)-(3.27) denklemleri tüm karar vericiler için ayrı ayrı çözümlenerek elde edilebilir. d_j^t ve q_j^t ($j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u$) tolerans parametrelerinin değerleri yeterince büyükse, (17)–(20) denklemlerin her biri benzersiz bir optimal çözüme sahip olmalıdır. Daha büyük d_j^t ve q_j^t değerleri, daha büyük optimal amaç fonksiyonu β^* değeri sağlar. Eşitlik (3.21)'e göre, elde edilen optimal amaç fonksiyonu değeri $\beta^* = 1$ ise, tüm kriter karşılaştırmaları tamamen tutarlıdır ve bu nedenle β^* kriter karşılaştırmalarının tutarlılık düzeyini ölçmek için kullanılabilir (Dong ve ark., 2021).

3.5.3. Bulanık tutarlılık indeksi

$\tilde{a}_{Bj} \times \tilde{a}_{jW} = \tilde{a}_{BW}$, $\forall j = 1, 2, \dots, n$ olduğunda karşılaştırma tamamen tutarlıdır. Ancak, tam olarak tutarlı olmamasına yol açan bazı j için, aşağıdaki eşitsizliğin geçerli olması mümkündür (Guo ve Zhao, 2017):

$$\tilde{a}_{Bj} \times \tilde{a}_{jW} \neq \tilde{a}_{BW} \quad (3.28)$$

$\tilde{\zeta} = (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u)$, Eşitlik (3.28)'in en yüksek eşitsizliğini elde etmek için Eşitlik (3.28)'deki $\tilde{a}_{Bj} = (a_{Bj}^l, a_{Bj}^m, a_{Bj}^u)$ ve $\tilde{a}_{jW} = (a_{jW}^l, a_{jW}^m, a_{jW}^u)$ 'dan çıkarılması, ve $\tilde{a}_{BW} =$

$(a_{BW}^l, a_{BW}^m, a_{BW}^u)$ 'ya eklenmesi gereken üçgen bir bulanık sayı olsun (Dong ve ark., 2021).

Yani;

$$\left((a_{Bj}^l, a_{Bj}^m, a_{Bj}^u) - (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u) \right) \times \left((a_{jW}^l, a_{jW}^m, a_{jW}^u) - (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u) \right) = (a_{BW}^l, a_{BW}^m, a_{BW}^u) + (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u) \quad (3.29)$$

Minimum tutarlılığa gelince $\tilde{a}_{Bj} = \tilde{a}_{jW} = \tilde{a}_{BW}$;

$$\left((a_{BW}^l, a_{BW}^m, a_{BW}^u) - (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u) \right) \times \left((a_{BW}^l, a_{BW}^m, a_{BW}^u) - (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u) \right) = (a_{BW}^l, a_{BW}^m, a_{BW}^u) + (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u) \quad (3.30)$$

Üçgen bulanık sayıların işlem kuralları açısından, Eşitlik (3.30) aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir (Dong ve ark., 2021):

$$(a_{BW}^l - \zeta^u, a_{BW}^m - \zeta^m, a_{BW}^u - \zeta^l) \times (a_{BW}^l - \zeta^u, a_{BW}^m - \zeta^m, a_{BW}^u - \zeta^l) = (a_{BW}^l + \zeta^l, a_{BW}^m + \zeta^m, a_{BW}^u + \zeta^u) \quad (3.31)$$

$$\rightarrow ((a_{BW}^l - \zeta^u)^2, (a_{BW}^m - \zeta^m)^2, (a_{BW}^u - \zeta^l)^2) = (a_{BW}^l + \zeta^l, a_{BW}^m + \zeta^m, a_{BW}^u + \zeta^u) \quad (3.32)$$

Böylece, aşağıdaki denklemler türetilebilir (Dong ve ark., 2021):

$$\begin{cases} (a_{BW}^l - \zeta^u)^2 = a_{BW}^l + \zeta^l \\ (a_{BW}^m - \zeta^m)^2 = a_{BW}^m + \zeta^m \\ (a_{BW}^u - \zeta^l)^2 = a_{BW}^u + \zeta^u \end{cases} \quad (3.33)$$

Eşitlik (3.33) çözüldükten sonra, Çizelge 3.3'de gösterildiği gibi Bulanık tutarlılık indeksi (FCI) $\tilde{\zeta} = (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u) \tilde{a}_{BW}$ 'nin farklı değerleri için elde edilir.

Çizelge 3.3. Bulanık tutarlılık indeksi

\tilde{a}_{BW}	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2)	(3/2, 2, 5/2)	(5/2, 3, 7/2)	(7/2, 4, 9/2)
FCI $\tilde{\zeta}$	(0, 0, 0)	(0, 0, 1.36)	(0.34, 0.44, 2.16)	(0.71, 1, 4.29)	(1.31, 1.63, 5.69)
\tilde{a}_{BW}	(9/2, 5, 11/2)	(11/2, 6, 13/2)	(13/2, 7, 15/2)	(15/2, 8, 17/2)	(17/2, 9, 19/2)
FCI $\tilde{\zeta}$	(1.96, 2.30, 7.04)	(2.65, 3, 8.35)	(3.36, 3.73, 9.64)	(4.09, 4.47, 10.91)	(4.85, 5.23, 12.15)

3.5.4. Bulanık tutarlılık oranı

Bulanık tutarlılık oranını (FCR) tanımlamak için \tilde{w}_B^* ve $\tilde{w}_j^* \tilde{a}_{Bj}$ ile \tilde{w}_j^* ve $\tilde{a}_{jW} \tilde{w}_W^*$ arasındaki sapmalardan maksimumu en aza indirmemiz gerekir. Yani $\tilde{\xi}^* = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})$ ile temsil edilen $\min\max\{|\tilde{w}_B^* - \tilde{w}_j^* \tilde{a}_{Bj}|, |\tilde{w}_j^* - \tilde{a}_{jW} \tilde{w}_W^*|\}$ formülasyonu hesaplanmalıdır.

Üçgen bulanık sayıların çarpma, çıkarma ve mutlak işlemleri yaklaşık işlemler olduğundan, $\tilde{\xi}^* = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})$ kesin bulanık sapmayı elde etmek zordur. Bu nedenle, bulanık sapmanın belirlenmesi için aşağıdaki yaklaşım önerilmektedir.

$$\xi'^l = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*l} - w_j^{*l} a_{Bj}^l| + |w_j^{*l} - a_{jW}^l w_W^{*l}|), \quad (3.34)$$

$$\xi'^m = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*m} - w_j^{*m} a_{Bj}^m| + |w_j^{*m} - a_{jW}^m w_W^{*m}|), \quad (3.35)$$

$$\xi'^u = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*u} - w_j^{*u} a_{Bj}^u| + |w_j^{*u} - a_{jW}^u w_W^{*u}|), \quad (3.36)$$

Burada ξ'^l , ξ'^m ve ξ'^u , $\tilde{\xi}^* = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})$ bulanık sapmanın sırasıyla olası alt sınırını, olası modunu ve olası üst sınırını temsil eder. $\xi^{*l} \leq \xi^{*m} \leq \xi^{*u}$ olmasını sağlamak için, yani elde edilen $\tilde{\xi}^* = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})$ 'nin üçgen bulanık bir sayı olması için;

$$\tilde{\xi}^{*l} = \min\{\xi'^l, \xi'^m, \xi'^u\}, \quad \tilde{\xi}^{*u} = \max\{\xi'^l, \xi'^m, \xi'^u\}, \quad \tilde{\xi}^{*m} = \text{median}\{\xi'^l, \xi'^m, \xi'^u\} \quad (3.37)$$

Eşitlik (3.37)'nin amacı, $\tilde{\xi}^* = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})$ bulanık bir sayı olacak şekilde $\xi^{*l} \leq \xi^{*m} \leq \xi^{*u}$ olmasını sağlamaktır.

Bulanık tutarlılık oranı (FCR) şu şekilde tanımlanır:

$$FCR = \frac{\tilde{\xi}^*}{\tilde{\zeta}} \quad (3.38)$$

Burada, $\tilde{\zeta} = (\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u)$ Çizelge 3.3'den ve $\tilde{\xi}^* = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})$ Eşitlik (3.37)'den elde edilmiştir. Üçgen bulanık sayıların işlem kurallarına göre;

$$FCR = \frac{\tilde{\xi}^*}{\tilde{\zeta}} = \frac{(\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})}{(\zeta^l, \zeta^m, \zeta^u)} = \left(\frac{\xi^{*l}}{\zeta^u}, \frac{\xi^{*m}}{\zeta^m}, \frac{\xi^{*u}}{\zeta^l} \right) \quad (3.39)$$

Daha sonra, Eşitlik (3.9)'a dayanarak, FCR'nin dereceli ortalama entegrasyon gösterimi $R(FCR)$ değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$R(FCR) = \frac{1}{6} \left(\frac{\xi^{*l}}{\zeta^u}, 4 \frac{\xi^{*m}}{\zeta^m}, \frac{\xi^{*u}}{\zeta^l} \right) \quad (3.40)$$

- $R(FCR) \leq 0.1$ ise, karşılaştırmalar kabul edilebilir tutarlıdır.
- $R(FCR) = 0$ ise, tüm kriter karşılaştırmaları tamamen tutarlıdır.
- $R(FCR) > 0.1$ ise, karşılaştırmalar kabul edilemez tutarlıdır ve bazı karşılaştırmalar, $R(FCR) \leq 0.1$ olacak şekilde ayarlanmalıdır (Dong ve ark., 2021). Tanımlama ve ayarlama süreçleri Dong ve ark. (2021)'de detaylı olarak anlatılmıştır.

3.5.5. Bulanık BWM adımları

Adım 1: Karar kriterleri kümesini belirleyin $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$.

Adım 2: N adet kriter arasından en iyi (en önemli, en çok istenen) kriter C_B ve en kötü (en önemsiz, en az istenen) kriter C_W 'yi belirleyin.

Adım 3: Dilsel terimler ve üçgen bulanık sayıları kullanarak en iyi kriterin diğer kriterlere göre bulanık tercihini belirleyin. En iyiye göre Diğerleri Vektörü $\tilde{A}_B = [\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \dots, \tilde{a}_{Bn}]$ olacaktır. Burada \tilde{a}_{Bj} , C_B en iyi kriterin C_j kriteri üzerine bulanık tercihini gösterir. $\tilde{a}_{Bj} = (a_{Bj}^l, a_{Bj}^m, a_{Bj}^u)$, $j = 1, 2, \dots, n$ ve $\tilde{a}_{BB} = (1, 1, 1)$ 'dir.

Adım 4: Dilsel terimler ve üçgen bulanık sayıları kullanarak diğer tüm kriterin en kötü kritere göre bulanık tercihini belirleyin. Diğerlerine göre en kötü vektörü $\tilde{A}_W = [\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{2W}, \dots, \tilde{a}_{nW}]$ olacaktır. Burada \tilde{a}_{jW} , C_j kriterinin C_W en kötü kriteri üzerine bulanık tercihini gösterir. $\tilde{a}_{jW} = (a_{jW}^l, a_{jW}^m, a_{jW}^u)$, $j = 1, 2, \dots, n$ ve $\tilde{a}_{WW} = (1, 1, 1)$ 'dir (Rezaei, 2015; Guo ve Zhao, 2017; Dong ve ark., 2021).

Adım 5: Eşitlik (3.24)-(3.27) için d_j^t ve q_j^t ($j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u$) tolerans parametrelerinin uygun değerlerini tercihinize ve karar verme problemlerinin özelliklerine göre belirleyin. Genellikle d_j^t ve q_j^t , $[1,9]$ aralığında herhangi bir değer alabilir.

Adım 6: $\tilde{w}^* = [\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*]$ optimal bulanık ağırlık vektörünü ve β^* optimal amaç değerini elde etmek için Eşitlik (3.24)-(3.27)'den birini karar vericinin risk tutumuna (yani karamsar, iyimser veya nötr) göre matematiksel bir yazılım kullanarak çözün.

Adım 7: $\xi^* = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})$ bulanık sapmayı Eşitlik (3.37) ile hesaplayın.

Adım 8: Çizelge 3.3'den FCI'yi alın ve Eşitlik (3.39) ile FCR'yi hesaplayın.

Adım 9: Eşitlik (3.40) ile elde edilen FCR'nin dereceli ortalama entegrasyon gösterimini $R(\text{FCR})$ hesaplayın.

Adım 10: Tutarlılığı kontrol edin (Dong ve ark., 2021).

3.6. Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımları

Çok amaçlı programlama, literatürde optimizasyon problemlerinin çözümünde çelişen ve aynı anda yerine getirilmesi gereken birden fazla amaç ortaya çıktığında yaygın olarak kullanılmaktadır. Geçtiğimiz on yıllar boyunca, çok amaçlı problemler için en uygun çözümleri keşfetmek için faydalı araçlar olarak klasik optimizasyon yöntemleri

geliştirilmiştir. Son yıllarda, belirsizlik altında, çok amaçlı optimizasyon, gerçek dünya problemlerindeki pratik uygulamaları nedeniyle çok dikkat çekmiştir. Belirsizlikle başa çıkmak için birçok teori bulunmaktadır. Bulanık mantık, bu tür problemlerin üstesinden gelmek için daha uygun ve pratik bir yöntemdir (Karimi ve ark., 2022). 1980'de Dyson, bulanık programlama modellerinin çok amaçlı karar verme yöntemlerine yeni bir katkı olarak değil, yeni geleneksel karar yöntemlerine öncülük etmesi gerektiğini belirtmiştir (Petrovic-Lazarevic ve Abraham, 2004). Bulanık çok amaçlı programlama üzerine pek çok tartışma ve farklı uygulamalar mevcuttur. Bu bölümde tez çalışması kapsamında ele aldığımız problemin çözümünde kullandığımız, literatürde yaygın bir şekilde uygulanan, dört farklı yaklaşım detaylı bir şekilde sunulmuştur.

3.6.1. Zimmermann (1978)'in Max-Min yaklaşımı

Zimmermann (1978), Bellman ve Zadeh (1970) yaklaşımını kullanarak bulanık doğrusal programlamayı önermiş ve bunu bir karar modeli olarak ilk kez kullanmıştır. Bulanıklaştırmadan sonra, bulanık amaçları içeren bulanık doğrusal program, bir doğrusal programlama problemi olarak çözülebilir. Aşağıdaki gibi geleneksel çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli ele alınsın (3.41–3.43).

$$\text{Minimize } Z = Cx \quad (3.41)$$

$$Ax \leq b \quad (3.42)$$

$$x \geq 0 \quad (3.43)$$

Bulanıklaştırmadan sonra model (3.44–3.46);

$$Z \cong \tilde{C}x \quad (3.44)$$

$$\tilde{A}x \lesssim b \quad (3.45)$$

$$x \geq 0 \quad (3.46)$$

Yukarıda verilen bulanık çok amaçlı modelde “~” bulanık sayıyı gösterir dolayısıyla “ \cong ” ve “ \lesssim ” sembolleri gerçek bir sayı kümesi için “=” ve “ \leq ” sembollerinin bulanık bir versiyonudur ve “bulanık eşittir” ve “bulanık küçük veya eşittir” dilsel açıklamalarına sahiptirler.

Bellman ve Zadeh (1970)'e göre, X'deki bulanık A kümesi şu şekilde tanımlanır:

$A = \{x, \mu_A(x)/x \in X\}$. Burada $\mu_A(x): x \rightarrow [0, 1]$ A'nın üyelik fonksiyonu olarak adlandırılır ve $\mu_A(x)$, x'in A'ya ait olma derecesidir.

Bir bulanık amaç $\tilde{Z} \in X$, üyelik fonksiyonu $\mu_Z(x): x \rightarrow [0, 1]$ ile karakterize edilen X'in bir bulanık alt kümesidir.

Zimmermann (1978) yaklaşımında, her amaç fonksiyonu maksimum ve minimum değerlerine ayrılarak üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$\mu_{Z_j}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_j(x) \leq Z_j^{\min} \\ \frac{Z_j^{\max} - Z_j(x)}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\min} \leq Z_j(x) \leq Z_j^{\max}, \forall j = 1, 2, \dots, j \text{ (minimizasyon için)} \\ 0 & \text{if } Z_j(x) \geq Z_j^{\max} \end{cases} \quad (3.47)$$

$$\mu_{Z_j}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_j(x) \leq Z_j^{\min} \\ \frac{Z_j(x) - Z_j^{\min}}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\min} \leq Z_j(x) \leq Z_j^{\max}, \forall j = 1, 2, \dots, j \text{ (maksimizasyon için)} \\ 1 & \text{if } Z_j(x) \geq Z_j^{\max} \end{cases} \quad (3.48)$$

Eşitlik (3.47)-(3.48)'de Z_j^{\min} , $Z_j(x^*)$ amaç fonksiyonunun alt sınırını; Z_j^{\max} , $Z_j(x^*)$ amaç fonksiyonunun üst sınırını ve x^* optimal çözümü gösterir.

Zimmermann (1978)'e göre her bir amaç fonksiyonu, her seferinde amaçlardan sadece birini kullanarak ve diğerlerini yok sayarak tek bir amaç fonksiyonu olarak çözümlenir. Bu işlem j farklı amaç fonksiyonu için j kez tekrarlanır. Bulunan tüm çözümler, $j \times j$ boyutunda bir ödünleşme matrisi oluşturmak için kullanılır.

Daha sonra j . amaç fonksiyonu (Z_j) için alt sınır (Z_j^{\min}) ve üst sınır (Z_j^{\max}) ödünleşme tablosundan bu şekilde tahmin edilir (Behera ve Nayak, 2011).

$$Z_j^{\min} \leq Z_j \leq Z_j^{\max} \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J \quad (3.49)$$

Max-Min yaklaşımının temel mantığı her bir amaç fonksiyonuna ait minimum üyelik fonksiyonu değerlerini maksimize etmektir. Bu durumda model (3.41–3.43) aşağıdaki probleme dönüşür.

$$\text{Max} [\text{Min} \mu_Z(x)] \quad (3.50)$$

$$Ax \leq b \quad (3.51)$$

$$x \geq 0 \quad (3.52)$$

Bulanık programlama modeli, Zimmermann'ın yaklaşımıyla, j amaçları için genel bir memnuniyet seviyesini gösteren λ değişkeni eklenerek, aşağıdaki gibi kesin formülasyona dönüştürülür (Kumar ve ark., 2006; Shaw ve ark., 2012; Kumar ve ark., 2017).

$$\text{Maximize } \lambda \quad (3.53)$$

$$\lambda \leq \mu_{z_j}(x) = \frac{z_j^{max} - z_j(x)}{z_j^{max} - z_j^{min}} \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J, \text{ (minimizasyon için)} \quad (3.54)$$

$$\lambda \leq \mu_{z_j}(x) = \frac{z_j(x) - z_j^{min}}{z_j^{max} - z_j^{min}} \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J, \text{ (maksimizasyon için)} \quad (3.55)$$

$$Ax \leq b \quad \text{tüm deterministik kısıtlar için,} \quad (3.56)$$

$$x \geq 0 \text{ ve tamsayı,} \quad (3.57)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1. \quad (3.58)$$

3.6.2. Selim ve Özkarahan (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı

Selim ve Ozkarahan (2008)'in önerdikleri bulanık hedef programlamaya dayalı yaklaşım Werners (1988)'in 'bulanık ve' operatörünün kullanılmasına dayalıdır. Werners (1988), 'bulanık ve' operatörünü aşağıdaki gibi formüle eder:

$$\mu_D(x) = \text{Max} \left\{ \gamma \min_j (\mu_j(x)) + (1 - \gamma)(1/J) \sum_j \mu_j(x) \right\} \quad (3.59)$$

J bulanık amaç ve kısıtların toplam sayısını, $\mu_j(x)$ j. bulanık amaca ait üyelik fonksiyonunu ve γ , $[0,1]$ aralığında tanımlı ortak memnuniyet seviyesi (λ) değerinin önem katsayısını göstermektedir. 'Min operatörü' Eşitlik (3.59)'da kullanılarak aşağıdaki doğrusal programlama problemi oluşturulur:

$$\text{Max} \quad \gamma\lambda + (1 - \gamma)(1/J) \sum_j \lambda_j \quad (3.60)$$

$$\mu_j(x) \geq \lambda + \lambda_j, \quad \forall j \in J, \forall x \in X \quad (3.61)$$

$$\lambda, \lambda_j, \gamma \in [0,1]. \quad (3.62)$$

Gerçek hayattaki karar problemlerinde, karar vericiler tarafından tanımlanan amaçların göreceli önemleri eşit olmayabilir ve zamanla değişebilir. 'bulanık ve' operatöründen farklı olarak, Selim ve Ozkarahan (2008) yaklaşımı, amaçların göreceli önemini göz önünde bulundurarak sonuç olarak daha gerçekçi bir yapı sağlar ve aşağıdaki formülasyonu kullanır.

$$\text{Max} \quad \gamma\lambda + (1 - \gamma) \sum_j w_j \lambda_j \quad (3.63)$$

$$\lambda + \lambda_j \leq \mu_j(x), \quad \forall j \in J, \forall x \in X \quad (3.64)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (3.65)$$

$$\lambda, \lambda_j, w_j, \gamma \in [0,1], \quad \forall j \in J \quad (3.66)$$

Burada w_j , j. amaç fonksiyonunun ağırlığını göstermektedir. Bu ağırlıklar literatürde bulunan herhangi bir ÇKKV yöntemi ile belirlenebilir.

3.6.3. Torabi ve Hassini (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı

Torabi ve Hassini (2008) mevcut literatürdeki diğer bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımlarındaki bazı eksiklikler üzerine Lai ve Hwang (1993) ve Werners (1988) yöntemlerini birleştirerek çok amaçlı doğrusal programlama problemlerinin çözümü için kesin bir yöntem geliştirmişlerdir.

Torabi ve Hassini (2008), Selim ve Ozkarahan (2008)'dan farklı olarak her bir amaç fonksiyonunun memnuniyet seviyesi ile ortak memnuniyet seviyesi arasındaki farkın anlamsız olduğunu ve amaç fonksiyonlarına ait üyelik fonksiyonu değerlerinin ortak memnuniyet seviyesinden büyük veya eşit olmasının yeterli olacağını öne sürmüşlerdir. Torabi ve Hassini (2008)'in önerdikleri formülasyon aşağıda verilmiştir.

$$Max \quad \gamma\lambda + (1 - \gamma) \sum_j w_j \mu_j(x) \quad (3.67)$$

$$\lambda \leq \mu_j(x), \quad \forall j \in J, \forall x \in X \quad (3.68)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (3.69)$$

$$\lambda, w_j, \gamma \in [0,1], \quad \forall j \in J \quad (3.70)$$

Burada $\mu_j(x)$ j. amaç fonksiyonunun memnuniyet seviyesi ve $\lambda = \min \{\mu_j(x)\}$ minimum tatmin seviyesini ifade etmektedir.

Bulanık amaçların denge katsayısı γ ve göreceli önemi w_j göz önüne alınarak yukarıda önerilen kesin model çözülür. Karar verici bu mevcut verimli uzlaşma çözümünden memnunsa, problem sonlandırılır. Aksi takdirde, γ gibi bazı kontrol edilebilir parametre değeri değiştirilerek başka bir verimli çözüm sağlanır.

3.6.4. Sakawa ve Nishizaki (2002)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı

Bundan önce verilen EBP yaklaşımları karar vericiler arasında işbirliğine dayalı olmayan birden fazla amacın tek bir karar verici tarafından optimize edildiği varsayımı altında çalışmaktadır. Gerçek hayat problemleri yani genellikle hiyerarşik yapıya sahip organizasyonlarda farklı karar vericileri memnun edecek bir çözüm ortaya çıkarmak için tüm karar vericilerin ortak karar alması gerekmektedir (Sakawa ve ark., 2001b). Bu tür karar modellerinin çözümü için Sakawa ve Nishizaki (2002b) etkileşimli bulanık çok amaçlı bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşım, merkezi olmayan iki seviyeli doğrusal programlama problemleri için üst seviyede tek bir KV ve alt seviyede çoklu KV'ler ile EBP sunar. Önerilen yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, her iki seviyedeki karar vericiler, her bir bulanık amacı için üyelik fonksiyonlarını tanımlamaktadır. İki seviye arasındaki

genel tatmin edici dengeyi göz önünde bulundurarak, üst seviyedeki KV minimum tatmin seviyeyi belirlemekte ve geçici bir çözüm elde edilmektedir. Bu aşamada, alt seviyedeki KV'ler tarafsız olarak ele alınır ve bu nedenle bir grup olarak kabul edilebilirler.

İkinci aşamada, üst seviyedeki KV'yle alt seviyedeki KV'lerin her biri arasındaki memnuniyet oranlarına bakılarak, alt seviyedeki bazı karar vericiler için maksimum tatmin seviyeleri belirlenir ve eğer gerekirse güncellenerek, nihai tatmin edici çözüm elde edilir. Bu etkileşimli süreçte, üst seviyedeki KV'ye daha fazla önem veya saygı gösterilmesine rağmen, nihai olarak elde edilen tatmin edici çözüm, yalnızca her iki düzey arasında değil, aynı zamanda üst seviye KV'yle alt seviyedeki her bir KV arasında dengeli bir çözüm sağlar.

Üst seviyede bir KV'nin (Z_0), alt seviyede ise j kadar KV'nin (Z_1, Z_2, \dots, Z_j) amaçlarını eş zamanlı olarak minimize etmek istedikleri varsayımı ile, merkezi olmayan iki seviyeli çok amaçlı doğrusal programlama modeli Eşitlik (3.71)-(3.75)'de verilmiştir.

$$\text{Min } Z_0(x) = c_{00}x_0 + c_{01}x_1 + \dots + c_{0j}x_j \quad (\text{üst seviye KV}) \quad (3.71)$$

$$\text{Min } Z_1(x) = c_{10}x_0 + c_{11}x_1 + \dots + c_{1j}x_j \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \quad (3.72)$$

⋮

⋮

⋮

$$\text{Min } Z_j(x) = c_{j0}x_0 + c_{j1}x_1 + \dots + c_{jj}x_j \quad (\text{alt seviye } j. \text{ KV}) \quad (3.73)$$

$$A_0x_0 + A_1x_1 + \dots + A_jx_j \leq B \quad (3.74)$$

$$x_0, x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, j \quad (3.75)$$

Ele alınan modelde her bir bulanık amacın üyelik fonksiyonunun tanımlanması için önceki bölümde verilen Zimmermann (1978) yaklaşımındaki adımlar uygulanarak ilgili problemin ödünleşme tablosu oluşturulur ve $\mu_0(Z_0(x)), \mu_1(Z_1(x)), \dots, \mu_j(Z_j(x))$ değerleri elde edilir. Tanımlanan üyelik fonksiyonları ile Eşitlik (3.71)-(3.75) aşağıdaki bulanık çok amaçlı probleme dönüşür.

$$\text{Max } \mu_0(Z_0(x)), \quad (\text{üst seviye KV}) \quad (3.76)$$

$$\text{Max } \mu_1(Z_1(x)), \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \quad (3.77)$$

⋮

⋮

⋮

$$\text{Max } \mu_j(Z_j(x)), \quad (\text{alt seviye } j. \text{ KV}) \quad (3.78)$$

$$A_0x_0 + A_1x_1 + \dots + A_jx_j \leq B \quad (3.79)$$

$$x_0, x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, j \quad (3.80)$$

Etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının ilk aşamasında üst seviye KV tarafından minimum bir tatmin seviyesi $\tilde{\delta} \in [0,1]$ tanımlanır ve üst seviye KV'nin

üyelik fonksiyonun en az bu değer kadar olması koşuluyla alt seviye KV'ler arasındaki minimum tatmin seviyesi maksimize edilir;

$$\text{Max } \min \mu_i(Z_i(x)), \quad \forall i \in J \quad (3.81)$$

$$\mu_0(Z_0(x)) \geq \tilde{\delta} \quad (3.82)$$

Ancak, üst seviye KV için formüle edilmiş merkezi olmayan iki seviyeli programlama problemi (3.81)-(3.82) hakkında herhangi bir bilgi olmadan minimum tatmin seviyesi $\tilde{\delta}$ belirlemek zordur. Bu yüzden, ilk olarak (3.76)-(3.80)'de verilen problem tüm karar vericilerin minimum tatmin seviyesini maksimum yapacak hale dönüştürülür, $\max \min\{\mu_0(Z_0(x)), \min_{i \in J} \mu_i(Z_i(x))\}$ problemini çözmek için

$\lambda = \min\{\mu_0(Z_0(x)), \min_{i \in J} \mu_i(Z_i(x))\}$ karar değişkeni eklenerek Zimmermann (1978) yaklaşımı gibi aşağıdaki tek amaçlı kesin doğrusal programlama problemine ulaşılır.

$$\text{Maximize } \lambda \quad (3.83)$$

$$\lambda \leq \mu_0(Z_0(x)), \quad (\text{üst seviye KV}) \quad (3.84)$$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)), \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \quad (3.85)$$

⋮

⋮

$$\lambda \leq \mu_j(Z_j(x)), \quad (\text{alt seviye j. KV}) \quad (3.86)$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad \forall i \in J \quad (3.87)$$

$$x_i \geq 0, \quad \forall i \in J \quad (3.88)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (3.89)$$

Tüm karar vericilerin minimum memnuniyet seviyelerini maksimize eden problem (3.83)-(3.89)'nin çözümünde elde edilecek λ değeri üst seviye KV'yi tatmin ederse etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı sonlandırılır. Ancak Sakawa ve Nishizaki (2002b)'ye göre elde edilen sonuç hiçbir zaman üst seviye KV'yi tatmin etmez. Üst seviye KV, hesaplanan λ tatmin seviyesinden memnun olmadığı durumda kendisinin belirlemiş olduğu $\tilde{\delta}$ (üst seviye KV minimum tatmin seviyesi) parametresi ile tatmin seviyesinin alt sınırını belirler. Eşitlik (3.83)-(3.89)'a üst seviye KV'ye ait minimum tatmin seviyesinin eklenmesi ile Eşitlik (3.90)-(3.95)'e dönüşür.

$$\text{Maximize } \lambda \quad (3.90)$$

$$\tilde{\delta} \leq \mu_0(Z_0(x)), \quad (\text{üst seviye KV}) \quad (3.91)$$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)), \quad (\text{alt seviye 1. KV})$$

⋮

⋮

$$\lambda \leq \mu_j(Z_j(x)), \quad (\text{alt seviye } j. \text{ KV}) \quad (3.92)$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad \forall i \in J \quad (3.93)$$

$$x_i \geq 0, \quad \forall i \in J \quad (3.94)$$

$$0 \leq \lambda, \tilde{\delta} \leq 1. \quad (3.95)$$

Eşitlik (3.90)-(3.95)'in çözümü sonucu elde edilen üst seviye KV'nin memnuniyet seviyesi önceden belirlediği $\tilde{\delta}$ değerine ya eşit ya da daha büyük çıkacaktır. Ancak, minimum tatmin edici seviye ne kadar büyük değerlendirilirse, alt seviyedeki tüm KV'lerin tatmin edici derecesi o kadar küçük olacaktır. Sonuç olarak, üst seviye KV'nin tatmin seviyesi ile alt seviyedeki KV'lerin memnuniyet seviyeleri arasındaki nispi fark büyür ve her iki seviye arasındaki genel tatmin dengesinin sağlanamayacağından korkulur. Bundan dolayı tüm karar vericiler arasında dengeli bir memnuniyet seviyesine ulaşmak için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$\Delta = \frac{\min_{i \in J} \mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))} \quad (3.96)$$

Δ_L ve Δ_U , üst seviye KV tarafından belirlenen tatmin oranı Δ 'nın alt ve üst sınırları gösterebilir. Eşitlik (3.96)'dan elde edilen Δ değerinin bu sınırlar arasında olması beklenmektedir. Eğer $\Delta > \Delta_U$ ise üst seviye KV minimum tatmin seviyesi yani $\tilde{\delta}$ 'yi artırarak Δ değerini günceller. Bu durumda üst seviye KV'nin memnuniyet seviyesi artacak, alt seviye KV'lerin memnuniyet seviyesi de düşeceğinden Δ değeri belirlenen aralıkta yer alacaktır. Eğer $\Delta < \Delta_L$ ise, üst seviye KV minimum memnuniyet seviyesi yani $\tilde{\delta}$ 'yi azaltarak Δ değerini günceller. Bu durumda üst seviye KV'nin memnuniyet seviyesi azalacak, alt seviye KV'lerin memnuniyet seviyesi de artacağından Δ değeri yine belirlenen aralıkta yer alacaktır. Bu güncellemeler sonrasında aşağıda verilen iki koşulda sağlanır ise çok amaçlı EBP yaklaşımının ilk aşaması sonlandırılır.

(1) Üst seviye KV'nin memnuniyet seviyesi kendisi tarafından belirlenen minimum memnuniyet seviyesinden ($\tilde{\delta}$) büyük veya eşit ise, $\mu_0(Z_0(x)) \geq \tilde{\delta}$.

(2) Alt seviye KV'lerinin minimum memnuniyet seviyesinin üst seviye KV'nin memnuniyet seviyesine oranı (Δ), üst seviye KV tarafından belirlenen alt ve üst sınırlar $[\Delta_L, \Delta_U]$ dâhilinde ise.

Koşul-1 zorunlu iken, Koşul-2 iki seviye arasındaki memnuniyet dengesinin korunması istenir ise aranır. Koşullar karşılanmadığı ve üst seviye KV çözüm sonucundan memnun olmadıkça $\tilde{\delta}$ 'nin güncellenmesi gerekir. Çok amaçlı EBP yaklaşımının

sonlandırılan ilk aşamasında alt seviye KV'ler birbirlerinden bağımsız olarak ele alınmamış ve minimum memnuniyet seviyeleri (λ) aynı oranda maksimize edilmeye çalışılmıştır. Alt seviyedeki bazı KV'lerin tatmin edici derecelerinin beklenmedik yüksek değerlere sahip olma olasılığı vardır. Böyle bir durumda önerilen yöntemin ikinci aşamasına geçilmesi gerekmektedir. EBP'nin ikinci aşamasında, üst seviyedeki KV ile alt seviyedeki her bir KV'nin memnuniyet seviye oranları tek tek incelenmelidir. Bunun için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$\Delta_j = \frac{\mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))}, \quad \forall i \in J \quad (3.97)$$

İlk aşamada hesaplanan iki seviye arasındaki memnuniyet oranı (Eşitlik 3.96), alt seviyedeki KV'lerin minimum memnuniyet seviyesinin üst seviyedeki KV'nin memnuniyet seviyesine oranı ile bulunurken; ikinci aşamadaki denge tatmin oranı (Eşitlik 3.97), alt seviyedeki her bir KV'nin memnuniyet seviyesinin ikinci seviyedeki KV'nin memnuniyet seviyesine oranlanması ile bulunur. Bu sayede birinci aşamada dikkate alın(a)mayan herhangi bir karar vericinin, ikinci aşamada devreye girişi sağlanır. Eşitlik (3.97) ile hesaplanan alt seviyedeki herhangi bir KV'nin memnuniyet seviye oranı eğer üst seviyedeki KV'nin birinci aşamada belirlemiş olduğu Δ_U değerinden büyük ise, üst seviyedeki KV, Δ_U sınırını aşan alt seviyedeki ilgili KV için maksimum bir memnuniyet seviyesi ($\bar{\delta}_i$) belirler ve problem (3.90)- (3.95) aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\text{Maximize } \lambda \quad (3.98)$$

$$\bar{\delta} \leq \mu_0(Z_0(x)), \quad (\text{üst seviye KV}) \quad (3.99)$$

$$\bar{\delta}_i \geq \mu_i(Z_i(x)), \quad (\text{alt seviye i. KV}) \quad (3.100)$$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)), \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \quad (3.101)$$

⋮

$$\lambda \leq \mu_j(Z_j(x)), \quad (\text{alt seviye j. KV}) \quad (3.102)$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad \forall i \in J \quad (3.103)$$

$$x_i \geq 0, \quad \forall i \in J \quad (3.104)$$

$$0 \leq \lambda, \bar{\delta}, \bar{\delta}_i \leq 1 \quad (3.105)$$

Δ_U sınırını aşan alt seviyedeki KV'ler için maksimum memnuniyet seviyesi ($\bar{\delta}_i$) üst seviye KV'nin minimum memnuniyet seviyesi $\tilde{\delta}$ ile memnuniyet oranı üst sınırının Δ_U çarpılması ile, $\bar{\delta}_i = \Delta_U \times \tilde{\delta}$ şeklinde hesaplanır. Problem (3.98)-(3.105) çözüldükten sonra tüm alt seviyedeki KV'lerin yeni memnuniyet oranları Eşitlik (3.97) yardımıyla tekrardan hesaplanır. Elde edilen yeni memnuniyet oranları üst seviye KV'nin belirlemiş olduğu sınırlar arasında ise ikinci aşama da sonlandırılır. Aksi halde üst seviye KV, alt seviye KV'lere ait memnuniyet oranlarının, belirlemiş olduğu sınırlar arasında yer almasına kadar $\bar{\delta}_i$ değerini güncellemeye devam eder.



4. İNCELENEN PROBLEMLER VE GELİŞTİRİLEN EBP YAKLAŞIMI

Bu bölümde *blok zincir tabanlı kapalı döngü tedarik zinciri* ve *çok seviyeli rekabetçi kapalı döngü tedarik zinciri* tasarımı olmak üzere iki farklı problem incelenmiştir. Ayrıca ikilinci problemin çözümü için yeni bir etkileşimli çok seviyeli bulanık programlama yaklaşımı geliştirilmiştir.

4.1. Blok Zincir Uygulamaları ile Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde Bilgi Yönetiminin Değeri

Geliştirilen KDTZ ağ tasarımı problemi, iki farklı üretici ve birden fazla tesisi bulunan bir toplama ve geri dönüşüm merkezinden oluşan bir firmanın karını maksimize etme üzerine çalışmaktadır. Ele alınan probleme dayalı KDTZ ağı Şekil 4.1’de verilmiştir.

Akış tedarikçilerden ton cinsi üzerinden çelik levha satın alınması ile başlanmakta ve satın alınan levhalar fabrikalarda çelik oto parçalara dönüştürülerek müşterileri olan marketlere gönderilmektedir. Burada sattıkları çelik levhaların kalitelerine göre üç farklı segmentte tedarikçi ve yine aldıkları oto parçaların kalitelerine göre üç farklı segmentte market söz konusudur. Dolayısıyla fabrikalar kullandıkları çelik levhalara göre üç farklı kalitede ürün imal etmekte ve her kaliteyi ayrı ayrı fiyatlandırarak satışa sunmaktadır.

- Toplama & geri dönüşüm merkezi ise kullanım ömrü sona eren veya birtakım teknik problemler ve kazalar sonucu müşterilerden geri dönen oto parçaları toplar ve eritme işlemi sonucu 3. kalitede çelik levhalara dönüştürerek fabrikalara yeniden imal edilmek üzere gönderir (*1. Durum*).

Ancak firma, geri dönüşüm sistemini daha verimli kullanarak daha fazla avantaj kazanmak istemektedir. Bu aşamada, blok zincir teknolojisi ürün bilgilerini sağlamak için kullanılır. Blok zinciri teknolojisinin tedarik zincirine uygulaması sonucu eksik bilgi, düşük iletişim ve güvensizlik gibi sıkıntılar çözülmeye ve etkin tedarik zincirinin şeffaf, güvenlik, talep esnekliği, geri dönüşüm, maliyet, kalite, hız ve verimlilik gibi hedefleri gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır (Wang ve ark., 2019). Blok zinciri teknolojisi ile sağlanan geliştirilmiş görünürlük, bir ürünün geçtiği her aşamanın denetlenebilir takibini sağlamaktadır. Bu, bir ürünün ayrıntılarının, anlık durumunun-kalitesinin kanıtlanmasının esaslı olduğu endüstriler için özellikle önemli olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, blok zinciri teknolojisinin mevcut tedarik zincirinde uygulanmasıyla ne tür kazanımlar elde edileceği ve

maliyetlere etkisinin ne yönde olacağını tespit edilmesidir. Bu doğrultuda mevcut duruma ek olarak dört yeni senaryo geliştirilmiştir;

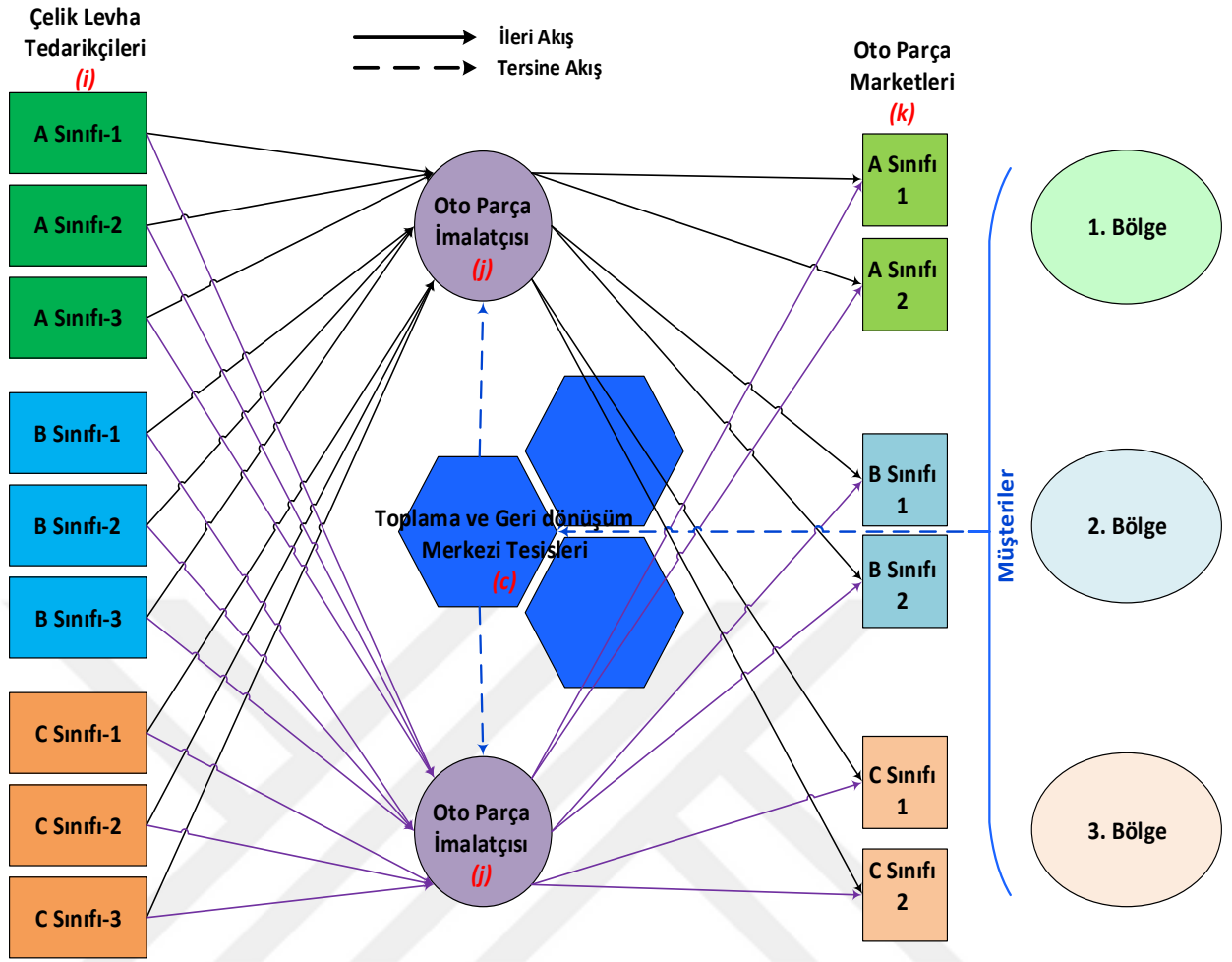
- Yeni modelde tedarik zincirinin tüm üyeleri, hem ileri akış hem de tersine akışta tüm işlemlerini blok zincirine kaydetmektedirler. Veriler merkezden dağıtılmıştır ve her üye blok zincirindeki operasyonları için gerekli verileri okuyabilmektedir. Bu sistem işlemlerde daha yüksek güvenlik sağlamaktadır. Buna göre, firma ve tedarikçiler arasındaki iletişim blok zincir uygulaması üzerinden gerçekleştirilmekte ve bu sayede ürün siparişinden teslimata kadar olan tüm süreçler otonom bir yapı kazanarak ileri akışa güvenilir, esnek ve en önemlisi daha az maliyetli (Kesin bir rakam olmasa da literatürde maliyeti azalttığı yer almaktadır (Dutta ve ark., 2020; Wang ve ark., 2020; Júnior ve ark., 2022) / bu çalışmada %10 olduğu varsayılmıştır.) tedarik etme imkânı sunmaktadır. Tersine akışta ise, toplama ve geri dönüşüm merkezi kullanım ömrü sona eren veya kazalar ve çeşitli teknik problemler sonucu müşterilerden geri dönen oto parçaları toplar ve kalitelerine göre farklı işlemler uygulayarak yeniden kullanılmak üzere satışa sunmaktadır. Burada alış verişi yaptıkları marketlere göre her biri farklı bölgelerde olan üç farklı segmentte müşteriler bulunmaktadır. Toplama ve geri dönüşüm merkezi, geri dönen oto parça miktarını arttırmak için müşterilere buldukları bölgeye ve ürünlerinin kalitesine göre bir takım teşviklerde bulunmaktadır. Geri dönen ürünlerin ürün yaşam döngüsü bilgileri blok zinciri teknolojisi yoluyla elde edilir ve paylaşılır. Buna göre blok zincir teknolojisi ile sağlanan bilgiler doğrultusunda toplama ve geri dönüşüm merkezinin bölge ve kaliteye göre uyguladığı geri kazanım işlemleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu kararlar geri dönen ürün yaşam döngüsü bilgisine dayanarak verilir (**2. Durum**).
- 3. Modelde ise tedarik zincirinde sadece ileri akış üyelerinin tüm işlemlerini blok zincirine kaydettiği, yani tedarik zincirinin sadece ileri akış kısmında blok zincir teknolojisini kullanıldığı ve tersine akışta ilk durumda olduğu gibi geleneksel uygulamaların yapıldığı durum söz konusudur (**3. Durum**).
- Bir diğer model ise 3. durumun tam tersi yani sadece tersine akış üyelerinin tüm işlemlerini blok zincirine kaydettiği, geri dönen ürünlerin ürün yaşam döngüsü bilgilerinin blok zinciri teknolojisi yoluyla elde edildiği ve paylaşıldığı ve ileri akışın ilk durumda olduğu gibi geleneksel yöntemlerle yürütüldüğü durum söz konusudur (**4. Durum**).

- Bu modelde ise birinci modelden ikinci modele geçişi yansıtan Karma yapı söz konusudur. Yani tedarik zincirinin sadece belirli üyelerinin işlemlerini blok zincirine kaydettiği durumdur. İleri akışta sadece 2, 5 ve 7 numaralı tedarikçilerin blok zincir teknolojisini kullandığı ve dolayısıyla bu tedarikçilere yönelik tedarik maliyetlerinin mevcut durumlarından %10 daha az olduğu varsayılırken, tersine akış için, geri dönen ürünlerin değerlendirilmesi süreci yeniden tasarlandığında sadece 2. Bölgenin blok zincir teknolojisini kullandığı ve bu bölgeden geri dönen ürünlerin kalitesi hakkında veri elde edildiği diğer bölgelerin bu teknoloji ağına dâhil olmadığı dolayısıyla tedarik zincirine ait blok zinciri üzerinden veri kaydetmediği ve paylaşmadığı varsayılmıştır. Bu durumda Çizelge 4.1’de verilen sadece ikinci (B sınıfı) bölgeye ait geri kazanım işlemleri uygulanacaktır (**5. Durum**).

Bunun dışında, farklı konumlarda 3 tesise sahip olan toplama ve geri dönüşüm merkezi minimum maliyet oluşacak şekilde bunlardan ikisini hizmete sunma ve açılan bu tesislerden hizmet alacak müşterileri belirlemeyi amaçlamaktadır.

Problem ile ilgili diğer varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ Müşteri talepleri her bir dönem için kesin olup, tümüyle karşılanmaktadır.
- ✓ Tedarikçilerin kapasiteleri sabit ve kesindir, diğer tesisler için üretim kapasitesi tüm ürün gereksinimi için yeterlidir.
- ✓ Yok satma olmadığı varsayılmıştır.
- ✓ Ürün ve parçalar ton üzerinden işlenmektedir.
- ✓ Açılacak Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesis sayısı bilinmektedir.
- ✓ Bütün Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesisleri eşit özelliktedir.
- ✓ Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesislerin açılacağı noktalar belirlidir.
- ✓ Geri dönen ürünlerden atık çıkmadığı varsayılmıştır.



Şekil 4.1. Temsili kapalı döngü tedarik zinciri ağı

Çizelge 4.1. Bölge ve kaliteye göre uygulanan geri kazanım işlemleri

Kalite Bölge	1.Kalite	2.Kalite
1.Bölge (A Sınıfı)	Fabrikalara gönderildikten sonra yenilenip B sınıfı oto parça şeklinde satılır	Toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından eritilerek B sınıfı çelik levha olarak fabrikalara gönderilir, Fabrika tarafından yeniden üretilerek B sınıfı oto parça şeklinde satılır.
2.Bölge (B Sınıfı)	Fabrikalara gönderildikten sonra yenilenip C sınıfı oto parça şeklinde satılır	Toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından eritilerek C sınıfı çelik levha olarak fabrikalara gönderilir, Fabrika tarafından yeniden üretilerek C sınıfı oto parça şeklinde satılır.
3.Bölge (C Sınıfı)	Toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından eritilerek C sınıfı çelik levha olarak fabrikalara gönderilir, Fabrika tarafından yeniden üretilerek C sınıfı oto parça şeklinde satılır.	Müşteri tarafından atılır.

4.1.1. Matematiksel modeller

Bu bölümde öncelikle, ele alınan ana problemin ilk durumu için temel bir model geliştirilmiştir. Sonrasında ise mevcut tedarik zinciri modeline Blok zinciri teknolojisinin uygulanması ile dört yeni senaryo (2, 3, 4 ve 5. durumlar) doğrultusunda model üzerindeki değişikliklere yer verilmiştir. Model, yukarıdaki varsayımlara dayanarak talebi karşılamak üzere kârı en büyükmeye çalışmaktadır.

➤ 1. Durum Modeli :

İndisler

- i* : Tedarikçiler ($i=1, 2, \dots, I$)
j : Fabrikalar ($j=1, 2, \dots, J$)
k : Marketler ($k=1, 2, \dots, K$)
c : Toplama ve geri dönüşüm tesisleri ($c=1, 2, \dots, C$)
l : Çelik levha sınıfı ($l=1, 2, \dots, L$)
m : Müşteri bölgeleri ($m=1, 2, \dots, M$)
n : Oto parça sınıfı ($n=1, 2, \dots, N$)
t : Periyot ($t=1, 2, \dots, T$)

Parametreler

- P_{ij}* : *i* tedarikçisinden çelik parça tedarik maliyeti
mr_j : *j* fabrikasının oto parça işlem maliyeti
r_j : *j* fabrikasının oto parça yeniden üretim maliyeti
s_{jk} : *j* fabrikasının *k* marketine oto parça satış fiyatı
a : Birim çelik levha taşıma maliyeti
b : Birim oto parça taşıma maliyeti
e_{ij} : *i* tedarikçisi ile *j*. fabrikası arasındaki mesafe
f_{jk} : *j* fabrikası ile *k* marketi arasındaki mesafe
g_{jc} : *j* fabrikası ile *c* toplama ve geri dönüşüm tesisi arasındaki mesafe
h_{cm} : *c* toplama ve geri dönüşüm tesisi ile *m* müşteri bölgesi arasındaki mesafe
f_c : *c* toplama ve geri dönüşüm tesisinin açma kapama maliyeti
c_i : *i* tedarikçisinin kapasitesi
d_{kt} : *k* marketinin *t* dönemindeki talebi
h_{mt} : *m* bölgesinde *t* dönemindeki ürün tutucuların sayısı
R : Geri dönen ürün için ödenecek teşvik miktarı
p : Açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesisi sayısı
M : Büyük bir sayı

Tedarikçiler ve marketler için 3 sınıf tanımlanmıştır. *l* çelik levha sınıfı ve *n* oto parça sınıfı aşağıdaki gibi belirlenmektedir. Burada, *nl₁* ve *nl₂*, *l* çelik levha için ve *nn₁* ve *nn₂* ise *n* oto parça için sınıfların sınırlarını ifade etmektedir.

$$l = \begin{cases} 1 & (A \text{ sınıfı}) & 1 \leq i < nl_1 \\ 2 & (B \text{ sınıfı}) & nl_1 \leq i < nl_2 \\ 3 & (C \text{ sınıfı}) & nl_2 \leq i \leq l \end{cases} \quad \forall i \text{ ve } 0 < nl_1 < nl_2$$

$$n = \begin{cases} 1 & (A \text{ sınıfı}) & 1 \leq k < nn_1 \\ 2 & (B \text{ sınıfı}) & nn_1 \leq k < nn_2 \\ 3 & (C \text{ sınıfı}) & nn_2 \leq k \leq K \end{cases} \quad \forall k \text{ ve } 0 < nn_1 < nn_2$$

Karar Değişkenleri

X_{ijt} : t periyodunda i tedarikçisinden j fabrikasına taşınan çelik levha miktarı

Y_{jkt} : t periyodunda j fabrikasından k marketine taşınan oto parça miktarı

Z_{cjt} : t periyodunda c toplama ve geri dönüşüm merkezinden j fabrikasına taşınan çelik levha miktarı

V_{jnt} : t periyodunda j fabrikasındaki n sınıfı oto parça stok miktarı

W_{ct} : t periyodunda toplama ve geri dönüşüm tesisindeki çelik levha stok miktarı

y_c : c toplama ve geri dönüşüm tesisi açılırsa 1, aksi halde 0

x_{mc} : m müşteri bölgesi, c toplama ve geri dönüşüm tesisine atanırsa 1, aksi halde 0

Amaç Fonksiyonları

Ele alınan modelde amaç fonksiyonu, toplam karı maksimize etmektir. Yani model, toplam kazancı maksimize ederken toplam maliyeti minimize eder. Dolayısıyla amaç fonksiyonu toplam kazancın (TR), toplam maliyete (TC) olan farkı şeklinde hesaplanmaktadır. İki kısımdan oluşan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$Z = TR - TC \quad (4.1)$$

1) Toplam Kazanç: Bu kısım satılan oto parçalardan elde edilen gelirden oluşmaktadır.

$$TR = \sum_j \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} \quad (4.2)$$

2) Toplam Maliyet: Firma, toplam satın alma maliyeti (TPC), toplam üretim maliyeti (TMC), toplam taşıma maliyeti (TTC) ve sabit tesis maliyeti (TFC) olmak üzere dört farklı maliyete katlanmaktadır. Bu yüzden TC aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.

$$TC = TPC + TMC + TTC + TFC \quad (4.3)$$

2.1) Toplam satın alma maliyeti: TPC'nin ilk kısmı, fabrikaların çelik levha talebini karşılamak üzere yapılan tedarik maliyetini, ikinci kısım ise müşterilere kullanılmış ürünler için ödenen teşvik maliyetini göstermektedir. Buradaki tedarik maliyeti, sipariş verme, sipariş hazırlama, komisyon, satın alma, sigorta, yükleme gibi pek çok giderden oluşmaktadır.

$$TPC = \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} p_{ij} + \sum_m \sum_t h_{mt} R \quad (4.4)$$

2.2) Toplam üretim maliyeti: Fabrika içindeki birim çelik levha işlem maliyetinden oluşmaktadır.

$$TMC = \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} m r_j + \sum_c \sum_j \sum_t Z_{cjt} r_j \quad (4.5)$$

2.3) Toplam taşıma maliyeti: Modelde taşıma çelik levha ve oto parça bazında ele alınmıştır. Tedarikçilerden fabrikalara ve yine toplama ve geri dönüşüm tesisinden fabrikalara olan çelik levha taşıma maliyetleri eşit kabul edilmiştir. Ayrıca, fabrikalardan marketlere ve müşterilerden toplama ve geri dönüşüm tesisine yapılan oto parça taşıma maliyetlerinin de eşit olduğu kabul edilmiştir. Böylece toplam taşıma maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$TTC = a(\sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} e_{ij} + \sum_c \sum_j \sum_t Z_{cjt} g_{jc}) + b(\sum_j \sum_k \sum_t Y_{jkt} f_{jk} + \sum_m \sum_c \sum_t h_{mt} h_{cm} x_{mc}) \quad (4.6)$$

2.4) Sabit tesis maliyeti: Toplama ve geri dönüşüm merkezinin açılacak olan tesisleri için katlanılan maliyettir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$TFC = \sum_c f_c \cdot y_c \quad (4.7)$$

Kısıtlar

$$[\sum_{i=1}^{nl_1-1} X_{ijt} + V_{jn(t-1)}] - [\sum_{k=1}^{nn_1-1} Y_{jkt} + V_{jnt}] = 0, \quad \forall j, t, n=1 \quad (4.8)$$

$$[\sum_{i=nl_1}^{nl_2-1} X_{ijt} + V_{jn(t-1)}] - [\sum_{k=nn_1}^{nn_2-1} Y_{jkt} + V_{jnt}] = 0, \quad \forall j, t, n=2 \quad (4.9)$$

$$[\sum_{i=nl_2}^l X_{ijt} + \sum_c Z_{cjt} + V_{jn(t-1)}] - [\sum_{k=nn_2}^K Y_{jkt} + V_{jnt}] = 0, \quad \forall j, t, n=3 \quad (4.10)$$

$$[\sum_m h_{mt} + \sum_c W_{ct-1}] - [\sum_c \sum_j Z_{cjt} + \sum_c W_{ct}] = 0, \quad \forall t \quad (4.11)$$

$$\sum_j Y_{jkt} = d_{kt}, \quad \forall k, t \quad (4.12)$$

$$\sum_j X_{ijt} \leq c_i, \quad \forall i, t \quad (4.13)$$

$$\sum_c x_{mc} = 1 \quad \forall m \quad (4.14)$$

$$x_{mc} \leq y_c \quad \forall m, c \quad (4.15)$$

$$\sum_c y_c \leq p \quad (4.16)$$

$$Z_{cjt} \leq M \cdot x_{mc} \quad \forall m, c, j, t \quad (4.17)$$

$$W_{ct} \leq M \cdot x_{mc} \quad \forall m, c, t \quad (4.18)$$

$$X_{ijt}, Y_{jkt}, Z_{cjt}, V_{jnt}, W_{ct} \geq 0, \quad \forall i, j, k, c, n, m, q, t \quad (4.19)$$

$$y_c, x_{mc} = \{0, 1\}, \quad \forall c, m \quad (4.20)$$

Kısıt (4.8)-(4.11)-*Denge Kısıtlarıdır*-fabrikalar ve toplama&geri dönüşüm merkezi için gelen ürün miktarının çıkan ürün miktarına eşit olmasını sağlar.

Kısıt (4.12)-*Talep Kısıtı*- marketlere gönderilen oto parçalarının talebi karşılaması gerektiğini ifade etmektedir.

Kısıt (4.13)-*Kapasite Kısıtı*- tedarikçilerinden fabrikalara taşınan çelik levha miktarının ilgili tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağı şartını sağlamaktadır.

Kısıt (4.14) ve (4.15)-*Atama Kısıtları*- bir müşteri bölgesinin tüm geri dönüşleri sadece bir toplama ve geri dönüşüm tesisine iletmesini, diğer bir ifade ile her bir müşteri bölgesinin yalnız bir toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmasını sağlamakta ve herhangi bir müşteri bölgesinin açık olmayan bir toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmasını engellemektedir.

Kısıt (4.16)- *Tesis Sayısı Kısıtı*- açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesis sayısını p adet ile sınırlandırmaktadır.

Kısıt (4.17) ve (4.18) - *Kullanım Kısıtları*- toplama ve geri dönüşüm tesisi açık değilse oradan fabrikalara ürün akışının gerçekleşmesini ve stok tutulmasını engellemektedir.

Kısıt (4.19) ve (4.20)-*İşaret Kısıtları*- ise karar değişkenlerinin negatif olmaması gerektiği ve ikili değişkenleri göstermektedir.

2. Durum Modeli: Yeni durumda, tedarik zinciri ağındaki tüm üyelerin blok zinciri teknolojisini kullanması sonucu mevcut modelin geliştirilmesi, aşağıdaki yeni indis, parametrelerin modele eklenerek bazı mevcut notasyonların, kısıtların ve amaç fonksiyonlarının revize edilmesiyle sağlanabilir. Bu modeldeki tüm tedarikçilerden çelik parça tedarik maliyetleri (P_{ij}) ilk modele göre %10 daha az maliyetli olacaktır.

Ek indisler

q : Geri dönen ürün kalitesi ($q=1, 2, \dots, Q$)

Ek parametreler

rf_j : j fabrikasının oto parça yenileme maliyeti

P_{mqt} : t periyodunda m bölgesi q kalite ürünü toplama ve geri dönüşüm merkezine getirecek olan müşteri oranı

Revize parametreler

h_{mq} : m bölgesindeki q tipi ürün tutucuların sayısı (h_{mt})

R_{mq} : m bölgesi q kalite ürüne ödenecek teşvik miktarı (R)

Revize karar değişkenleri

Z_{mqct} : t periyodunda c toplama ve geri dönüşüm tesisinden j fabrikasına taşınan m bölgesi q kalite ürün miktarı

W_{mqct} : t periyodunda toplama ve geri dönüşüm tesisindeki çelik levha stok miktarı

Revize edilmiş amaç fonksiyonları

TPC: TPC'nin ilk kısmı, fabrikaların çelik levha talebini karşılamak için yapılan satın alma maliyetini, ikinci kısım ise müşterilerden kullanılmış ürünler için ödenen teşvik maliyetini göstermektedir.

$$TPC = \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} p_{ij} + \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot P_{mqt} \cdot R_{mq} \quad (4.21)$$

TMC: Fabrika içindeki birim çelik levha işlem maliyetinden (üretim ve yeniden üretim ve yenileme maliyetleri) oluşmaktadır.

$$TMC = \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} m r_j + \left(\sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_j \sum_t Z_{m2cjt} + \sum_c \sum_j \sum_t Z_{31cjt} \right) r_j + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_j \sum_t Z_{m1cjt} r f_j \quad (4.22)$$

TTC: Modelde taşıma çelik levha ve oto parça bazında ele alınmıştır. Tedarikçilerden fabrikalara ve yine toplama ve geri dönüşüm tesisinden fabrikalara olan çelik levha taşıma maliyetleri eşit kabul edilmiştir. Ayrıca, fabrikalardan marketlere ve müşterilerden toplama ve geri dönüşüm tesisine yapılan oto parça taşıma maliyetlerinin de eşit olduğu kabul edilmiştir. Toplam taşıma maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$TTC = a \left(\sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} e_{ij} + \sum_m \sum_q \sum_c \sum_j \sum_t Z_{mqcjt} g_{jc} \right) + b \left(\sum_j \sum_k \sum_t Y_{jkt} f_{jk} + \sum_m \sum_q \sum_c \sum_t h_{mq} P_{mqt} h_{cm} x_{mc} \right) \quad (4.23)$$

TR ve TFC amaç fonksiyonları ilk modelde olduğu gibidir.

Revize edilmiş kısıtlar

$$\left[\sum_{i=nl_1}^{nl_2-1} X_{ijt} + \sum_q \sum_c Z_{mqcjt} + V_{jn(t-1)} \right] - \left[\sum_{k=nn_1}^{nn_2-1} Y_{jkt} + V_{jnt} \right] = 0, \forall j, t, n = 2, m = 1 \quad (4.24)$$

$$\left[\sum_{i=nl_2}^l X_{ijt} + \sum_q \sum_c Z_{2qcjt} + \sum_c Z_{31cjt} + V_{jn(t-1)} \right] - \left[\sum_{k=nn_2}^K Y_{jkt} + V_{jnt} \right] = 0, \quad \forall j, t, n=3 \quad (4.25)$$

$$[h_{mq} \cdot P_{mqt} + \sum_c W_{mqct-1}] - [\sum_c \sum_j Z_{mqcjt} + \sum_c W_{mqct}] = 0, \quad \forall t, m = 1,2 \mid q = 1,2 \text{ veya } m = 3 \mid q = 1 \quad (4.26)$$

$$Z_{mqcjt} \leq M \cdot x_{mc} \quad \forall m, q, c, j, t \quad (4.27)$$

$$W_{mqct} \leq M \cdot x_{mc} \quad \forall m, q, c, t \quad (4.28)$$

$$X_{ijt}, Y_{jkt}, Z_{mqcjt}, V_{jnt}, W_{mqct} \geq 0, \quad \forall i, j, k, c, n, m, q, t \quad (4.29)$$

Kısıt (4.24)-(4.26)-*Denge Kısıtları*, ilk modeldeki (4.10) ve (4.11) kısıtlarının revize edilmiş halidir-fabrikalar ve toplama&geri dönüşüm merkezi için gelen ürün miktarının çıkan ürün miktarına eşit olmasını sağlar.

Kısıt (4.27) ve (4.28) - *Kullanım Kısıtları*, ilk modeldeki (4.17) ve (4.18) kısıtlarının revize edilmiş halidir - toplama ve geri dönüşüm tesisi açık değilse oradan fabrikalara ürün akışının gerçekleşmesini ve stok tutulmasını engellemektedir.

Kısıt (4.29)-*İşaret Kısıtı*, ilk modeldeki kısıt (4.19)'un revize edilmiş halidir - karar değişkenlerinin negatif olmaması gerektiğini göstermektedir.

Bunların dışında; *1.Denge, Talep, Kapasite, Atama, Tesis Sayısı ve İkili değişken Kısıtları* ilk modelde olduğu gibidir.

➤ **3. Durum Modeli:** Bu durumda, tedarik zinciri ağında sadece ileri akışta blok zinciri teknolojisinin kullanması sebebiyle mevcut ana model herhangi bir revizyon yapılmadan olduğu gibi uygulanır. Sadece P_{ij} parametresine ait değerler ilk modele göre %10 daha az olacak şekilde güncellenmelidir.

➤ **4. Durum Modeli:** Yeni durumda, tedarik zinciri ağındaki sadece tersine akışta blok zinciri teknolojisinin kullanması sonucu mevcut modelin geliştirilmesi, 2. Durumda olduğu gibi revize edilmesiyle sağlanabilir. Ayrıca, P_{ij} parametre değerlerinin ana modelde olduğu gibi ele alınmasına dikkat edilmelidir.

➤ **5. Durum Modeli:** Yeni durumda, ileri akışta sadece 2, 5 ve 7 numaralı tedarikçilerin blok zincir teknolojisini kullandığı ve tersine akışta sadece 2. Bölgenin blok zinciri teknolojisini kullanması sonucu mevcut modelin geliştirilmesi, aşağıdaki yeni indis, parametre ve sürekli değişkenlerin modele eklenerek bazı mevcut notasyonların, kısıtların, amaç fonksiyonlarının revize edilmesi ve ek kısıtların eklenmesiyle sağlanabilir. Ayrıca, sadece 2, 5 ve 7 numaralı tedarikçilere ait P_{ij} parametre değerlerinin güncellenmesine dikkat edilmelidir.

Ek indisler

q : Geri dönen ürün kalitesi ($q=1, 2, \dots, Q$)

Ek parametreler

rf_j : j fabrikasının oto parça yenileme maliyeti

h_{2q} : 2. bölgedeki q tipi ürün tutucuların sayısı

P_{qt} : t periyodunda 2. bölgedeki q kalite ürünü toplama ve geri dönüşüm merkezine getirecek olan müşteri oranı

Revize parametreler

R_q : q kalite ürüne ödenecek teşvik miktarı (R)

Ek karar değişkenleri

Z_{2qcjt} : t periyodunda c toplama ve geri dönüşüm tesisinden j fabrikasına taşınan 2. bölge q kalite ürün miktarı

W_{2qct} : t periyodunda toplama ve geri dönüşüm tesisindeki 2. bölgeden gelen çelik levha stok miktarı

Revize edilmiş amaç fonksiyonları

TPC: TPC'nin ilk kısmı, fabrikaların çelik levha talebini karşılamak üzere yapılan satın alma maliyetini, ikinci ve üçüncü kısımlar ise müşterilerden kullanılmış ürünler için ödenen teşvik maliyetini göstermektedir.

$$TPC = \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} P_{ij} + \sum_{\{m \in M | m=1 \text{ veya } m=3\}} \sum_t h_{mt} R_2 + \sum_q \sum_t h_{2q} \cdot P_{qt} \cdot R_q \quad (4.30)$$

TMC: Fabrika içindeki birim çelik levha işlem maliyetinden (üretim ve yeniden üretim ve yenileme maliyetleri) oluşmaktadır.

$$TMC = \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} m r_j + \sum_c \sum_j \sum_t (Z_{cjt} + Z_{22cjt}) r_j + Z_{21cjt} r f_j \quad (4.31)$$

TTC: Modelde taşıma çelik levha ve oto parça bazında ele alınmıştır. Tedarikçilerden fabrikalara ve yine toplama ve geri dönüşüm tesisinden fabrikalara olan çelik levha taşıma maliyetleri eşit kabul edilmiştir. Ayrıca, fabrikalardan marketlere ve müşterilerden toplama ve geri dönüşüm tesisine yapılan oto parça taşıma maliyetlerinin de eşit olduğu kabul edilmiştir. Toplam taşıma maliyeti;

$$TTC = a(\sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} e_{ij} + (\sum_c \sum_j \sum_t Z_{cjt} + \sum_q \sum_c \sum_j \sum_t Z_{2qcjt}) g_{jc}) + b(\sum_j \sum_k \sum_t Y_{jkt} f_{jk} + \sum_{\{m \in M | m=1 \text{ veya } m=3\}} \sum_c \sum_t h_{mt} h_{cm} x_{mc} + \sum_q \sum_c \sum_t h_{2q} P_{qt} h_{c2} x_{2c}) \quad (4.32)$$

TR ve TFC amaç fonksiyonları ilk modelde olduğu gibidir.

Revize edilmiş kısıtlar

$$[\sum_{i=n_2}^I X_{ijt} + \sum_c Z_{cjt} + \sum_q \sum_c Z_{2qcjt} + V_{jn(t-1)}] - [\sum_{k=n_2}^K Y_{jkt} + V_{jnt}] = 0, \quad \forall j, t, n=3 \quad (4.33)$$

$$[\sum_{\{m \in M | m=1 \text{ veya } m=3\}} h_{mt} + \sum_c W_{ct-1}] - [\sum_c \sum_j Z_{cjt} + \sum_c W_{ct}] = 0, \quad \forall t \quad (4.34)$$

$$Z_{cjt} \leq M \cdot x_{mc} \quad \forall m \in M | m = 1 \text{ veya } m = 3, c, j, t \quad (4.35)$$

$$W_{ct} \leq M \cdot x_{mc} \quad \forall m \in M | m = 1 \text{ veya } m = 3, c, t \quad (4.36)$$

$$X_{ijt}, Y_{jkt}, Z_{cjt}, V_{jnt}, W_{ct}, Z_{2qcjt}, W_{2qct} \geq 0, \quad \forall i, j, k, c, n, q, t \quad (4.37)$$

Ek kısıtlar

$$[h_{2q} \cdot P_{qt} + \sum_c W_{2qct-1}] - [\sum_c \sum_j Z_{2qcjt} + \sum_c W_{2qct}] = 0, \quad \forall q, t \quad (4.38)$$

$$Z_{2qcjt} \leq M \cdot x_{2c} \quad \forall q, c, j, t \quad (4.39)$$

$$W_{2qct} \leq M \cdot x_{2c} \quad \forall q, c, t \quad (4.40)$$

İlk modeldeki (4.10) ve (4.11) kısıtlarının revize edilmiş hali olan, Kısıt (4.33)-(4.34) ve modele yeni eklenen Kısıt (4.38)-Denge Kısıtları- fabrikalar ve toplama&geri dönüşüm merkezi için gelen ürün miktarının çıkan ürün miktarına eşit olmasını sağlar.

İlk modeldeki (4.17) ve (4.18) kısıtlarının revize edilmiş hali olan Kısıt (4.35) ve (4.36), ve modele yeni eklenen Kısıt (4.39) ve (4.40) - Kullanım Kısıtları- toplama ve geri dönüşüm tesisi açık değilse oradan fabrikalara ürün akışının gerçekleşmesini ve stok tutulmasını engellemektedir.

İlk modeldeki kısıt (4.19)'un revize edilmiş hali olan Kısıt (4.37)-İşaret Kısıtı - karar değişkenlerinin negatif olmaması gerektiğini göstermektedir.

Bunların dışında; 1 ve 2.Denge, Talep, Kapasite, Atama, Tesis Sayısı ve İkili değişken Kısıtları ilk modelde olduğu gibidir.

4.2. Çok Seviyeli Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemi

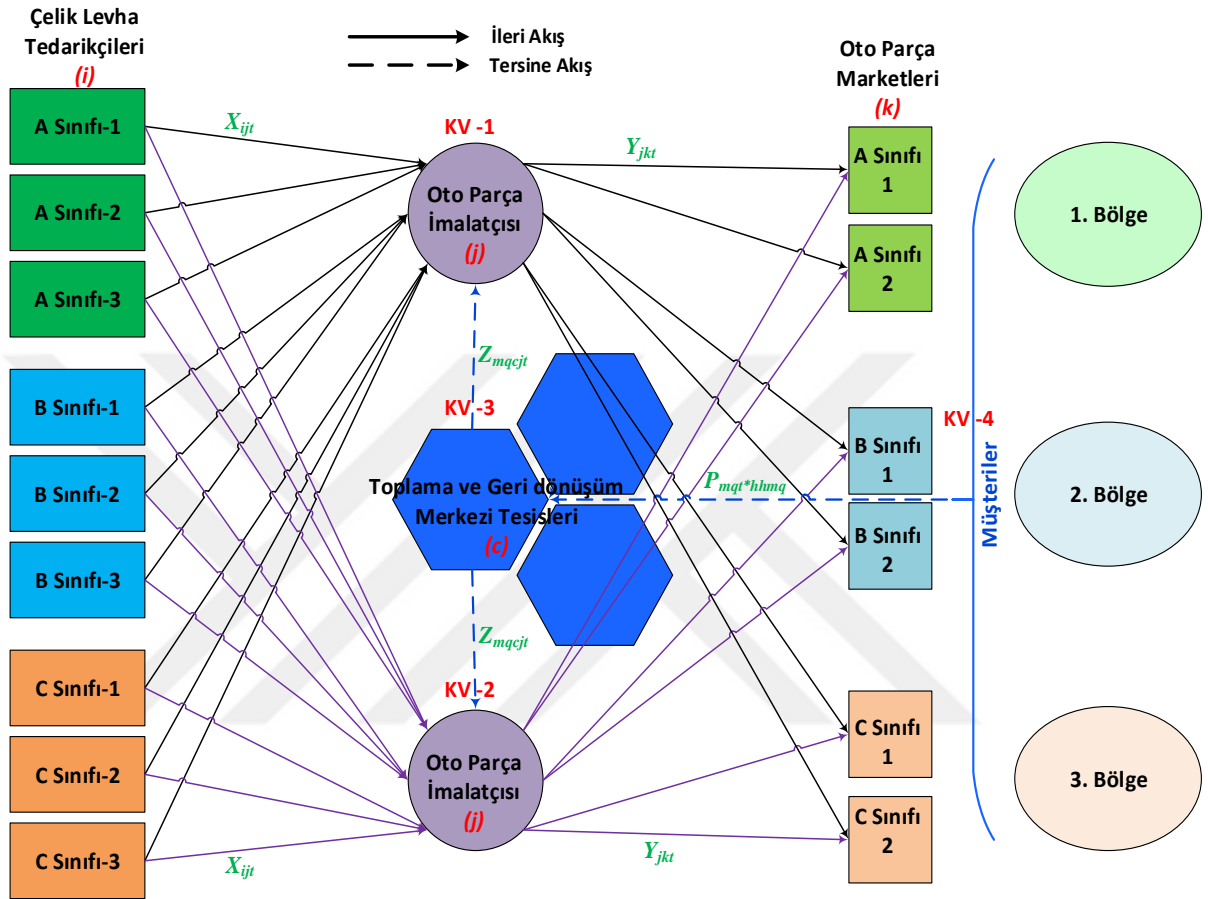
Geliştirilen KDTZ ağ tasarımı problemi, iki farklı üretici firma, birden fazla tesisi bulunan bir toplama&geri dönüşüm merkezi ve müşterilerin karlarını maksimize etme üzerine rekabetçi davranışlarını incelemektedir. Ele alınan probleme dayalı KDTZ ağı Şekil 4.2’de verilmiştir.

Akış tedarikçilerden ton cinsi üzerinden çelik levha satın alınması ile başlanmakta ve satın alınan levhalar fabrikalarda çelik oto parçalara dönüştürülerek müşterileri olan marketlere gönderilmektedir. Burada sattıkları çelik levhaların kalitelerine göre üç farklı segmentte tedarikçi ve yine aldıkları oto parçaların kalitelerine göre üç farklı segmentte market söz konusudur. Dolayısıyla fabrikalar kullandıkları çelik levhalara göre üç farklı kalitede ürün imal etmekte ve her kaliteyi ayrı ayrı fiyatlandırarak satışa sunmaktadır. Toplama ve geri dönüşüm merkezi ise kullanım ömrü sona eren veya kazalar ve çeşitli teknik problemler sonucunda müşterilerden geri dönen oto parçaları toplar ve kalitelerine göre farklı işlemler uygulayarak yeniden kullanılmak üzere satışa sunmaktadır. Burada alış verişi yaptıkları marketlere göre her biri farklı bölgelerde olan üç farklı segmentte müşteriler bulunmaktadır. Toplama ve geri dönüşüm merkezi, geri dönen oto parça miktarını arttırmak için müşterilere buldukları bölgeye ve ürünlerinin kalitesine göre bir takım teşviklerde bulunmaktadır. Geri dönen ürünler iki farklı kalite üzerinden değerlendirilmektedir. Toplama ve geri dönüşüm merkezinin bölge ve kaliteye göre uyguladığı geri kazanım işlemleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Toplama ve geri dönüşüm merkezi karını maksimize etmek üzere elindeki ürünleri en yüksek fiyatı veren firmaya satış yapmaktadır. Bunun dışında, farklı konumlarda üç tesise sahip olan toplama ve geri dönüşüm merkezi minimum maliyet oluşacak şekilde bunlardan ikisini hizmete sunma ve açılan bu tesislerden hizmet alacak müşterileri belirlemeyi amaçlamaktadır. Müşteriler ise ellerindeki kullanılmış ürünleri iade etmeye karar verirken toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından vaat edilen teşvik miktarını ve atanacakları tesisin konutlarına olan yakınlığını da dikkate alacaklardır.

Problem ile ilgili diğer varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ Müşteri talepleri her bir dönem için kesin olup, tümüyle karşılanmaktadır.
- ✓ Tedarikçilerin kapasiteleri sabit ve kesindir, diğer tesisler için üretim kapasitesi tüm ürün gereksinimi için yeterlidir.
- ✓ Yok satma olmadığı varsayılmıştır.
- ✓ Ürün ve parçalar ton üzerinden işlenmektedir.
- ✓ Fabrikalar, Toplama&Geri dönüşüm merkezi ve Müşteriler farklı Karar Vericilerdir.

- ✓ Açılacak Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesis sayısı bilinmektedir.
- ✓ Bütün Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesisleri eşit özelliktedir.
- ✓ Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesislerin açılabilceği noktalar belirlidir.
- ✓ Geri dönen ürünlerden atık çıkmadığı varsayılmıştır.



Şekil 4.2. Rekabetçi kapalı döngü tedarik zinciri ağı

Çizelge 4.2. Bölge ve kaliteye göre uygulanan geri kazanım işlemleri

Kalite Bölge	1.Kalite	2.Kalite
1.Bölge (A Sınıfı)	Fabrikalara satıldıktan sonra yenilenip B sınıfı oto parça şeklinde satılır	Toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından eritilerek B sınıfı çelik levha olarak fabrikalara satılır Fabrika tarafından yeniden üretilerek B sınıfı oto parça şeklinde satılır.
2.Bölge (B Sınıfı)	Fabrikalara satıldıktan sonra yenilenip C sınıfı oto parça şeklinde satılır	Toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından eritilerek C sınıfı çelik levha olarak fabrikalara satılır Fabrika tarafından yeniden üretilerek C sınıfı oto parça şeklinde satılır.
3.Bölge (C Sınıfı)	Toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından eritilerek C sınıfı çelik levha olarak fabrikalara satılır Fabrika tarafından yeniden üretilerek C sınıfı oto parça şeklinde satılır.	Müşteri tarafından atılır.

4.2.1. Matematiksel model

Model, yukarıdaki varsayımlara dayanarak talebi karşılamak üzere karı en büyükmeye çalışmaktadır.

İndisler

- i : Tedarikçiler ($i=1, 2, \dots, I$)
 j : Fabrikalar ($j=1, 2, \dots, J$)
 k : Marketler ($k=1, 2, \dots, K$)
 c : Toplama ve geri dönüşüm tesisleri ($c=1, 2, \dots, C$)
 m : Müşteri bölgeleri ($m=1, 2, \dots, M$)
 l : Çelik levha sınıfı ($l=1, 2, \dots, L$)
 n : Oto parça sınıfı ($n=1, 2, \dots, N$)
 q : Geri dönen ürün kalitesi ($q=1, 2, \dots, Q$)
 t : Periyot ($t=1, 2, \dots, T$)

Parametreler

- P_{ij} : i tedarikçisinden çelik parça satın alma maliyeti
 mr_j : j fabrikasının oto parça işlem maliyeti
 r_j : j fabrikasının oto parça yeniden üretim maliyeti
 rf_j : j fabrikasının oto parça yenileme maliyeti
 s_{jk} : j fabrikasının k marketine oto parça satış fiyatı
 a : Birim çelik levha taşıma maliyeti
 b : Birim oto parça taşıma maliyeti
 e_{ij} : i tedarikçisi ile j . fabrikası arasındaki mesafe
 f_{jk} : j fabrikası ile k marketi arasındaki mesafe
 g_{jc} : j fabrikası ile c toplama ve geri dönüşüm tesisi arasındaki mesafe
 h_{cm} : c toplama ve geri dönüşüm tesisi ile m müşteri bölgesi arasındaki mesafe
 f_c : c toplama ve geri dönüşüm tesisinin açma kapama maliyeti
 c_i : i tedarikçisinin kapasitesi
 d_{kt} : k marketinin t dönemindeki talebi
 h_{mq} : m bölgesindeki q tipi ürün tutucuların sayısı
 p : Açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesisi sayısı
 M : Büyük bir sayı

Tedarikçiler ve marketler için üç sınıf tanımlanmıştır. l çelik levha sınıfı ve n oto parça sınıfı aşağıdaki gibi belirlenmektedir. Burada, nl_1 ve nl_2 , l çelik levha için ve nn_1 ve nn_2 ise n oto parça için sınıfların sınırlarını ifade etmektedir.

$$l = \begin{cases} 1 & (A \text{ sınıfı}) & 1 \leq i < nl_1 \\ 2 & (B \text{ sınıfı}) & nl_1 \leq i < nl_2 \\ 3 & (C \text{ sınıfı}) & nl_2 \leq i \leq I \end{cases} \quad \forall i \text{ ve } 0 < nl_1 < nl_2$$

$$n = \begin{cases} 1 & (A \text{ sınıfı}) & 1 \leq k < nn_1 \\ 2 & (B \text{ sınıfı}) & nn_1 \leq k < nn_2 \\ 3 & (C \text{ sınıfı}) & nn_2 \leq k \leq K \end{cases} \quad \forall k \text{ ve } 0 < nn_1 < nn_2$$

Karar Değişkenleri

X_{ijt} : t periyodunda i tedarikçisinden j fabrikasına taşınan çelik levha miktarı

Y_{jkt} : t periyodunda j fabrikasından k marketine taşınan oto parça miktarı

Z_{mqcjt} : t periyodunda c toplama ve geri dönüşüm tesisinden j fabrikasına taşınan m bölgesi q kalite ürün miktarı

V_{jnt} : t periyodunda j fabrikasındaki n sınıfı oto parça stok miktarı

W_{mqct} : t periyodunda toplama ve geri dönüşüm tesisindeki çelik levha stok miktarı

P_{mqt} : t periyodunda m bölgesi q kalite ürünü toplama ve geri dönüşüm merkezine getirecek olan müşteri oranı

H_{mqj} : j fabrikasının toplama ve geri dönüşüm merkezinden oto parça satın alma maliyeti

R_{mq} : m bölgesi q kalite ürüne ödenecek teşvik miktarı

y_c : c toplama ve geri dönüşüm tesisi açılırsa 1, aksi halde 0

x_{mc} : m müşteri bölgesi, c toplama ve geri dönüşüm tesisine atanırsa 1, aksi halde 0

Amaç Fonksiyonları

Ele alınan modelde dört farklı karar verici (fabrikalar, toplama-geri dönüşüm merkezi ve müşteriler) olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle karar vericilere göre amaç fonksiyonları farklılık göstermektedir. Tüm amaç fonksiyonları, karı maksimize etmektedir. Yani model, toplam kazancı maksimize ederken toplam maliyeti minimize eder. Dolayısıyla amaç fonksiyonları toplam kazancın, toplam maliyete olan farkı şeklinde hesaplanmaktadır. KV-1 için amaç fonksiyonu iki kısımdan oluşmaktadır (4.41). Birinci kısım satılan oto parçalardan elde edilen geliri, ikinci kısım ise satın alma, işlem ve taşıma maliyetlerini belirtmektedir. KV-2 için de benzer amaçlar geçerlidir ve amaç fonksiyonu yine iki kısımdan oluşmaktadır (4.42). KV-3 için amaç fonksiyonunun ilk kısmı 2. el ürün satışından elde edilen geliri, ikinci kısım müşterilere ödenen teşvik ve sabit tesis maliyetlerinden oluşur (4.43). KV-4 için amaç fonksiyonunun ilk kısmı müşterilerin ürün geri dönüşüne karşılık aldıkları teşvik gelirini, ikinci kısım ise ürünleri toplama ve geri dönüşüm tesislerine taşıma maliyetini göstermektedir (4.44).

1. Firmanın (KV-1) amaç fonksiyonu

$$Z1_{max} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot s_{jk} - \left[\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t Z_{mqcjt} (H_{mqj} + a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t Z_{31cjt} (H_{31j} + r_j + a \cdot g_{jc}) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk} \right] \quad \forall j=1 \quad (4.41)$$

2. Firmanın (KV-2) amaç fonksiyonu

$$Z2_{max} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot s_{jk} - \left[\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t Z_{mqcjt} (H_{mqj} + a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t Z_{31cjt} (H_{31j} + r_j + a \cdot g_{jc}) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk} \right] \quad \forall j=2 \quad (4.42)$$

3. Toplama ve geri dönüşüm merkezinin (KV-3) amaç fonksiyonu

$$Z3_{max} = \sum_m \sum_q \sum_c \sum_j \sum_t Z_{mqcjt} \cdot H_{mqj} - \left[\sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot P_{mqt} \cdot R_{mq} + \sum_c f_c \cdot y_c \right] \quad (4.43)$$

4. Müşterilerin (KV-4) amaç fonksiyonu

$$Z4_{max} = \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot P_{mqt} \cdot R_{mq} - \left[\sum_m \sum_q \sum_c \sum_t h_{mq} \cdot P_{mqt} \cdot b \cdot h_{cm} \cdot x_{cm} \right] \quad (4.44)$$

Kısıtlar

$$\left[\sum_{i=1}^{nl_1-1} X_{ijt} + V_{jn(t-1)} \right] - \left[\sum_{k=1}^{nn_1-1} Y_{jkt} + V_{jnt} \right] = 0, \quad \forall j, t, n=1 \quad (4.45)$$

$$\left[\sum_{i=nl_1}^{nl_2-1} X_{ijt} + \sum_q \sum_c Z_{mqcjt} + V_{jn(t-1)} \right] - \left[\sum_{k=nn_1}^{nn_2-1} Y_{jkt} + V_{jnt} \right] = 0, \quad \forall j, t, n=2, m=1 \quad (4.46)$$

$$\left[\sum_{i=nl_2}^l X_{ijt} + \sum_q \sum_c Z_{2qcjt} + \sum_c Z_{31cjt} + V_{jn(t-1)} \right] - \left[\sum_{k=nn_2}^K Y_{jkt} + V_{jnt} \right] = 0, \quad \forall j, t, n=3 \quad (4.47)$$

$$\left[h_{mq} \cdot P_{mqt} + \sum_c W_{mqct-1} \right] - \left[\sum_c \sum_j Z_{mqcjt} + \sum_c W_{mqct} \right] = 0, \quad \forall t, m = 1, 2 \mid q = 1, 2 \text{ veya } m = 3 \mid q = 1 \quad (4.48)$$

$$\sum_j Y_{jkt} = d_{kt}, \quad \forall k, t \quad (4.49)$$

$$\sum_j X_{ijt} \leq c_i, \quad \forall i, t \quad (4.50)$$

$$\sum_c x_{mc} = 1 \quad \forall m \quad (4.51)$$

$$x_{mc} \leq y_c \quad \forall m, c \quad (4.52)$$

$$\sum_c y_c = p \quad (4.53)$$

$$\sum_t P_{mqt} \leq \sum_c x_{mc} \quad \forall q, m \quad (4.54)$$

$$Z_{mqcjt} \leq M \cdot x_{mc} \quad \forall m, q, c, j, t \quad (4.55)$$

$$W_{mqct} \leq M \cdot x_{mc} \quad \forall m, q, c, t \quad (4.56)$$

$$R_{mq} \leq H_{mqj} \quad \forall m, q, j \quad (4.57)$$

$$X_{ijt}, Y_{jkt}, Z_{mqcjt}, V_{jnt}, W_{mqct}, P_{mqt}, H_{mqj}, R_{mq} \geq 0, \quad \forall i, j, k, c, n, m, q, t \quad (4.58)$$

$$y_c, x_{mc} = \{0, 1\}, \quad \forall c, m \quad (4.59)$$

Kısıt (4.44)-(4.48)-Denge Kısıtlarıdır-fabrikalar ve toplama&geri dönüşüm merkezi için gelen ürün miktarının çıkan ürün miktarına eşit olmasını sağlar.

Kısıt (4.49)-*Talep Kısıtı*- marketlere gönderilen oto parçalarının talebi karşılama gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (4.50)-*Kapasite Kısıtı*- tedarikçilerinden fabrikalara taşınan çelik levha miktarının ilgili tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağı şartını sağlamaktadır.

Kısıt (4.51) ve (4.52)-*Atama Kısıtları*- bir müşteri bölgesinin tüm geri dönüşleri sadece bir toplama ve geri dönüşüm tesisine iletmesini, başka bir ifade ile her bir müşteri bölgesinin yalnız bir toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmasını sağlamak ve herhangi bir müşteri bölgesinin açık olmayan bir toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmasını engellemektedir.

Kısıt (4.53)- *Tesis Sayısı Kısıtı*- açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesis sayısını p adet ile sınırlandırmaktadır.

Kısıt (4.54) bir müşteri bölgesi herhangi bir toplama tesisine atanmamışsa, o bölgeden toplama ve geri dönüşüm tesisine kullanılmış ürün getirecek olan müşteri oranının (P_{mqt}) sıfır olmasını sağlar.

Kısıt (4.55) ve (4.56) - *Kullanım Kısıtları*- toplama ve geri dönüşüm tesisi açık değilse oradan fabrikalara ürün akışının gerçekleşmesini ve stok tutulmasını engellemektedir.

Kısıt (4.57) toplama ve geri dönüşüm merkezinin müşterilere sunduğu teşvik ücreti, fabrikalara kullanılmış ürün satış fiyatını aşmamalıdır.

Kısıt (4.58) ve (4.59)-*İşaret Kısıtları*- ise karar değişkenlerinin negatif olmaması gerektiği ve ikili değişkenleri göstermektedir.

KDTZ Modelinin formülasyonu, amaç fonksiyonlarında bulunan $Z_{mqcjt} \cdot H_{mqj}$, $P_{mqt} \cdot R_{mq}$ ve $P_{mqt} \cdot x_{mc}$ ifadelerinden dolayı çözülmesi zor olan karma tamsayılı doğrusal olmayan bir modeldir. Bu ifadelerin doğrusallaştırılması, modele aşağıdaki yeni parametre ve sürekli değişkenler eklenerek amaç fonksiyonlarının revize edilmesi ve ek kısıtlar eklenmesiyle sağlanabilir.

Ek parametreler

\bar{P}_{mqt} : P_{mqt} karar değişkeninin üst sınırı

\bar{Z}_{mqcjt} : Z_{mqcjt} karar değişkeninin üst sınırı

\bar{H}_{mqj} : H_{mqj} karar değişkeninin üst sınırı

\bar{R}_{mq} : R_{mq} karar değişkeninin üst sınırı

\underline{P}_{mqt} : P_{mqt} karar değişkeninin alt sınırı

\underline{Z}_{mqcjt} : Z_{mqcjt} karar değişkeninin alt sınırı

\underline{H}_{mqj} : H_{mqj} karar değişkeninin alt sınırı

\underline{R}_{mq} : R_{mq} karar değişkeninin alt sınırı

Ek karar değişkenleri

$P_{x_{cmqt}}$: $P_{mqt} * x_{mc}$ değerini net belirleyebilmek için kullanılan yardımcı karar değişkeni

ZH_{mqcjt} : $Z_{mqcjt} * H_{mqj}$ değerini net belirleyebilmek için kullanılan yardımcı karar değişkeni

RP_{mqt} : $R_{mq} * P_{mqt}$ değerini net belirleyebilmek için kullanılan yardımcı karar değişkeni

Revize edilmiş amaç fonksiyonları

1. Firmanın (KV-1) amaç fonksiyonu

$$Z1_{max} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - \left[\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk} \right] \quad \forall j=1 \quad (4.60)$$

2. Firmanın (KV-2) amaç fonksiyonu

$$Z2_{max} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - \left[\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk} \right] \quad \forall j=2 \quad (4.61)$$

Toplama ve geri dönüşüm merkezinin (KV-3) amaç fonksiyonu

$$Z3_{max} = \sum_m \sum_q \sum_c \sum_j \sum_t ZH_{mqcjt} - \left[\sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} + \sum_c f_c \cdot y_c \right] \quad (4.62)$$

Müşterilerin (KV-4) amaç fonksiyonu

$$Z4_{max} = \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} - \left[\sum_m \sum_q \sum_c \sum_t h_{mq} \cdot b \cdot h_{cm} \cdot P_{x_{cmqt}} \right] \quad (4.63)$$

Ek kısıtlar

- $P_{mqt} * x_{mc}$ ikili ve sürekli değişkenin çarpımını doğrusallaştırmak için;

P_{mqt} sürekli değişkeni t periyodunda m bölgesi q kalite ürünü toplama ve geri dönüşüm merkezine getirecek olan müşteri oranı olduğundan [0,1] aralığında değer alır ve üst sınırı (\bar{P}_{mqt}) 1' dir.

x_{mc} ikili değişkendir- m müşteri bölgesi, c toplama ve geri dönüşüm tesisine atanırsa 1, diğer durumda 0 değerini alır.

$$Px_{cmqt} = P_{mqt} * x_{mc} \text{ ise,}$$

$$Px_{cmqt} \leq x_{mc} \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, c, t \quad (4.64)$$

$$Px_{cmqt} \leq P_{mqt}, \quad \forall m, q, c, t \quad (4.65)$$

$$Px_{cmqt} \geq P_{mqt} - (1 - x_{mc}) \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, c, t \quad (4.66)$$

$$Px_{cmqt} \geq 0, \quad \forall m, q, c, t \quad (4.67)$$

- $Z_{mqcjt} * H_{mqj}$ ve $R_{mq} * P_{mqt}$ iki sürekli değişkenin çarpımını doğrusallaştırmak için McCormick Envelopes ile değiştirilir (McCormick Envelopes, doğrusal olmayan problemlerde kullanılan bir tür dışbükey gevşetme türüdür);

$$ZH_{mqcjt} : Z_{mqcjt} * H_{mqj} \text{ ise,}$$

$$ZH_{mqcjt} \geq \underline{Z}_{mqcjt} \cdot H_{mqj} + Z_{mqcjt} \cdot \underline{H}_{mqj} - \underline{Z}_{mqcjt} \cdot \underline{H}_{mqj}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (4.68)$$

$$ZH_{mqcjt} \geq \bar{Z}_{mqcjt} \cdot H_{mqj} + Z_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{mqj} - \bar{Z}_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{mqj}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (4.69)$$

$$ZH_{mqcjt} \leq \bar{Z}_{mqcjt} \cdot H_{mqj} + Z_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{mqj} - \bar{Z}_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{mqj}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (4.70)$$

$$ZH_{mqcjt} \leq \underline{Z}_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{mqj} + \underline{Z}_{mqcjt} \cdot H_{mqj} - \underline{Z}_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{mqj}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (4.71)$$

$$\underline{Z}_{mqcjt} \leq Z_{mqcjt} \leq \bar{Z}_{mqcjt}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (4.72)$$

$$\underline{H}_{mqj} \leq H_{mqj} \leq \bar{H}_{mqj}, \quad \forall m, q, j \quad (4.73)$$

$$RP_{mqt} : R_{mq} * P_{mqt} \text{ ise,}$$

$$RP_{mqt} \geq \underline{R}_{mq} \cdot P_{mqt} + R_{mq} \cdot \underline{P}_{mqt} - \underline{R}_{mq} \cdot \underline{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (4.74)$$

$$RP_{mqt} \geq \bar{R}_{mq} \cdot P_{mqt} + R_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt} - \bar{R}_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (4.75)$$

$$RP_{mqt} \leq \bar{R}_{mq} \cdot P_{mqt} + R_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt} - \bar{R}_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (4.76)$$

$$RP_{mqt} \leq \underline{R}_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt} + \underline{R}_{mq} \cdot P_{mqt} - \underline{R}_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (4.77)$$

$$\underline{R}_{mq} \leq R_{mq} \leq \bar{R}_{mq}, \quad \forall m, q \quad (4.78)$$

$$\underline{P}_{mqt} \leq P_{mqt} \leq \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (4.79)$$

4.3. Ritmik Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımı

Bu bölümde, küresel rekabetin yoğunlaştığı sürekli değişen dünyaya daha uyumlu tedarik zincirindeki tüm taraflar için tatmin edici çözümler sunan Ritmik etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı geliştirilmiştir. Sakawa ve Nishizaki (2002b) yaklaşımı merkezi olmayan farklı seviyedeki karar vericileri memnun edecek çözümlere ulaşmak için geliştirilen etkili bir yöntemdir. Fakat bu yaklaşım da diğerleri gibi zaman kavramını göz ardı etmektedir. Nitekim tedarik zincirlerinde farklı seviyeler arasındaki tatmin edici denge, dönem bazında da farklılıklar gösterebilir. Örneğin üst seviyedeki KV her dönem farklı bir tatmin seviyesini hedefleyebilir. Bu durumda alt seviye KV'ler üst seviye KV'nin değişen hedeflerine göre kendi amaçlarını optimize etmeye çalışacak ve dolayısıyla kendileri de her dönem farklı tatmin seviyeleri elde edecektir. Bu tarz karar modellerinin çözümü için Ritmik etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı önerilmektedir. Bu yaklaşım, merkezi olmayan farklı seviyeli doğrusal programlama problemleri için dönem bazında ritmik olarak değişen EBP sunar. Önerilen yöntemin çalışma mantığı Sakawa ve Nishizaki (2002b) yaklaşımı temel alınarak geliştirilmiş ve işlem adımları aşağıda ayrıntılı bir biçimde verilmiştir:

Adım 1: Ele alınan çok amaçlı probleme ait her bir $Z_j(x)$ amaç dönemlere ayrılarak $Z_{jt}(x)$ şeklinde formüle edilir ve problem aşağıdaki halini alır.

$$\begin{aligned}
 &Z_{11}(x) \quad (\text{KV-1'in 1. Döneme ait amaç fonksiyonu}) \\
 &Z_{12}(x) \quad (\text{KV-1'in 2. Döneme ait amaç fonksiyonu}) \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad \vdots \\
 &Z_{1t}(x) \quad (\text{KV-1'in t. Döneme ait amaç fonksiyonu}) \\
 & \\
 &Z_{21}(x) \quad (\text{KV-2'in 1. Döneme ait amaç fonksiyonu}) \\
 &Z_{22}(x) \quad (\text{KV-2'in 2. Döneme ait amaç fonksiyonu}) \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad \vdots \\
 &Z_{2t}(x) \quad (\text{KV-2'in t. Döneme ait amaç fonksiyonu}) \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad \vdots \\
 &Z_{jt}(x) \quad (\text{KV-j'in t. Döneme ait amaç fonksiyonu}) \\
 &Ax \leq B \quad \text{tüm deterministik kısıtlar için} \\
 &x \geq 0
 \end{aligned}$$

(4.80)

Adım 2: Zimmermann (1978) yaklaşımındaki adımlar uygulanarak ilgili $(j^*t)x(j^*t)$ boyutunda bir ödünleşme tablosu oluşturulur ve $\mu_{jt}(Z_{jt}(x))$ üyelik fonksiyon değerleri elde edilir. Tanımlanan üyelik fonksiyonlarıyla model bulanık çok amaçlı problem haline dönüştürülür.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \mu_{11}(Z_{11}(x)), \quad (\text{KV-1'in 1. Döneme ait üyelik fonksiyonu}) \\
& \text{Max } \mu_{12}(Z_{12}(x)), \quad (\text{KV-1'in 2. Döneme ait üyelik fonksiyonu}) \\
& \quad \vdots \\
& \quad \vdots \\
& \text{Max } \mu_{1t}(Z_{1t}(x)), \quad (\text{KV-1'in t. Döneme ait üyelik fonksiyonu}) \\
& \text{Max } \mu_{21}(Z_{21}(x)), \quad (\text{KV-2'in 1. Döneme ait üyelik fonksiyonu}) \\
& \text{Max } \mu_{22}(Z_{22}(x)), \quad (\text{KV-2'in 2. Döneme ait üyelik fonksiyonu}) \\
& \quad \vdots \\
& \quad \vdots \\
& \text{Max } \mu_{2t}(Z_{2t}(x)), \quad (\text{KV-2'in t. Döneme ait üyelik fonksiyonu}) \\
& \quad \vdots \\
& \quad \vdots \\
& \text{Max } \mu_{jt}(Z_{jt}(x)), \quad (\text{KV-j'in t. Döneme ait üyelik fonksiyonu}) \\
& Ax \leq B \quad \text{tüm deterministik kısıtlar için} \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.81}$$

Adım 3: Üst seviye KV'nin her bir döneme ait minimum tatmin seviyelerini $(\tilde{\delta}_t)$ belirlemede bir fikir oluşturması açısından, ilk olarak model, tüm karar vericilerin minimum memnuniyet seviyelerini maksimize etmek üzere genel bir λ karar değişkeni eklenerek Zimmermann yaklaşımı gibi aşağıdaki tek amaçlı kesin doğrusal programlama problemine dönüştürülür.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \lambda \\
& \lambda \leq \mu_{jt}(Z_{jt}(x)), \quad \forall j, t \\
& Ax \leq B \quad \text{tüm deterministik kısıtlar için} \\
& x \geq 0 \\
& 0 \leq \lambda \leq 1.
\end{aligned} \tag{4.82}$$

Adım 4: Elde edilen genel λ değeri göz önünde bulundurularak $\tilde{\delta}_t$ ($\tilde{\delta}_t > \lambda$) değerleri ve iki seviye arasındaki tatmin oranına ait sınırlar $[\Delta_L, \Delta_U]$ belirlenir. Alt seviye KV'lerin her döneme ait ortak tatmin seviyeleri λ_t ve üst seviye KV'nin her döneme ait minimum tatmin

seviyeleri $\tilde{\delta}_t$ 'lerin bir önceki adımdaki tek amaçlı kesin modele eklenmesiyle problem yine aşağıdaki çok amaçlı probleme dönüşür.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \lambda_1 \\
& \text{Max } \lambda_2 \\
& \quad \cdot \\
& \quad \cdot \\
& \quad \cdot \\
& \text{Max } \lambda_t \\
& \quad \tilde{\delta}_1 \leq \mu_{11}(Z_{11}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Üst seviye KV}) \\
& \quad \tilde{\delta}_2 \leq \mu_{12}(Z_{12}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Üst seviye KV}) \\
& \quad \cdot \\
& \quad \cdot \\
& \quad \tilde{\delta}_t \leq \mu_{1t}(Z_{1t}(x)), \quad (t. \text{ Dönem-Üst seviye KV}) \\
& \quad \lambda_1 \leq \mu_{21}(Z_{21}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Alt seviye 1. KV}) \\
& \quad \lambda_1 \leq \mu_{31}(Z_{31}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Alt seviye 2. KV}) \\
& \quad \cdot \\
& \quad \cdot \\
& \quad \lambda_1 \leq \mu_{j1}(Z_{j1}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Alt seviye j. KV}) \\
& \quad \lambda_2 \leq \mu_{22}(Z_{22}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Alt seviye 1. KV}) \\
& \quad \lambda_2 \leq \mu_{32}(Z_{32}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Alt seviye 2. KV}) \\
& \quad \cdot \\
& \quad \cdot \\
& \quad \lambda_2 \leq \mu_{j2}(Z_{j2}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Alt seviye j. KV}) \\
& \quad \cdot \\
& \quad \cdot \\
& \quad \lambda_t \leq \mu_{jt}(Z_{jt}(x)), \quad (t. \text{ Dönem-Alt seviye j. KV}) \\
& \text{Ax} \leq \text{B} \quad \text{tüm deterministik kısıtlar için} \\
& \quad x \geq 0 \\
& \quad 0 \leq \lambda_t, \tilde{\delta}_t \leq 1, \quad \forall t
\end{aligned} \tag{4.83}$$

Adım 5: Elde edilen çok amaçlı problemi tek amaçlı probleme dönüştürmek için Zimmermann (1978) yaklaşımındaki adımlar λ_t amaç fonksiyonları için tekrar uygulanarak txt boyutunda bir ödünleşme tablosu oluşturulur ve $\mu_t(\lambda_t)$ üyelik fonksiyon değerleri elde edilir. Tanımlanan üyelik fonksiyonlarının minimum memnuniyet seviyelerini maksimize etmek için modele yine ortak bir β karar değişkeni eklenerek aşağıdaki tek amaçlı kesin doğrusal programlama problemine dönüştürülür.

Max β

$$\beta \leq \mu_1(\lambda_1), \quad (1. \text{ Amaç fonk.})$$

$$\beta \leq \mu_2(\lambda_2), \quad (2. \text{ Amaç fonk.})$$

⋮

$$\beta \leq \mu_t(\lambda_t), \quad (t. \text{ Amaç fonk.})$$

$$\tilde{\delta}_1 \leq \mu_{11}(Z_{11}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Üst seviye KV})$$

$$\tilde{\delta}_2 \leq \mu_{12}(Z_{12}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Üst seviye KV})$$

⋮

$$\tilde{\delta}_t \leq \mu_{1t}(Z_{1t}(x)), \quad (t. \text{ Dönem-Üst seviye KV})$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{21}(Z_{21}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Alt seviye 1. KV})$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{31}(Z_{31}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Alt seviye 2. KV})$$

⋮

$$\lambda_1 \leq \mu_{j1}(Z_{j1}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Alt seviye j. KV})$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{22}(Z_{22}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Alt seviye 1. KV})$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{32}(Z_{32}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Alt seviye 2. KV})$$

⋮

$$\lambda_2 \leq \mu_{j2}(Z_{j2}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Alt seviye j. KV})$$

⋮

$$\lambda_t \leq \mu_{jt}(Z_{jt}(x)), \quad (t. \text{ Dönem-Alt seviye j. KV})$$

$$Ax \leq B \quad \text{tüm deterministik kısıtlar için}$$

$$x \geq 0$$

$$0 \leq \lambda_t, \tilde{\delta}_t, \beta \leq 1, \quad \forall t \quad (4.84)$$

Adım 6: Son modelin çözümünden sonucu elde edilen üst seviye KV'nin memnuniyet seviyesi önceden belirlediği $\tilde{\delta}_t$ değerine ya eşit ya da daha büyük çıkacaktır. Ancak, tüm dönemler için her iki seviye arasında dengeli bir memnuniyet seviyesine ulaşıldığından emin olmak için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$\Delta_t = \frac{\min_{j \in J} \mu_{jt}(Z_{jt}(x))}{\mu_{1t}(Z_{1t}(x))}, \quad \forall t \quad (4.85)$$

Eğer $\Delta_t > \Delta_U$ ise üst seviye KV $\tilde{\delta}_t$ ' yi artırarak Δ_t değerini günceller. Bu durumda üst seviye k KV'nin memnuniyet seviyesi artacak, alt seviye KV'lerin memnuniyet seviyesi de düşeceğinden Δ_t değeri belirlenen aralıkta yer alacaktır. Eğer $\Delta_t < \Delta_L$ ise, üst seviye KV minimum memnuniyet seviyesi yani $\tilde{\delta}_t$ ' yi azaltarak Δ_t değerini günceller. Bu durumda üst seviye KV'nin memnuniyet seviyesi azalacak, alt seviye KV'lerin memnuniyet seviyesi de artacağından Δ_t değeri yine belirlenen aralıkta yer alacaktır. Bu güncellemeler, memnuniyet seviyesi oranı (Δ_t), sınırlar $[\Delta_L, \Delta_U]$ dâhilinde olana kadar devam eder.

Burada $\tilde{\delta}_t$ değerini her güncellemede, λ_t amaç fonksiyonunun alt ve üst değerlerinin değişimine sebep olacaktır. Bu yüzden, değişen her $\tilde{\delta}_t$ değeri ile birlikte modeldeki $\mu_t(\lambda_t)$ üyelik fonksiyonun da problemin çözümünden önce güncellenmesine dikkat edilmelidir. Bu adımda uygulanacak işlemler Şekil 4.3'de özetlenmiştir.

Adım 7: Bu aşamada, bir önceki adımda kontrol edil(e)meyen alt seviyedeki KV'leri de dikkate almak için üst seviye KV ile alt seviye her bir KV arasındaki memnuniyet seviye oranları tek tek incelenir. Bunun için aşağıdaki eşitlikten yararlanır.

$$\Delta_{jt} = \frac{\mu_{jt}(Z_{jt}(x))}{\mu_{1t}(Z_{1t}(x))}, \quad \forall j, t \quad (4.86)$$

Alt seviyedeki herhangi bir KV'nin memnuniyet seviye oranı eğer Δ_U değerinden büyük ise, üst seviye KV, Δ_U sınırını aşan alt seviyedeki ilgili KV için maksimum bir memnuniyet seviyesi ($\bar{\delta}_{it}$) belirler. Maksimum memnuniyet seviyesi ($\bar{\delta}_{it}$) üst seviye KV'nin üyelik fonksiyonu değeri μ_{1t} ile memnuniyet oranı üst sınırının Δ_U çarpılması ile $\bar{\delta}_{it} = \Delta_U \times \mu_{1t}$ şeklinde hesaplanır. $\bar{\delta}_{it}$ değişkeninin modele eklenmesiyle problem aşağıdaki şekle dönüşür.

Max β

$$\beta \leq \mu_1(\lambda_1), \quad (1. \text{ Amaç fonk.})$$

$$\beta \leq \mu_2(\lambda_2), \quad (2. \text{ Amaç fonk.})$$

⋮

$$\beta \leq \mu_t(\lambda_t), \quad (t. \text{ Amaç fonk.})$$

$$\tilde{\delta}_1 \leq \mu_{11}(Z_{11}(x)), \quad (1. \text{ Dönem-Üst seviye KV})$$

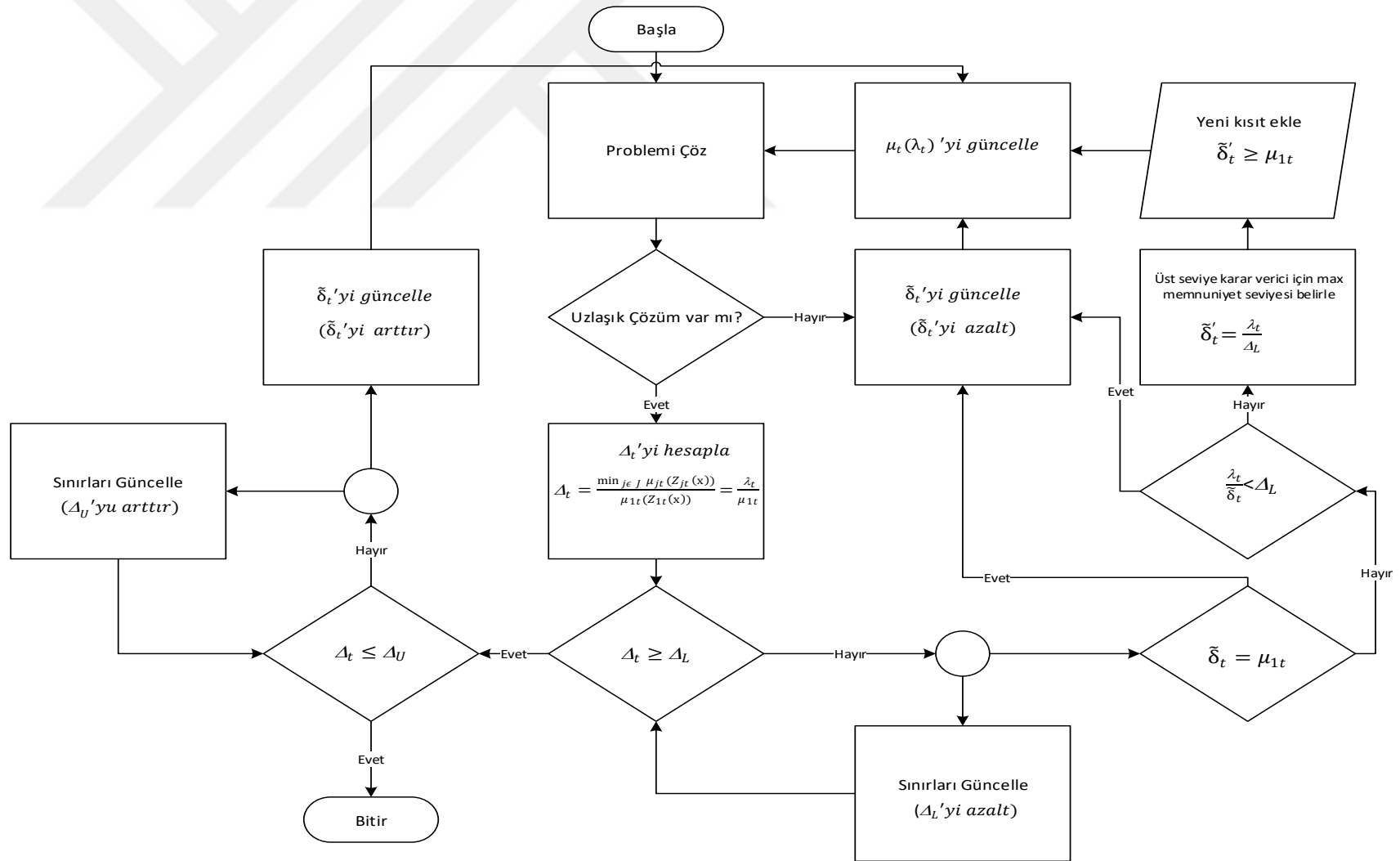
$$\tilde{\delta}_2 \leq \mu_{12}(Z_{12}(x)), \quad (2. \text{ Dönem-Üst seviye KV})$$

⋮

$$\begin{aligned}
& \cdot \\
& \cdot \\
& \tilde{\delta}_t \leq \mu_{1t}(Z_{1t}(x)), \quad (\text{t. Dönem-Üst seviye KV}) \\
& \bar{\delta}_{it} \geq \mu_{it}(Z_{it}(x)), \quad (\text{t. Dönem-Alt seviye i. KV}) \\
& \\
& \lambda_1 \leq \mu_{21}(Z_{21}(x)), \quad (1. Dönem-Alt seviye 1. KV) \\
& \lambda_1 \leq \mu_{31}(Z_{31}(x)), \quad (1. Dönem-Alt seviye 2. KV) \\
& \cdot \\
& \cdot \\
& \lambda_1 \leq \mu_{j1}(Z_{j1}(x)), \quad (1. Dönem-Alt seviye j. KV) \\
& \\
& \lambda_2 \leq \mu_{22}(Z_{22}(x)), \quad (2. Dönem-Alt seviye 1. KV) \\
& \lambda_2 \leq \mu_{32}(Z_{32}(x)), \quad (2. Dönem-Alt seviye 2. KV) \\
& \cdot \\
& \cdot \\
& \lambda_2 \leq \mu_{j2}(Z_{j2}(x)), \quad (2. Dönem-Alt seviye j. KV) \\
& \cdot \\
& \cdot \\
& \lambda_t \leq \mu_{jt}(Z_{jt}(x)), \quad (\text{t. Dönem-Alt seviye j. KV}) \\
& Ax \leq B \quad \text{tüm deterministik kısıtlar için} \\
& x \geq 0 \\
& 0 \leq \lambda_t, \tilde{\delta}_t, \beta, \bar{\delta}_{it} \leq 1, \quad \forall i, t
\end{aligned} \tag{4.87}$$

Yukarıdaki problem çözüldükten sonra tüm alt seviyedeki KV'lerin yeni memnuniyet oranları tekrar hesaplanır. Elde edilen yeni memnuniyet oranları sınırlar arasında ise algoritma sonlandırılır.

Aksi halde tüm memnuniyet oranları, belirlenen sınırlar dâhiline girinceye kadar bu işlemler devam eder.



Şekil 4.3. Ritmik yaklaşımı- Adım 6'ya ait işlem akış şeması

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, bir önceki bölümde verilen matematiksel modeller hipotetik verilerle GAMS/CPLEX 24.0 paket programında test edilerek geçerlilikleri gösterilmiştir. Daha sonra ikinci problemin uzlaşık çözümü için öncelikle üçüncü bölümde verilen bulanık çok amaçlı yaklaşımlar ardından geliştirilen Ritmik yaklaşım uygulanarak elde edilen sonuçlar üzerinden karşılaştırmalı analizler yapılmış ve karar vericiye yönetsel önerilerde bulunulmuştur.

5.1. Problem (1) Uygulaması için Sayısal Örnek

Ana modelin planlaması üç periyot üzerinden yapılmıştır. Birim çelik levha taşıma maliyeti (a) 0,04 pb, birim oto parça taşıma maliyeti (b) 0,08 pb, geri dönen ürüne ödenecek teşvik miktarı (R) 7 pb ve açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesisi sayısı (p) 2 olarak belirlenmiştir. Çelik levha ve oto parça için sınıfların sınırları $nl_1=4$ ve $nl_2=7$, $nn_1=3$ ve $nn_2=5$ olarak ele alınmıştır. Ana modele ait diğer parametreler aşağıdaki Çizelge 5.1-5.4’de verilmiştir. 2. Durum ve 3. Durum Modelleri için fabrikaların yenileme maliyetleri (rf_j) sırasıyla 3 ve 3,2 pb olarak belirlenmiş ve gereken diğer ek parametreler ise sırasıyla Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’ da verilmiştir. Çizelge 5.1’de verilen P_{ij} değerleri 2., 3. ve 5. Durum modellerinde belirtildiği gibi % 10 daha az olacak şekilde güncellenmelidir.

Çizelge 5.1. Çelik levha satın alma maliyetleri (pb), işlem maliyetleri (pb)ve tedarikçi kapasiteleri (ton)

P_{ij}	Fabrikalar (j)		c_i	
	Tedarikçiler(i)	1		2
1		30	28.5	600
2		30	30	700
3		30	30.3	750
4		21	22	950
5		20	20	900
6		20.5	20.5	850
7		10	10	450
8		10	10.2	480
9		10	10	496
mr_j		7	7.2	
r_j		8	8.2	

Çizelge 5.2. Oto parça satış fiyatları (pb) ve müşteri(market) talepleri (ton)

s_{jk}		Marketler (k)					
		1	2	3	4	5	6
Fabrikalar (j)	1	350	350	120	120	95	95
	2	360	360	130	130	98	98
Periyot (t)	1	200	200	300	250	400	440
	2	360	300	200	420	490	405
	3	300	150	230	250	400	440

Çizelge 5.3. Mesafeler (km)

		Tedarikçiler (i)								
e_{ij}		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fabrikalar (j)	1	300	350	330	450	400	440	500	450	490
	2	360	300	200	420	490	405	630	502	500
		Marketler (k)								
f_{jk}		1	2	3	4	5	6			
Fabrikalar (j)	1	200	250	120	128	90	85			
	2	220	208	128	125	80	87			
		Toplama&geri dönüşüm tesisleri (c)								
g_{jc}		1	2	3						
Fabrikalar (j)	1	95	180	150						
	2	120	220	120						
		Toplama&geri dönüşüm tesisleri (c)								
h_{cm}		1	2	3						
Müşteri bölgeleri (m)	1	50	52	15						
	2	35	20	30						
	3	35	75	20						

Çizelge 5.4. Ürün tutucu sayıları ve sabit maliyetler (pb)

		Periyot (t)		
h_{mt}		1	2	3
Müşteri		250	350	325
bölgeleri		250	350	325
(m)		250	350	325
		Toplama&geri dönüşüm tesisleri (c)		
		1	2	3
	f_c	500	700	650

Çizelge 5.5. 2. ve 4. Durum Modelleri için: Bölgelere göre ürün tutucu sayıları, ödenecek teşvik miktarları (pb) ve müşteri oranları

	Geri dönen ürün kalitesi (q)		Geri dönen ürün kalitesi(q)		P_{mqt}	Geri dönen ürün kalitesi(q)								
	1	2	1	2		1			2					
h_{mq}	1	2	R_{mq}	1	2	Periyot(t)			1	2	3	1	2	3
Müşteri	1	500	600	13	10				0,3	0,6	0,1	0,2	0,6	0,2
bölgeleri	2	400	750	10	7				0,4	0,5	0,1	0,3	0,5	0,2
(m)	3	750	0	7	0				0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2

Çizelge 5.6. 5. Durum Modeli için: 2. Bölgede bulunan ürün tutucu sayıları, ödenecek teşvik miktarları (pb) ve müşteri oranları

	h_{2q}	R_q	P_{qt}	Periyot (t)		
				1	2	3
Geri dönen ürün kalitesi(q)	1 400	10		0,4	0,5	0,1
	2 750	7		0,3	0,5	0,2

5.1.1. Bulgular ve tartışma

Geliştirilen KTDP modelleri bu veriler doğrultusunda GAMS paket programı ile farklı durumlar için ayrı ayrı çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. Optimal amaç fonksiyonu değerleri

Amaç Fonksiyonu	Z	TR	TC	TPC	TMC	TTC	TFC
1. Durum	746980.20	1010450	263469.80	101478.0	43777	117564.80	650
2. Durum	771611.00	1010450	238839.00	84400.20	39792	113996.80	650
3. Durum	755028.00	1010450	255422.00	93430.20	43777	117564.80	650
4. Durum	765233.20	1010450	245216.80	90778.00	39792	113996.80	650
5. Durum	749808.20	1010450	260641.80	101778.0	41867	116346.80	650

Her beş durumda da talepler eşit olduğundan elde edilen kazançlar (TR) da aynıdır. Yine tüm senaryolarda sadece 3. toplama&geri dönüşüm tesisi açılarak tüm bölgeler bu tesise atanmış ve dolayısıyla eşit sabit işletme maliyetine katlanılmıştır. Bunun dışında katlanılan diğer maliyetler tüm senaryolar için farklılık göstermekte ve bu doğrultuda yine tüm senaryolar için kar üzerinde farklı sonuçlar ortaya koymaktadır.

Farklı senaryolar üzerinden blok zincir teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki katkısını daha açık bir şekilde gözlemlemek için çözüm sonuçlarından elde edilen amaç fonksiyonu (toplam kar) değerlerine göre senaryolar sıralanarak Şekil 5.1'de sunulmuştur. Şekil üzerinde işaretlenen mavi oklar tedarik zinciri ağının ileri akışını, yeşil oklar ise tersine akışını simgelemektedir. Boş oklar, ilgili akış üzerinde blok zincir teknolojisinin uygulanmadığını; yarı dolu oklar kısmen uygulandığını; dolu oklar ise tamamen uygulandığını belirtmektedir.

Buna göre, toplam kâr (Z) blok zinciri teknolojisinin her iki akış üzerinde de kullanılmadığı ana modelde (1. Durum) en az, blok zinciri teknolojisinin tedarik zinciri ağındaki tüm üyeler tarafından kullanıldığı 2. Durumda ise en fazladır. Blok zinciri teknolojisinin kısmen uygulandığı 5. Durum ile diğer senaryoları karşılaştırdığımızda bu teknolojinin tam olarak uygulamanın daha verimli sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz.



Şekil 5.1. Tedarik zincirine uygulanan farklı blok zincir teknolojilerine dayalı senaryoların kar üzerindeki etkisi.

Diğer taraftan ileri ve tersine akışta ayrı ayrı uygulanan 3. ve 4. Durumlarda elde edilen değerler ise tedarik zinciri ağına blok zincir teknolojisini ileri akıştan ziyade tersine akış üzerine uygulamanın daha etkili olduğunu açıkça göstermektedir. Bu durum tersine akışın içerdiği belirsizlikler sebebi ile farklı ürün geri kazanım seçenekleri uygulama oranlarının sürekli değişmesi; geri dönen ürün durumunu belirlemek için pahalı muayenelerin ve zamanın gerekli olması; özetle tahminler, planlamalar ve kontroller yapılması zor bir akış türü olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden tedarik zincirine blok zincir teknolojisini tersine akış üzerinde uygulamak ileri akışa oranla daha fazla probleme çözüm bulacak ve daha büyük kazanımlar sağlayacaktır.

Senaryo analizi sonucu yukarıda elde edilen çıkarımlar, blok zinciri teknolojisinin tedarik zinciri maliyetlerini önemli ölçüde düşürme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, böylesine önemli bir teknolojiyi uygulayacak firmaların kârlarını arttırma konusunda büyük bir avantaj elde edeceği beklenmektedir.

5.2. Problem (2) Uygulaması için Sayısal Örnek

Modelin planlaması üç periyot üzerinden yapılmıştır. Birim çelik levha taşıma maliyeti (a) 0,04 pb, birim oto parça taşıma maliyeti (b) 0,08 pb ve açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesisi sayısı (p) 2 olarak belirlenmiştir. Çelik levha ve oto parça için sınıfların sınırları $nl_1=4$ ve $nl_2=7$, $nn_1=3$ ve $nn_2=5$ olarak ele alınmıştır. P_{mqt} karar değişkeni bir oran belirttiğinden alt sınırı (\underline{P}_{mqt}) 0 ve üst sınırı (\bar{P}_{mqt}) 1'dir. Z_{mqcjt} karar değişkeninin alt sınırı (\underline{Z}_{mqcjt}) 0 ve üst sınırı (\bar{Z}_{mqcjt}) 1500 ton, H_{mqj} karar değişkeninin alt sınırı (\underline{H}_{mqj}) 6 pb ve üst sınırı (\bar{H}_{mqj}) 15 pb olarak, R_{mq} karar değişkeninin alt sınırı (\underline{R}_{mq}) 3 pb ve üst sınırı (\bar{R}_{mq}) 10 pb olarak belirlenmiştir. Fabrikaların yenileme maliyetleri (rf_j) sırasıyla 3 ve 3,2 pb olarak belirlenirken çelik levha satın alma maliyetleri, işlem maliyetleri ve tedarikçi kapasiteleri Çizelge 5.1'de, oto parça satış fiyatları ve müşteri talepleri Çizelge 5.2'de, mesafeler Çizelge 5.3'de, ürün tutucu sayıları ve sabit maliyetler ise Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Ürün tutucu sayıları ve sabit maliyetler (pb)

<i>Geri dönen ürün kalitesi(q)</i>			
h_{mq}	1	2	
<i>Müşteri bölgeleri (m)</i>	500	600	
	400	750	
	750	0	
<i>Toplama&geri dönüşüm tesisleri(c)</i>			
	1	2	3
f_c	500	700	650

5.2.1. Bulgular ve tartışma

Geliştirilen çok amaçlı KTDP modeli bu veriler doğrultusunda GAMS paket programı ile farklı karar vericiler için ayrı ayrı çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9. Optimal amaç fonksiyonu değerleri

Amaç Fonksiyonu	Değeri
Z1	739295.20
Z2	728670.84
Z3	35500
Z4	25640

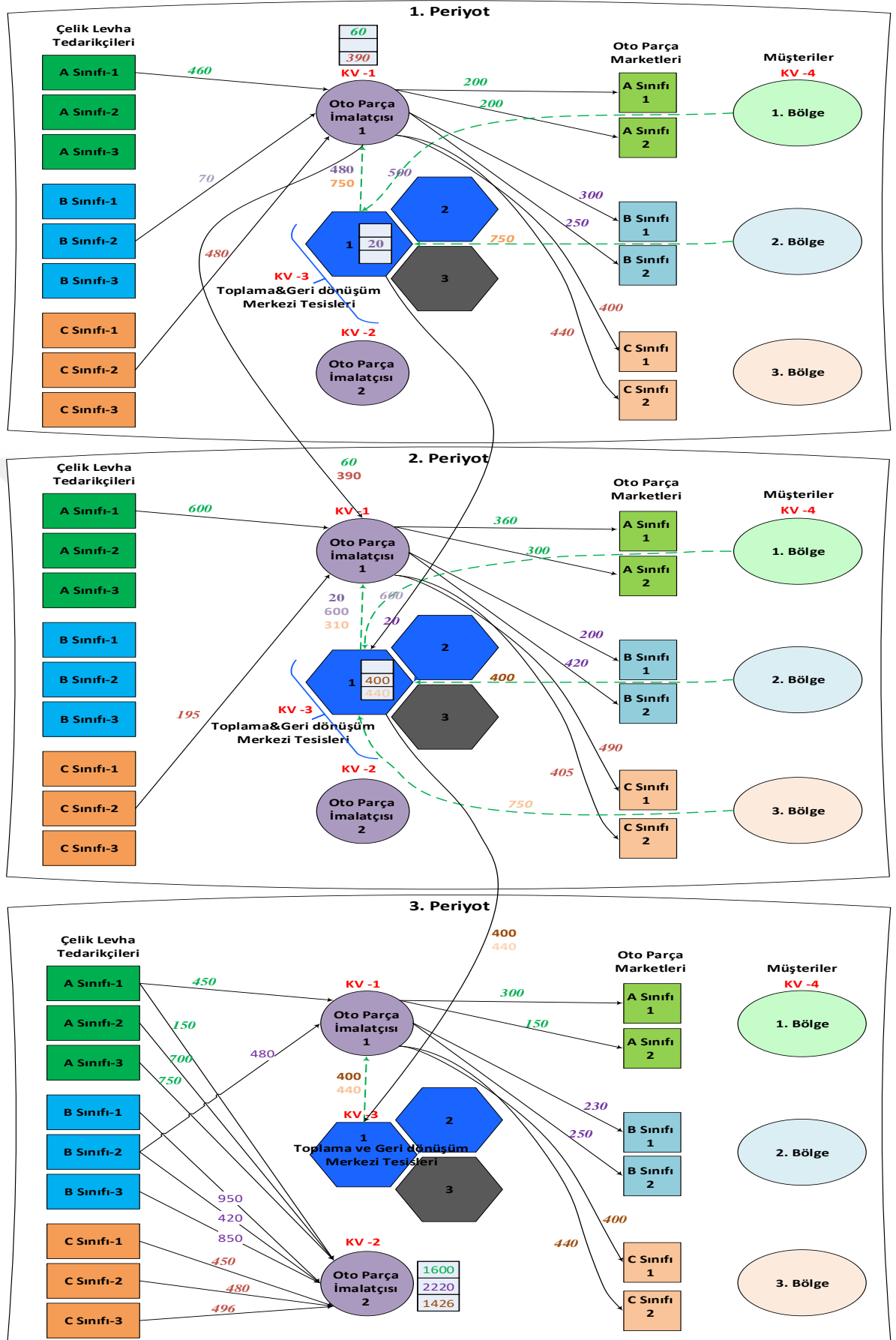
Karar verici amaçlarının maksimize edilmesine ait dört farklı optimal dağıtım planı elde edilmiş ve sırasıyla Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 de verilmiştir.

Model, ilk karar verici için çalıştırıldığında 1 ve 2. toplama ve geri dönüşüm tesisleri açılmasına rağmen tüm müşteri bölgeleri 1 numaralı toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmıştır. 1 ve 2. müşteri bölgelerinden ilk dönem sırasıyla 1 ve 2. kalitede ürün dönüşleri olurken, ikinci dönem 1, 2 ve 3. müşteri bölgelerinden sırasıyla 2, 1 ve 1. kalitede ürün dönüşleri olmuştur. Toplama ve geri dönüşüm merkezi tüm geri dönen ürün çeşitleri için 3pb öderken, fabrikalar toplama ve geri dönüşüm merkezinden oto parça satın alırken 3. müşteri bölgesi 2.kalitede olan ürünler için 15pb, diğer tüm ürünler için ise 6pb ödemiştir. KV-2 için çalıştırıldığında 1 ve 3. toplama ve geri dönüşüm tesisleri açılmış ve 1 ve 2 numaralı müşteri bölgeleri 1 numaralı toplama ve geri dönüşüm tesisine atanırken 3 numaralı müşteri bölgesi 3 numaralı toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmıştır. Müşteri bölgelerinin periyot bazında geri dönüşlerinde, Toplama ve geri dönüşüm merkezinin ödediği teşvik tutarı ve Fabrikaların ödediği satın alma maliyetlerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. KV-3 için çalıştırıldığında yalnız 1 numaralı toplama ve geri dönüşüm tesisleri açıldığından tüm müşteri bölgeleri bu tesisine atanmıştır. Tüm müşteri bölgelerinden yalnız ilk dönem ürün dönüşleri olmuştur. Toplama ve geri dönüşüm merkezi tüm geri dönen ürün çeşitleri için 3pb öderken, fabrikalar toplama ve geri dönüşüm merkezinden oto parça satın almak için yine tüm ürün çeşitleri için 15pb ödemiştir. KV -3 için çalıştırıldığında 2 ve 3. toplama ve geri dönüşüm tesisleri açılmış ve 1 ve 3 numaralı müşteri bölgeleri 3 numaralı toplama ve geri dönüşüm tesisine atanırken 2 numaralı müşteri bölgesi 2 numaralı toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmıştır. Tüm müşteri bölgelerinden yalnız ikinci dönem ürün dönüşleri olmuştur. Toplama ve geri dönüşüm merkezi tüm geri dönen ürün çeşitleri için 10pb öderken, fabrikalar toplama ve geri dönüşüm merkezinden oto parça satın almak için yine tüm ürün çeşitleri için 15pb ödemiştir.

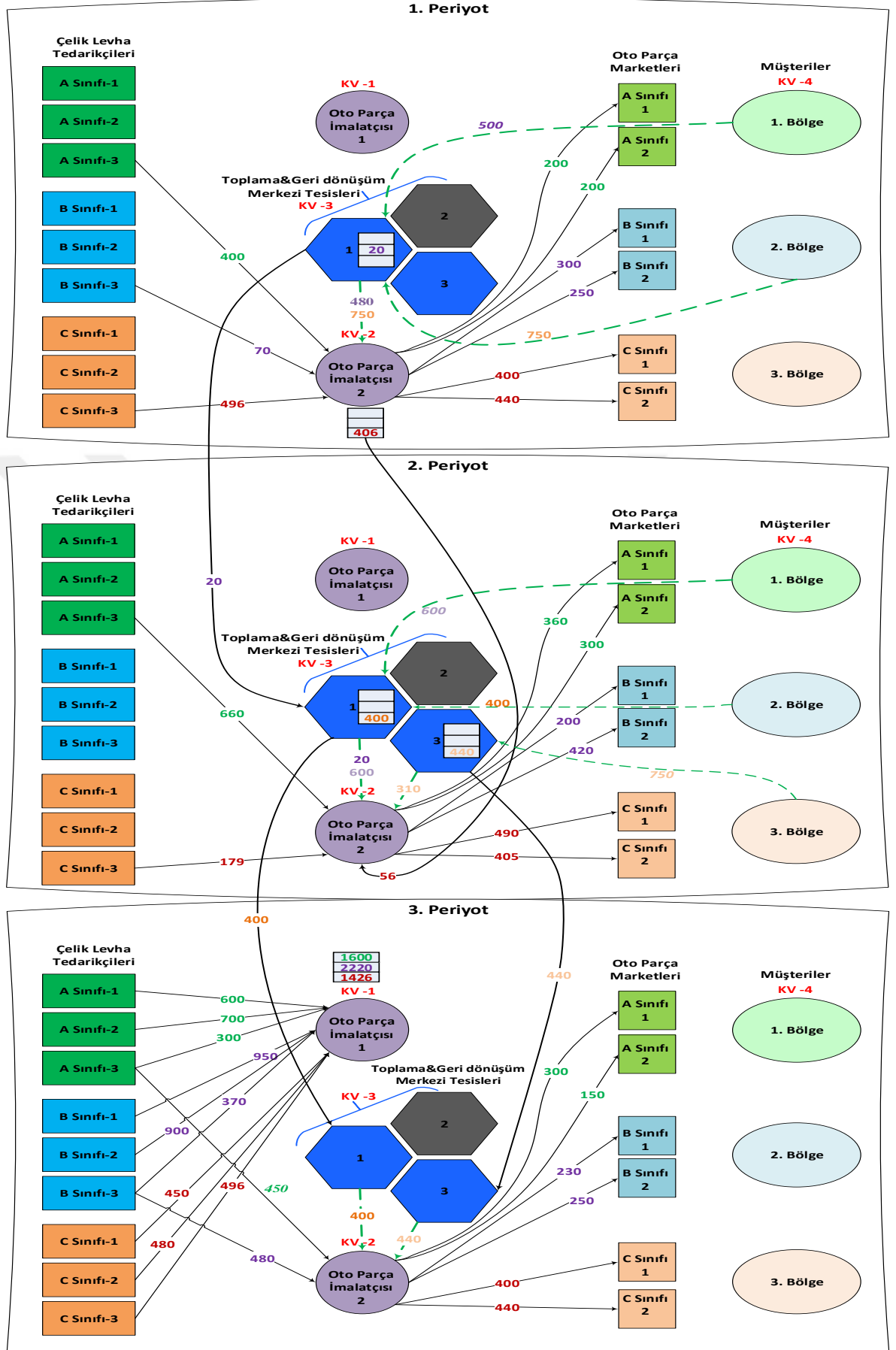
Karar vericilerin birbiriyle çelişen amaçlarını tek tek çözmek bir anlam ifade etmez ve bu amaçların eş zamanlı olarak tatmin edilmesi gerekir.

Bir sonraki aşamada geliştirilen modelde karar vericiler arasında uzlaşık bir çözüme varmak için ÇKKV yöntemlerinden Bulanık BWM ve EBP yaklaşımlarından yararlanılacaktır.

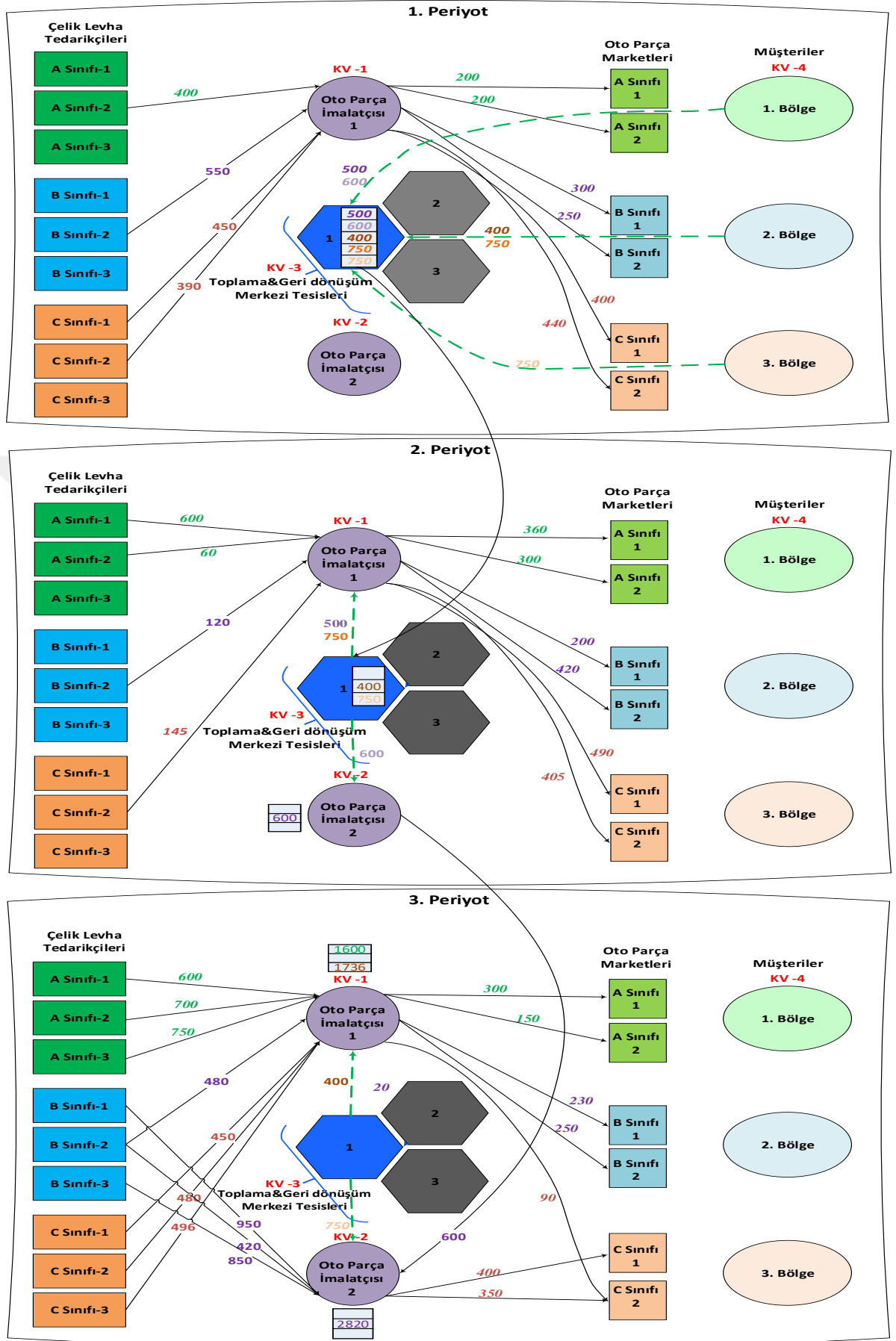
Geliştirilen ÇSR-KDTZ Modeli öncelikle literatürde mevcut yaklaşımlar kullanılarak çözülecek, ardından tez kapsamında geliştirilen Ritmik etkileşimli çok seviyeli bulanık programlama yaklaşımı kullanılarak çözülecek ve sonuçları analiz edilecektir.



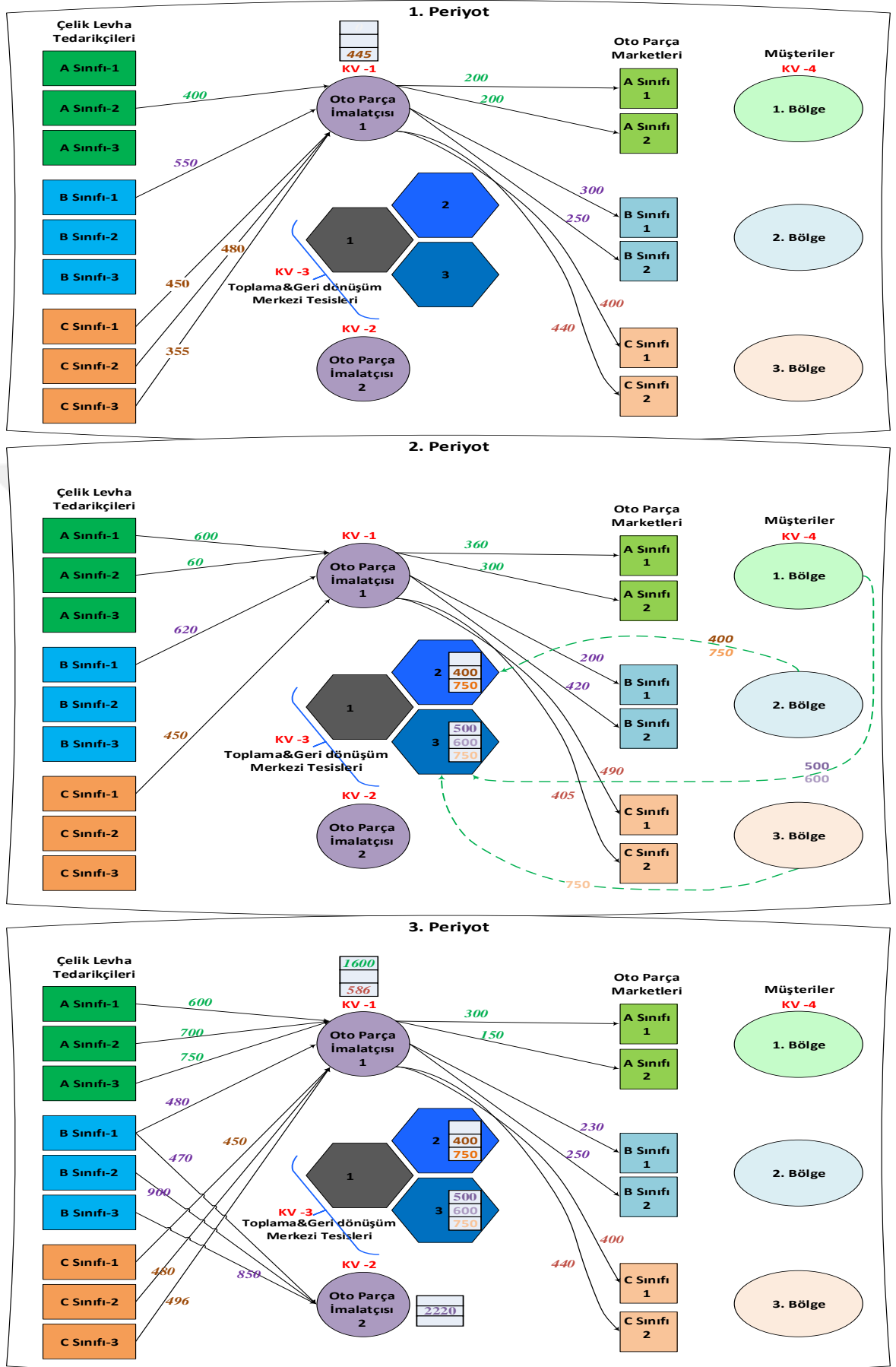
Şekil 5.2. KV-1 için optimal akış



Şekil 5.3. KV-2 için optimal akış



Şekil 5.4. KV-3 için optimal akış



Şekil 5.5. KV-4 için optimal akış

5.2.2. Bulanık BWM Uygulaması

Karar kriterlerinin önem ağırlıkları, karar vericiler tarafından dilsel değişkenlerle tanımlanır. Kriterlerin önem derecelerini belirten üçgen bulanık sayılar ve dilsel ifadeler Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Kriterlerin değerlendirilmesi için kullanılan dilsel değişkenler ve bulanık sayılar (Guo ve Zhao, 2017; Gan ve ark., 2019; Dong ve ark., 2021)

Dilsel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Eşit Önemli (EI)	(1, 1, 1)
Zayıf Önemli (WI)	(2/3, 1, 3/2)
Oldukça Önemli (FI)	(3/2, 2, 5/2)
Çok Önemli (VI)	(5/2, 3, 7/2)
Kesinlikle Önemli (AI)	(7/2, 4, 9/2)

Uzman görüşüne göre karar verici değerlendirmesinde en iyi karar verici en önemli, en kötü karar verici ise en az önemli olandır. Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda en iyi karar verici 1 numaralı fabrika, en kötü karar verici Toplama&Geri dönüşüm merkezi olarak belirlendi ve Çizelge 5.10'da gösterildiği gibi Bulanık BWM uygulamasına dayalı bir anket doldurarak karar verici karşılaştırması gerçekleştirildi.

Çizelge 5.11. En iyi ve en kötü kriterler için ikili karşılaştırma vektörleri

BO	Fabrika 1	Fabrika 2	Toplama&Geri dönüşüm merkezi	Müşteriler
En iyi Amaç Fonksiyonu: <i>Fabrika 1</i>	EI	WI	AI	FI
OW	En Kötü Amaç Fonksiyonu: <i>Toplama&Geri dönüşüm merkezi</i>			
Fabrika 1	AI			
Fabrika 2	VI			
Toplama&Geri dönüşüm merkezi	EI			
Müşteriler	EI			

Ardından, Çizelge 5.10'a göre bulanık en İyiye göre Diğerleri Vektörü, $\tilde{A}_B = [\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \dots, \tilde{a}_{B9}]$ burada $\tilde{a}_{B1} = (1, 1, 1)$, $\tilde{a}_{B2} = (2/3, 1, 3/2)$, $\tilde{a}_{B3} = (7/2, 4, 9/2)$ ve $\tilde{a}_{B4} = (3/2, 2, 5/2)$, ve bulanık Diğerlerine göre en Kötü Vektörü, $\tilde{A}_W = [\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{2W}, \dots, \tilde{a}_{9W}]$ burada $\tilde{a}_{1W} = (7/2, 4, 9/2)$, $\tilde{a}_{2W} = (5/2, 3, 7/2)$, $\tilde{a}_{3W} = (1, 1, 1)$ ve $\tilde{a}_{4W} = (1, 1, 1)$ elde edilir. Tüm tolerans parametreleri d_j^t and q_j^t ($j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u$) 1 olarak alınır.

Yukarıda verilen \tilde{a}_{Bj} , \tilde{a}_{jW} bulanık tercihler ve d_j^t , q_j^t tolerans parametreleri Eşitlik (3.24)-(3.27)'de yerine konularak farklı yaklaşımlara sahip tüm karar vericiler için dört ayrı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. \tilde{w}_j^* optimal bulanık ağırlıklar ve β

minimum memnuniyet derecesi, GAMS/CPLEX 24.0 yazılımı kullanılarak Çizelge 5.11’de görüldüğü gibi tüm yaklaşımlar için ayrı ayrı elde edilmiştir. Daha sonra, tüm yaklaşımlar için Eşitlik (3.37), (3.39) ve (3.40) sırasıyla kullanılarak ξ^* , FCR ve R(FCR) değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve Çizelge 5.11’de sunulmuştur.

Çizelge 5.11. Karar vericinin tutumuna göre kriter ağırlıkları (\tilde{w}_j^*) ve minimum memnuniyet derecesi (β)

Amaç Fonksiyonları	Karar vericinin tutumu			
	İyimser Yaklaşım	Kötümser Yaklaşım	Karma Yaklaşım-I	Karma Yaklaşım-II
Fabrika 1	(0.242, 0.381, 0.633)	(0.215, 0.283, 0.393)	(0.400, 0.457, 0.540)	(0.140, 0.357, 0.611)
Fabrika 2	(0.219, 0.381, 0.422)	(0.321, 0.430, 0.471)	(0.239, 0.320, 0.360)	(0.208, 0.376, 0.480)
Toplama&Geri dönüşüm merkezi	(0.050, 0.095, 0.121)	(0.143, 0.143, 0.157)	(0.114, 0.114, 0.120)	(0.040, 0.089, 0.136)
Müşteriler	(0.098, 0.143, 0.215)	(0.143, 0.143, 0.157)	(0.107, 0.109, 0.120)	(0.140, 0.178, 0.245)
β	0.905	0.686	0.760	0.891
ξ^*	(0.058, 0.030, 0.046)	(0.076, 0.091, 0.127)	(0.067, 0.051, 0.038)	(0.035, 0.028, 0.028)
FCR	(0.010, 0.018, 0.035)	(0.013, 0.056, 0.097)	(0.012, 0.031, 0.029)	(0.006, 0.017, 0.022)
R(FCR)	0.020	0.056	0.027	0.016
FCI($\bar{\zeta}$)	(1.31, 1.63, 5.69) - Çizelge 3.3’den alındı, çünkü $\mathbf{a}_{BW}=\mathbf{a}_{13}=(7/2, 4, 9/2)$			

Dört yaklaşıma göre elde edilen tüm R(FCR) < 0.1 olduğundan, tüm karar vericilerin yaklaşımları için karşılaştırmaların kabul edilebilir düzeyde tutarlı olduğunu görebiliriz. Çalışmamızda karar vericinin iyimser yaklaşıma sahip olduğu düşünüldüğünde, bu yaklaşımla elde edilen bu ağırlıklar sıralamada kullanılacaktır. Bu bağlamda, iyimser yaklaşımın bulanık ağırlıkları Eşitlik (3.9) kullanılarak aşağıdaki gibi durulaştırılır.

$$\tilde{w}_1^* = 0.400, \tilde{w}_2^* = 0.361, \tilde{w}_3^* = 0.092 \text{ ve } \tilde{w}_4^* = 0.148.$$

5.2.3. Zimmermann (1978) yaklaşımı ile çözümü

Her bir amaca ait minimum memnuniyet seviyelerinin eş zamanlı olarak maksimize edilmesine dayanan Max-Min yaklaşımı için ilk önce her bir amaç tek başına çözümlenerek amaçlara ilişkin ödünleşme tablosu elde edilir. Çizelge 5.12, her bir amacın tek başına optimize edildiği ve diğer amaçların o şartlar altında aldıkları değerleri göstermektedir.

Çizelge 5.12. Ödünleşme matrisi

Amaç Fonksiyonları	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
Z ₁ (max)	739295.2	-232272.6	7800	-720
Z ₂ (max)	-230850.6	780163.2	7850	180
Z ₃ (max)	511421.6	-69967	35500	-720
Z ₄ (max)	563703.6	-101055	-31350	25640

Çizelge 5.13. Üyelik fonksiyonları için veri seti

Amaç Fonksiyonları	Alt Sınır	Üst Sınır
Z_1	-230850.6	739295.2
Z_2	-232272.6	780163.2
Z_3	-31350	35500
Z_4	-720	25640

Zimmermann yaklaşımında tüm faktörlere aynı ağırlık verilir. Çizelge 5.13'den elde edilen üyelik fonksiyonları ve λ memnuniyet seviyesi değişkeninin modele eklenmesi ile Max min yöntemine dayalı olarak, modelin kesin formülasyonu aşağıdaki gibi sunulur. Aşağıdaki kesin tek amaçlı programlama, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeline eşdeğerdir.

$$\text{Maximize } \lambda \quad (5.1)$$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x)+230850.6}{739295.2+230850.6} \quad (5.2)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x)+232272.6}{780163.2+232272.6} \quad (5.3)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x)+31350}{35500+31350} \quad (5.4)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (5.5)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5.6)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı KTDP modeli GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve tüm karar vericiler için ortak tatmin seviyesi $\lambda = 0.61$ olarak bulunmuştur. Çizelge 5.14 ortak tatmin seviyesi $\lambda = 0.61$ de tüm karar vericilerin optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.14. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

Amaç Fonksiyonları	Zimmermann Değerleri	μ
Z_1	364065.62	0.61
Z_2	388576.84	0.61
Z_3	9643.99	0.61
Z_4	15444.57	0.61

5.2.4. Selim ve Özkarahan (2008)'ın bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü

Zimmermann (1978) çözümünde tanımlanan üyelik fonksiyonları ve ortak tatmin seviyesi λ kullanılarak problem aşağıdaki şekilde tek amaçlı kesin doğrusal problem modeline dönüştürülür. Buradaki ağırlıklar Bulanık BWM yöntemi kullanılarak elde edilmiştir; $w_1 = 0.40$, $w_2 = 0.36$, $w_3 = 0.09$ ve $w_4 = 0.15$.

$$\text{Maximize } \gamma\lambda + (1-\gamma)[0.40\lambda_1 + 0.36\lambda_2 + 0.09\lambda_3 + 0.15\lambda_4] \quad (5.7)$$

$$\lambda + \lambda_1 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x) + 230850.6}{739295.2 + 230850.6} \quad (5.8)$$

$$\lambda + \lambda_2 \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x) + 232272.6}{780163.2 + 232272.6} \quad (5.9)$$

$$\lambda + \lambda_3 \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) + 31350}{35500 + 31350} \quad (5.10)$$

$$\lambda + \lambda_4 \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) + 720}{25640 + 720} \quad (5.11)$$

$$\gamma, \lambda, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \in [0, 1] \quad (5.12)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı kesin doğrusal problemi $\gamma = 1$ alınarak GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve elde edilen optimal sonuçlara göre ortak tatmin seviyesi $\lambda = 0.61$ olarak bulunmuştur.

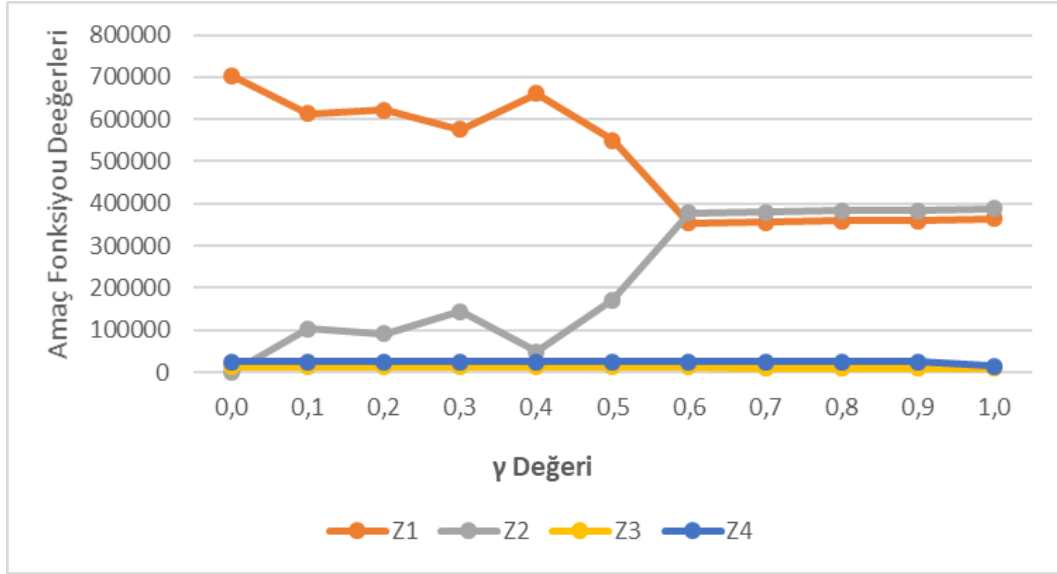
$\gamma = 1$ alınması ile Zimmermann (1978) yaklaşımı ile aynı sonuçlar elde edileceği açıktır.

γ değerinin model üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla, γ değeri $[0,1]$ aralığında değiştirilerek Çizelge 5.15’de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

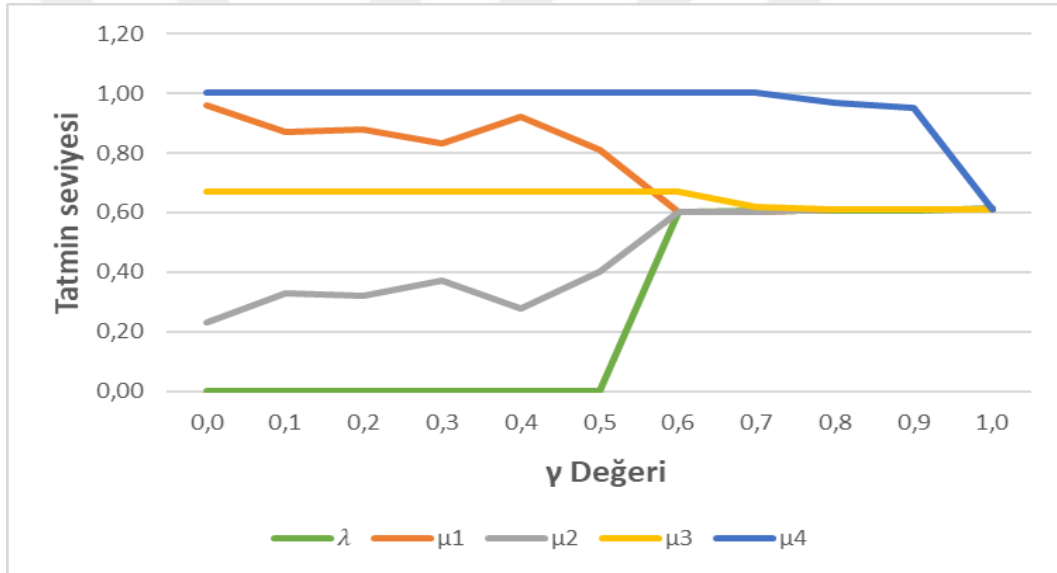
Çizelge 5.15. Farklı γ değerleri altında elde edilen sonuçlar

γ	λ	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	$\mu_1(Z_1(x))$	$\mu_2(Z_2(x))$	$\mu_3(Z_3(x))$	$\mu_4(Z_4(x))$
0	0	704315.2	0	13650	25640	0.96	0.23	0.67	1
0.1	0	612872	103644.8	13650	25640	0.87	0.33	0.67	1
0.2	0	622024	92204.8	13710	25640	0.88	0.32	0.67	1
0.3	0	576044	144224.8	13650	25640	0.83	0.37	0.67	1
0.4	0	661685.2	48500	13650	25640	0.92	0.28	0.67	1
0.5	0	550666	170820	13650	25640	0.81	0.40	0.67	1
0.6	0.603	354555.07	378651.71	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.7	0.605	355820.1	379971.89	9960	25640	0.60	0.60	0.62	1
0.8	0.608	358781.97	383062.87	9279.91	24720	0.61	0.61	0.61	0.97
0.9	0.608	358623.09	382897.06	9268.96	24260	0.61	0.61	0.61	0.95
1	0.613	364065.62	388576.84	9643.99	15444.57	0.61	0.61	0.61	0.61

Şekil 5.6’da verilen grafik incelendiğinde, $\gamma = 0.5$ değerine kadar Z_1 amaç fonksiyonu değeri genel olarak azalırken Z_2 amaç fonksiyonu değeri ise genel olarak artmaktadır. $\gamma = 0.5$ değerinden sonra ise her iki amaç fonksiyonu değeri birbirine yaklaşarak sonrasında doğrusal bir yol izlemiştir. Aynı şekilde Şekil 5.7’den de görüldüğü üzere $\gamma = 0.5$ değerine kadar μ_1 değeri azalırken μ_2 değeri artmakta ve $\gamma = 0.6$ noktasından itibaren ortak tatmin seviyesi λ ’ya eşit olmuşlardır.



Şekil 5.6. Farklı γ değerlerinin karar vericilerin amaç fonksiyonu üzerine etkisi



Şekil 5.7. Farklı γ değerlerinin karar vericilerin tatmin seviyeleri üzerine etkisi

Z_3 ve Z_4 değerlerinin ise genel anlamda sabit kaldığı söylenebilir. μ_3 genel olarak ortak tatmin seviyesi 0,61 ($\gamma=1$) değerine yakın veya eşitken, μ_4 ise $\gamma=1$ ' e kadar maksimum memnuniyet seviyesine sahiptir.

Sonuç olarak γ değişkeninin 0,5 değerine kadar Z_1 ve Z_2 amaç fonksiyonu değerleri ve memnuniyet seviyeleri üzerinde etkiliyken diğer amaç fonksiyonları ve ortak memnuniyet seviyesi λ üzerinde etkili değildir. γ değişkeninin 0,6-1 arasında aldığı değerler ise hem amaç fonksiyonu değerleri hem de memnuniyet seviyeleri üzerinde büyük bir etkiye sahip değildir.

5.2.5. Torabi ve Hassini (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü

Zimmermann (1978) çözümünde tanımlanan üyelik fonksiyonları ve ortak tatmin seviyesi λ kullanılarak problem aşağıdaki şekilde tek amaçlı kesin doğrusal problem modeline dönüştürülür Buradaki ağırlıklar Bulanık BWM yöntemi kullanılarak elde edilmiştir; $w_1 = 0.40$, $w_2 = 0.36$, $w_3 = 0.09$ ve $w_4 = 0.15$.

$$\text{Maximize } \gamma\lambda + (1-\gamma)[0.40\mu_1(Z_1(x)) + 0.36\mu_2(Z_2(x)) + 0.09\mu_3(Z_3(x)) + 0.15\mu_4(Z_4(x))] \quad (5.13)$$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x) + 230850.6}{739295.2 + 230850.6} \quad (5.14)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x) + 232272.6}{780163.2 + 232272.6} \quad (5.15)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) + 31350}{35500 + 31350} \quad (5.16)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) + 720}{25640 + 720} \quad (5.17)$$

$$\gamma, \lambda \in [0, 1] \quad (5.18)$$

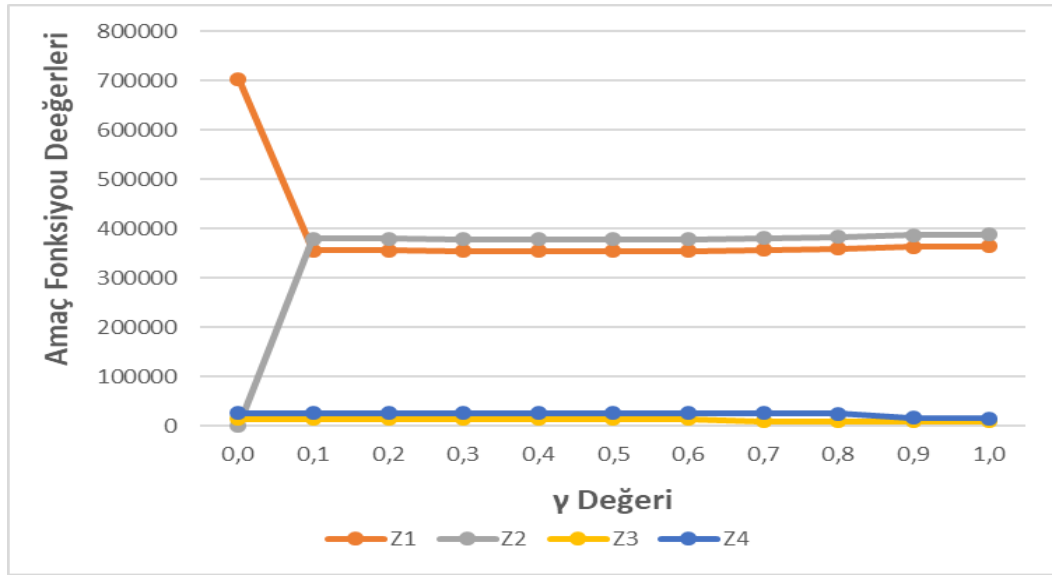
ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı kesin doğrusal problemi $\gamma = 1$ alınarak GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve elde edilen optimal sonuçlara göre ortak tatmin seviyesi $\lambda = 0.61$ olarak bulunmuştur. Yine, $\gamma = 1$ alınmasının , Zimmermann (1978) yaklaşımı ile aynı sonuçları vereceği açıktır.

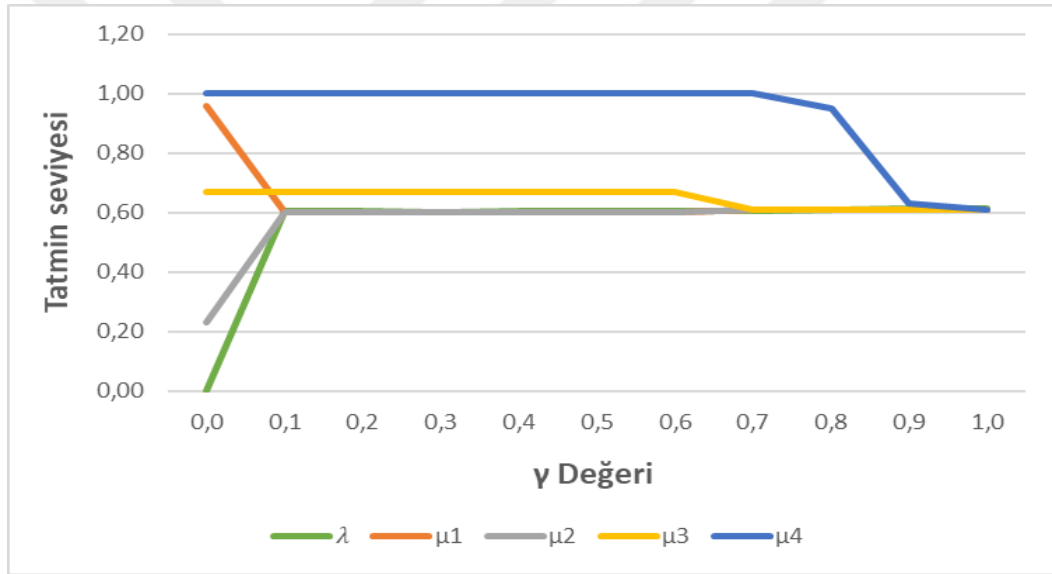
γ değerinin model üzerindeki etkisini ölçmek üzere, γ değeri $[0,1]$ aralığında değiştirilerek Çizelge 5.16'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.16. Farklı γ değerleri altında elde edilen sonuçlar

γ	λ	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	$\mu_1(Z_1(x))$	$\mu_2(Z_2(x))$	$\mu_3(Z_3(x))$	$\mu_4(Z_4(x))$
0	0	704315.2	0	13650	25640	0.96	0.23	0.67	1
0.1	0.605	355603.05	379745.37	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.2	0.604	355518.85	379657.50	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.3	0.603	354579.47	378677.17	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.4	0.604	355044.40	379162.38	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.5	0.604	355074.14	379193.41	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.6	0.604	354974.52	379089.45	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.7	0.606	356840.97	381037.26	9146.16	25640	0.61	0.61	0.61	1
0.8	0.608	359134.59	383430.87	9304.21	24260	0.61	0.61	0.61	0.95
0.9	0.612	363028.21	387494.21	9572.51	15847.49	0.61	0.61	0.61	0.63
1	0.613	364065.62	388576.84	9643.99	15444.57	0.61	0.61	0.61	0.61



Şekil 5.8. Farklı γ değerlerinin karar vericilerin amaç fonksiyonu üzerine etkisi



Şekil 5.9. Farklı γ değerlerinin karar vericilerin tatmin seviyeleri üzerine etkisi

Şekil 5.8 ve 5.9 'da verilen grafikler incelendiğinde, $\gamma = 0.1$ değerinden itibaren hem Z_1 hem de Z_2 amaç fonksiyonu değeri ve μ_1 ve μ_2 memnuniyet dereceleri üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. γ değişkeninin 0.1 den sonra aldığı değerlerinin ise hem amaç fonksiyonu değerleri hem de memnuniyet seviyeleri üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. γ değerinin Z_3 , Z_4 , μ_3 ve μ_4 değerleri üzerindeki etkisi için Selim ve Ozkarahan (2008) yaklaşımından farksız olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımının, Selim ve Ozkarahan (2008) yaklaşımına göre γ değerine daha az duyarlı olduğu $\gamma = [0.1-1]$ aralığında genel olarak istikrarlı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

5.2.6. Sakawa ve Nishizaki (2002)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü

Bu bölümde Modelin çözümü karar vericiler arasındaki işbirliğini ele alabilmek amacıyla Sakawa ve Nishizaki (2002b)'in EBP yaklaşımı ile ele alınmıştır. Sakawa ve Nishizaki (2002b) yaklaşımı için üst seviyede bir KV; 1 numaralı fabrika, alt seviyede üç KV; 2 numaralı fabrika, toplama&geri dönüşüm merkezi ve müşteriler olduğu kabul edilmiştir.

Sakawa ve Nishizaki (2002b) yaklaşımın ilk aşamasında λ tatmin seviyesi değişkeninin modele eklenmesi ile bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli Zimmermann (1978) yaklaşımındaki gibi tek amaçlı KTDP modeline dönüştürülerek çözülür.

Zimmermann (1978) sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi 0.61 ve karar vericilerin memnuniyet seviyeleri de $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \lambda = 0.61$ olarak bulunmuştu. Elde edilen memnuniyet seviyelerinin üst seviye KV tarafından kabul edilmediği varsayıldığında, üst seviye KV kendi memnuniyet seviyesi için bir alt sınır oluşturmalıdır. $\tilde{\delta}$ ile gösterilen bu değer üst seviye KV tarafından 0.90 olarak alınır ise problem (5.1)-(5.6) aşağıdaki gibi olur,

$$\text{Maximize } \lambda \quad (5.19)$$

$$\tilde{\delta} = 0.90 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x)+230850.6}{739295.2+230850.6} \quad (5.20)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x)+232272.6}{780163.2+232272.6} \quad (5.21)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x)+31350}{35500+31350} \quad (5.22)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (5.23)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5.24)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı KTDP modeli GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve sonuçları Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

Amaç Fonksiyonları	Sakawa ve Nishizaki Değerleri	λ	μ
Z_1	642280.62	$\tilde{\delta} = 0.90$	0.90
Z_2	107832.13	0.34	0.34
Z_3	-1005.04	0.34	0.45
Z_4	8135.04	0.34	0.34

Çizelge 5.17'ye göre üst seviye KV'nin memnuniyet seviyesi bir önceki değer olan 0.61' den alt sınır olarak belirlediği 0.90 değerine yükselmiştir. Fakat üst seviye KV'nin memnuniyet seviyelerindeki bu artış alt seviye KV'lerin memnuniyet seviyelerinde düşüşe neden olmuştur. Alt seviye KV'lerin memnuniyet seviyeleri % 44 oranında azalmıştır. Üst seviye KV'nin iki seviye arasındaki tatmin oranını $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.5, 0.6]$ olarak belirlediğini varsayalım. Eşitlik (3.96) yardımıyla mevcut Δ değeri:

$$\Delta^1 = \frac{\min(\mu_2(Z_2(x)), \mu_3(Z_3(x)), \mu_4(Z_4(x)))}{\mu_1(Z_1(x))} = \frac{\min(0.34, 0.45, 0.34)}{0.90} = \frac{0.34}{0.90} = 0.38 \text{ olarak bulunur.}$$

Açıkça görülmektedir ki elde edilen Δ^1 değeri üst seviye KV'nin belirlemiş olduğu alt ve üst sınırlar ($0.5 \leq \Delta^1 \leq 0.6$) arasında yer almamaktadır $\Delta^1 < \Delta_L$ olduğundan üst seviye KV minimum memnuniyet seviyesi yani δ' yi azaltarak Δ^1 değerini günceller. δ' ile gösterilen bu değer 0.80 olarak alınır ise problem (5.19)-(5.24) aşağıdaki gibi olur:

$$\text{Maximize } \lambda \quad (5.25)$$

$$\tilde{\delta} = 0.80 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x) + 230850.6}{739295.2 + 230850.6} \quad (5.26)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x) + 232272.6}{780163.2 + 232272.6} \quad (5.27)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) + 31350}{35500 + 31350} \quad (5.28)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) + 720}{25640 + 720} \quad (5.29)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5.30)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Çizelge 5.18. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

Amaç Fonksiyonları	Sakawa ve Nishizaki Değerleri	λ	μ
Z_1	545266.04	$\tilde{\delta} = 0.80$	0.80
Z_2	211924.04	0.44	0.44
Z_3	-2020.19	0.44	0.44
Z_4	12230.19	0.44	0.49

Üst seviye KV ile alt seviye KV'ler arasındaki denge oranı;

$$\Delta^2 = \frac{\min(0.44, 0.44, 0.49)}{0.80} = \frac{0.44}{0.80} = 0.55 \text{ olarak bulunur. Bu oran üst seviye KV'lerin}$$

belirlemiş olduğu sınırlar arasında yer almaktadır. Bu noktada EBP yönteminin ilk aşaması biter.

Sonrasında, her bir alt seviye KV'lerin memnuniyet oranları ayrı ayrı hesaplanarak ikinci aşamaya geçilir.

$$\Delta_2^2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{0.44}{0.80} = 0.55 ; \quad \Delta_3^2 = \frac{\mu_3}{\mu_1} = \frac{0.44}{0.80} = 0.55; \quad \Delta_4^2 = \frac{\mu_4}{\mu_1} = \frac{0.49}{0.80} = 0.61 \text{ olarak bulunur.}$$

Üst seviye KV (KV-1) ile KV-2 ve KV-3 arasındaki memnuniyet oranı belirlenen sınırlar arasında iken KV-4 ile arasındaki memnuniyet oranı belirtilen sınırlar dışında ($\Delta_4^2 \notin [0.5, 0.6]$) kalmıştır. Yani $\Delta_4^2 > \Delta_U$ olduğundan üst seviye KV, Müşteriler KV'si (KV-4) için maksimum bir tatmin seviyesi ($\bar{\delta}_1$) belirler. Bu değer üst seviye KV'nin minimum memnuniyet seviyesi $\tilde{\delta}$ ile memnuniyet oranı üst sınırının Δ_U çarpılması ile hesaplanır. Dolayısıyla $\bar{\delta}_4 = \tilde{\delta} \times \Delta_U = 0.80 \times 0.6 = 0.48$ olur. Bu durumda problem (5.25)-(5.30);

$$\text{Maximize } \lambda \quad (5.31)$$

$$\tilde{\delta} = 0.80 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x)+230850.6}{739295.2+230850.6} \quad (5.32)$$

$$\bar{\delta}_4 = 0.48 \geq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (5.33)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x)+232272.6}{780163.2+232272.6} \quad (5.34)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x)+31350}{35500+31350} \quad (5.35)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (5.36)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5.37)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Çizelge 5.19. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

Amaç Fonksiyonları	Sakawa ve Nishizaki Değerleri	λ	μ
Z_1	545266.04	$\tilde{\delta} = 0.80$	0.80
Z_2	211924.04	0.44	0.44
Z_3	-1722.80	0.44	0.44
Z_4	11932.80	0.44	0.48

Çizelge 5.19'a göre ise KV-1, KV-2 ve KV-3 tatmin seviyeleri bir önceki çözümle aynı kalırken, KV-4'ün tatmin seviyesi 0.48 oranına çekilmiştir.

$\Delta_4^3 = \frac{\mu_4}{\mu_1} = \frac{0.48}{0.80} = 0.6$ olarak bulunur. Bu oran üst seviye KV'nin belirlediği sınırlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, bu çözüm, etkileşimli sürecin tüm sonlandırma koşullarını karşılar. Üst seviye KV'nin bu yeni durumdan memnun olduğu varsayımı durumunda yöntemin ikinci aşaması da sonlandırılır. Sonuç olarak fabrika 1, fabrika 2, toplama&geri dönüşüm merkezi ve müşteriler için tatmin seviyeleri sırasıyla %80, %44, %44 ve %48 olur.

5.2.7. Geliştirilen Ritmik etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşım ile çözümü

Ritmik yaklaşım için üst seviye KV; 1 numaralı fabrika, alt seviye KV'ler; 2 numaralı fabrika, toplama&geri dönüşüm merkezi ve müşteriler olarak kabul edilmiştir. Ritmik yaklaşımın ilk aşamasında her amaç fonksiyonu dönemlere ayrılarak aşağıdaki gibi yeniden formülize edilir.

1.Firmanın (Üst seviye KV-1) amaç fonksiyonları

$$Z_{11_{max}} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - [\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk}], \quad \forall j=1, t=1 \quad (5.38)$$

$$Z_{12_{max}} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - [\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk}], \quad \forall j=1, t=2 \quad (5.39)$$

$$Z_{13_{max}} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - [\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk}], \quad \forall j=1, t=3 \quad (5.40)$$

2.Firmanın (Alt seviye KV-2) amaç fonksiyonları

$$Z_{21_{max}} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - [\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk}], \quad \forall j=2, t=1 \quad (5.41)$$

$$Z_{22_{max}} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - [\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk}], \quad \forall j=2, t=2 \quad (5.42)$$

$$Z_{23_{max}} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - [\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot rf_j + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk}], \quad \forall j=2, t=3 \quad (5.43)$$

Toplama ve geri dönüşüm merkezinin (Alt seviye KV-3) amaç fonksiyonları

$$Z_{31_{max}} = \sum_m \sum_q \sum_c \sum_j \sum_t ZH_{mqcjt} - [\sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} + \sum_c f_c \cdot y_c], \quad \forall t=1 \quad (5.44)$$

$$Z_{32_{max}} = \sum_m \sum_q \sum_c \sum_j \sum_t ZH_{mqcjt} - [\sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} + \sum_c f_c \cdot y_c], \quad \forall t=2 \quad (5.45)$$

$$Z_{33_{max}} = \sum_m \sum_q \sum_c \sum_j \sum_t ZH_{mqcjt} - [\sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} + \sum_c f_c \cdot y_c], \quad \forall t=3 \quad (5.46)$$

Müşterilerin (Alt seviye KV-4) amaç fonksiyonları

$$Z_{41_{max}} = \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} - \left[\sum_m \sum_q \sum_c \sum_t h_{mq} \cdot b \cdot h_{cm} \cdot PX_{cmqt} \right], \quad \forall t=1 \quad (5.47)$$

$$Z_{42_{max}} = \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} - \left[\sum_m \sum_q \sum_c \sum_t h_{mq} \cdot b \cdot h_{cm} \cdot PX_{cmqt} \right], \quad \forall t=2 \quad (5.48)$$

$$Z_{43_{max}} = \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} - \left[\sum_m \sum_q \sum_c \sum_t h_{mq} \cdot b \cdot h_{cm} \cdot PX_{cmqt} \right], \quad \forall t=3 \quad (5.49)$$

ve modele ait tüm kısıtlar

Bu aşamadan sonra yeni amaç fonksiyonları için ödünleşme tablosu (Çizelge 5.20) oluşturularak Çizelge 5.21’de sunulan üyelik fonksiyonu değerleri elde edilir.

Çizelge 5.20. Ödünleşme matrisi

Periyot	Periyot Amaç Fonk.	1				2				3			
		Z ₁₁	Z ₂₁	Z ₃₁	Z ₄₁	Z ₁₂	Z ₂₂	Z ₃₂	Z ₄₂	Z ₁₃	Z ₂₃	Z ₃₃	Z ₄₃
1	Z ₁₁ (max)	226996	0	3670	-382	274125.6	0	-500	0	100458.4	-102063	-500	0
	Z ₂₁ (max)	-15575	239667.6	3020	-382	288532.2	0	-1150	0	101466.4	-100671	-1150	0
	Z ₃₁ (max)	170538	0	35500	-720	330692.2	0	-500	0	101466.4	-100671	-500	0
	Z ₄₁ (max)	175145	0	-31350	25640	288532.2	0	-1350	0	100458.4	-102063	-1350	0
2	Z ₁₂ (max)	81810.6	22260.36	277	432.6	366162.2	0	-650	0	181626.4	-178821	-650	0
	Z ₂₂ (max)	196243	-94573.72	277	432.6	0	382379.2	-650	0	181626.4	-178821	-650	0
	Z ₃₂ (max)	191468	0	-9500	-720	257352.2	0	44500	0	122106.4	-123135	-500	0
	Z ₄₂ (max)	175145	0	-1350	0	288532.2	0	-31350	25640	182166.4	-176751	-1350	0
3	Z ₁₃ (max)	152384.4	0	0	0	237086.8	0	0	0	276460	-277281.6	0	0
	Z ₂₃ (max)	192194.4	-42577.28	0	0	273114.8	-34924.6	0	0	-275088.6	288466.4	0	0
	Z ₃₃ (max)	175145	0	-500	-720	288532.2	0	-9500	0	45756.4	-123135	44500	0
	Z ₄₃ (max)	175145	0	-1350	0	288532.2	0	-1350	0	100458.4	-102063	-31350	25640

Çizelge 5.21. Üyelik fonksiyonları için veri seti

Periyot	Amaç Fonksiyonları	$\mu = 0$	$\mu = 1$
1	Z ₁₁	-15575	226996
	Z ₂₁	-94573.72	239667.6
	Z ₃₁	-31350	35500
	Z ₄₁	-720	25640
2	Z ₁₂	0	366162.2
	Z ₂₂	-34924.6	382379.2
	Z ₃₂	-31350	44500
	Z ₄₂	0	25640
3	Z ₁₃	-275088.6	276460
	Z ₂₃	-277281.6	288466.4
	Z ₃₃	-31350	44500
	Z ₄₃	0	25640

$$\mu_{11}(Z_{11}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{11}(x) \leq -15575 \\ \frac{Z_{11}(x) - (-15575)}{226996 - (-15575)} & \text{if } -15575 \leq Z_{11}(x) \leq 226996 \\ 1 & \text{if } Z_{11}(x) \geq 226996 \end{cases} \quad (5.50)$$

$$\mu_{21}(Z_{21}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{21}(x) \leq -94573.72 \\ \frac{Z_{21}(x) - (-94573.72)}{239667.6 - (-94573.72)} & \text{if } -94573.72 \leq Z_{21}(x) \leq 239667.6 \\ 1 & \text{if } Z_{21}(x) \geq 239667.6 \end{cases} \quad (5.51)$$

$$\mu_{31}(Z_{31}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{31}(x) \leq -31350 \\ \frac{Z_{31}(x) - (-31350)}{35500 - (-31350)} & \text{if } -31350 \leq Z_{31}(x) \leq 35500 \\ 1 & \text{if } Z_{31}(x) \geq 35500 \end{cases} \quad (5.52)$$

$$\mu_{41}(Z_{41}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{41}(x) \leq -720 \\ \frac{Z_{41}(x) - (-720)}{25640 - (-720)} & \text{if } -720 \leq Z_{41}(x) \leq 25640 \\ 1 & \text{if } Z_{41}(x) \geq 25640 \end{cases} \quad (5.53)$$

$$\mu_{12}(Z_{12}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{12}(x) \leq 0 \\ \frac{Z_{12}(x) - 0}{366162.2 - 0} & \text{if } 0 \leq Z_{12}(x) \leq 366162.2 \\ 1 & \text{if } Z_{12}(x) \geq 366162.2 \end{cases} \quad (5.54)$$

$$\mu_{22}(Z_{22}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{22}(x) \leq -34924.6 \\ \frac{Z_{22}(x) - (-34924.6)}{382379.2 - (-34924.6)} & \text{if } -34924.6 \leq Z_{22}(x) \leq 382379.2 \\ 1 & \text{if } Z_{22}(x) \geq 382379.2 \end{cases} \quad (5.55)$$

$$\mu_{32}(Z_{32}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{32}(x) \leq -31350 \\ \frac{Z_{32}(x) - (-31350)}{44500 - (-31350)} & \text{if } -31350 \leq Z_{32}(x) \leq 44500 \\ 1 & \text{if } Z_{32}(x) \geq 44500 \end{cases} \quad (5.56)$$

$$\mu_{42}(Z_{42}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{42}(x) \leq 0 \\ \frac{Z_{42}(x) - 0}{25640 - 0} & \text{if } 0 \leq Z_{42}(x) \leq 25640 \\ 1 & \text{if } Z_{42}(x) \geq 25640 \end{cases} \quad (5.57)$$

$$\mu_{13}(Z_{13}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{13}(x) \leq -275088.6 \\ \frac{Z_{13}(x) - (-275088.6)}{276460 - (-275088.6)} & \text{if } -275088.6 \leq Z_{13}(x) \leq 276460 \\ 1 & \text{if } Z_{13}(x) \geq 276460 \end{cases} \quad (5.58)$$

$$\mu_{23}(Z_{23}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{23}(x) \leq -277281.6 \\ \frac{Z_{23}(x) - (-277281.6)}{288466.4 - (-277281.6)} & \text{if } -277281.6 \leq Z_{23}(x) \leq 288466.4 \\ 1 & \text{if } Z_{23}(x) \geq 288466.4 \end{cases} \quad (5.59)$$

$$\mu_{33}(Z_{33}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{33}(x) \leq -31350 \\ \frac{Z_{33}(x)-(-31350)}{44500-(-31350)} & \text{if } -31350 \leq Z_{33}(x) \leq 44500 \\ 1 & \text{if } Z_{33}(x) \geq 44500 \end{cases} \quad (5.60)$$

$$\mu_{43}(Z_{43}(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_{43}(x) \leq 0 \\ \frac{Z_{43}(x)-0}{25640-0} & \text{if } 0 \leq Z_{43}(x) \leq 25640 \\ 1 & \text{if } Z_{43}(x) \geq 25640 \end{cases} \quad (5.61)$$

Her bir amaca ait minimum memnuniyet seviyelerinin eş zamanlı olarak maksimize edilmesi için genel bir λ tatmin seviyesi değişkeni bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeline eklenerek aşağıdaki gibi tek amaçlı KTDP modeline dönüştürülerek çözümler.

$$\text{Max } \lambda \quad (5.62)$$

$$\lambda \leq \mu_{11}(Z_{11}(x)) = \frac{Z_{11}(x)+15575}{226996+15575} \quad (5.63)$$

$$\lambda \leq \mu_{21}(Z_{21}(x)) = \frac{Z_{21}(x)+94573.72}{239667.6+94573.72} \quad (5.64)$$

$$\lambda \leq \mu_{31}(Z_{31}(x)) = \frac{Z_{31}(x)+31350}{35500+31350} \quad (5.65)$$

$$\lambda \leq \mu_{41}(Z_{41}(x)) = \frac{Z_{41}(x)+720}{25640+720} \quad (5.66)$$

$$\lambda \leq \mu_{12}(Z_{12}(x)) = \frac{Z_{12}(x)-0}{366162.2-0} \quad (5.67)$$

$$\lambda \leq \mu_{22}(Z_{22}(x)) = \frac{Z_{22}(x)+34924.6}{382379.2+34924.6} \quad (5.68)$$

$$\lambda \leq \mu_{32}(Z_{32}(x)) = \frac{Z_{32}(x)+31350}{44500+31350} \quad (5.69)$$

$$\lambda \leq \mu_{42}(Z_{42}(x)) = \frac{Z_{42}(x)-0}{25640-0} \quad (5.70)$$

$$\lambda \leq \mu_{13}(Z_{13}(x)) = \frac{Z_{13}(x)+275088.6}{276460+275088.6} \quad (5.71)$$

$$\lambda \leq \mu_{23}(Z_{23}(x)) = \frac{Z_{23}(x)+277281.6}{288466.4+277281.6} \quad (5.72)$$

$$\lambda \leq \mu_{33}(Z_{33}(x)) = \frac{Z_{33}(x)+31350}{44500+31350} \quad (5.73)$$

$$\lambda \leq \mu_{43}(Z_{43}(x)) = \frac{Z_{43}(x)-0}{25640-0} \quad (5.74)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5.75)$$

ve modele ait tüm kısıtlar

Burada elde edilen genel λ değeri üst seviye KV'nin minimum memnuniyet seviyesini belirlemede etkin olacaktır. Modelin çözüm sonuçları Çizelge 5.22'de sunulmuştur. Genel tatmin seviyesi $\lambda=0.34$ olması da dikkate alınarak, üst seviye KV'nin memnuniyet seviyeleri $\tilde{\delta}_1 = 0.7$, $\tilde{\delta}_2 = 0.6$, $\tilde{\delta}_3 = 0.8$ ve iki seviye arasındaki tatmin oranı sınırları $[0.40, 0.55]$ olarak belirlenmiştir. Modelin üst seviye KV'nin memnuniyet

seviyeleri $\tilde{\delta}_1, \tilde{\delta}_2, \tilde{\delta}_3$ ve alt seviye KV'lerin ortak tatmin seviyeleri $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 'ün eklenmesiyle revize edilmiş hali aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.22. Üyelik fonksiyonları için veri seti

Periyot	Amaç Fonksiyonları	Ritmik Değerler	λ	μ
1	Z_{11}	122720.00	0.34	0.57
	Z_{21}	60932.94	0.34	0.47
	Z_{31}	-5747.18	0.34	0.38
	Z_{41}	8229.63	0.34	0.34
2	Z_{12}	196465.02	0.34	0.54
	Z_{22}	106756.60	0.34	0.34
	Z_{32}	-5597.73	0.34	0.34
	Z_{42}	8705.18	0.34	0.34
3	Z_{13}	208872.72	0.34	0.88
	Z_{23}	0	0.34	0.49
	Z_{33}	-5597.73	0.34	0.34
	Z_{43}	8705.18	0.34	0.34

$$\text{Max } \lambda_1 \quad (5.76)$$

$$\text{Max } \lambda_2 \quad (5.77)$$

$$\text{Max } \lambda_3 \quad (5.78)$$

$$\tilde{\delta}_1 = 0.70 \leq \mu_{11}(Z_{11}(x)) = \frac{Z_{11}(x)+15575}{226996+15575} \quad (5.79)$$

$$\tilde{\delta}_2 = 0.60 \leq \mu_{12}(Z_{12}(x)) = \frac{Z_{12}(x)}{366162.2} \quad (5.80)$$

$$\tilde{\delta}_3 = 0.80 \leq \mu_{13}(Z_{13}(x)) = \frac{Z_{13}(x)+275088.6}{276460+275088.6} \quad (5.81)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{21}(Z_{21}(x)) = \frac{Z_{21}(x)+94573.72}{239667.6+94573.72} \quad (5.82)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{31}(Z_{31}(x)) = \frac{Z_{31}(x)+31350}{35500+31350} \quad (5.83)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{41}(Z_{41}(x)) = \frac{Z_{41}(x)+720}{25640+720} \quad (5.84)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{22}(Z_{22}(x)) = \frac{Z_{22}(x)+34924.6}{382379.2+34924.6} \quad (5.85)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{32}(Z_{32}(x)) = \frac{Z_{32}(x)+31350}{44500+31350} \quad (5.86)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{42}(Z_{42}(x)) = \frac{Z_{42}(x)}{25640} \quad (5.87)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{23}(Z_{23}(x)) = \frac{Z_{23}(x)+277281.6}{288466.4+277281.6} \quad (5.88)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{33}(Z_{33}(x)) = \frac{Z_{33}(x)+31350}{44500+31350} \quad (5.89)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{43}(Z_{43}(x)) = \frac{Z_{43}(x)}{25640} \quad (5.90)$$

$$0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \leq 1 \quad (5.91)$$

ve modele ait tüm kısıtlar

Bu aşamadan sonra yeni amaç fonksiyonları için tekrar ödünleşme tablosu oluşturularak üyelik fonksiyonu değerleri elde edilir (Çizelge 5.23).

Çizelge 5.23. Ödünleşme matrisi

Amaç Fonksiyonları	λ_1	λ_2	λ_3	$\mu = 1$
λ_1	0.49	0	0	0.49
λ_2	0	0.41	0	0.41
λ_3	0	0	0.60	0.60
$\mu = 0$	0	0	0	

Yeni amaçlara ait minimum memnuniyet seviyelerinin eş zamanlı olarak maksimize edilmesi için ortak bir β karar değişkeni elde edilen bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeline eklenerek aşağıdaki gibi tek amaçlı KTDP modeline dönüştürülerek çözümlür.

$$\text{Max } \beta \quad (5.92)$$

$$\beta \leq \mu_1(\lambda_1) = \frac{\lambda_1 - 0}{0.49 - 0} \quad (5.93)$$

$$\beta \leq \mu_2(\lambda_2) = \frac{\lambda_2 - 0}{0.41 - 0} \quad (5.94)$$

$$\beta \leq \mu_3(\lambda_3) = \frac{\lambda_3 - 0}{0.60 - 0} \quad (5.95)$$

$$\tilde{\delta}_1 = 0.70 \leq \mu_{11}(Z_{11}(x)) = \frac{Z_{11}(x) + 15575}{226996 + 15575} \quad (5.96)$$

$$\tilde{\delta}_2 = 0.60 \leq \mu_{12}(Z_{12}(x)) = \frac{Z_{12}(x)}{366162.2} \quad (5.97)$$

$$\tilde{\delta}_3 = 0.80 \leq \mu_{13}(Z_{13}(x)) = \frac{Z_{13}(x) + 275088.6}{276460 + 275088.6} \quad (5.98)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{21}(Z_{21}(x)) = \frac{Z_{21}(x) + 94573.72}{239667.6 + 94573.72} \quad (5.99)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{31}(Z_{31}(x)) = \frac{Z_{31}(x) + 31350}{35500 + 31350} \quad (5.100)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{41}(Z_{41}(x)) = \frac{Z_{41}(x) + 720}{25640 + 720} \quad (5.101)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{22}(Z_{22}(x)) = \frac{Z_{22}(x) + 34924.6}{382379.2 + 34924.6} \quad (5.102)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{32}(Z_{32}(x)) = \frac{Z_{32}(x) + 31350}{44500 + 31350} \quad (5.103)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{42}(Z_{42}(x)) = \frac{Z_{42}(x)}{25640} \quad (5.104)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{23}(Z_{23}(x)) = \frac{Z_{23}(x) + 277281.6}{288466.4 + 277281.6} \quad (5.105)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{33}(Z_{33}(x)) = \frac{Z_{33}(x) + 31350}{44500 + 31350} \quad (5.106)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{43}(Z_{43}(x)) = \frac{Z_{43}(x)}{25640} \quad (5.107)$$

$$0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \beta \leq 1 \quad (5.108)$$

ve modele ait tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı KTDP modeli GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve sonuçları Çizelge 5.24’ de unulmuştur.

Çizelge 5.24. Üyelik fonksiyonları için veri seti

Periyot	Amaç Fonksiyonları	Ritmik Değerler	λ_t	μ
1	Z_{11}	178481.80	$\tilde{\delta}_1 = \mathbf{0.70}$	0.700
	Z_{21}	32786.04	0.33	0.333
	Z_{31}	-5219.74	0.33	0.333
	Z_{41}	7923.87	0.33	0.333
2	Z_{12}	219697.32	$\tilde{\delta}_2 = \mathbf{0.60}$	0.600
	Z_{22}	-4013.59	0.278	0.278
	Z_{32}	-3610.99	0.278	0.283
	Z_{42}	1899.24	0.278	0.278
3	Z_{13}	110995.42	$\tilde{\delta}_3 = \mathbf{0.80}$	0.863
	Z_{23}	71719.04	0.407	0.490
	Z_{33}	15440.62	0.407	0.407
	Z_{43}	15816.89	0.407	0.407

Çizelge 5.24’e göre üst seviye KV’nin memnuniyet seviyesi, genel çözümde elde edilen $\mu_{11} = 0.57$ ’den alt sınır olarak belirlediği 0.70 değerine ve $\mu_{12} = 0.54$ ’den alt sınır olarak belirlediği 0.60 değerine yükselirken; $\mu_{13} = 0.88$ ’den alt sınır olarak 0.80 belirlemesine rağmen 0.86 değerine düşmüştür. Genel tatmin seviyesi $\lambda = 0.34$ ise dönem bazında $\lambda_1 = 0.33$, $\lambda_2 = 0.28$, $\lambda_3 = 0.41$ şeklinde değişmiştir. Üst seviye KV’nin iki seviye arasındaki tatmin oranını $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.40, 0.55]$ olarak belirlediğini varsayalım. Eşitlik (4.85) yardımıyla mevcut Δ_t değeri:

$$\Delta_1^1 = \frac{\min(\mu_{21}(Z_{21}(x)), \mu_{31}(Z_{31}(x)), \mu_{41}(Z_{41}(x)))}{\mu_{11}(Z_{11}(x))} = \frac{\min(0.333, 0.333, 0.333)}{0.70} = \frac{0.333}{0.70} = 0.48$$

$$\Delta_2^1 = \frac{\min(\mu_{22}(Z_{22}(x)), \mu_{32}(Z_{32}(x)), \mu_{42}(Z_{42}(x)))}{\mu_{12}(Z_{12}(x))} = \frac{\min(0.278, 0.283, 0.278)}{0.60} = \frac{0.278}{0.60} = 0.46$$

$$\Delta_3^1 = \frac{\min(\mu_{23}(Z_{23}(x)), \mu_{33}(Z_{33}(x)), \mu_{43}(Z_{43}(x)))}{\mu_{13}(Z_{13}(x))} = \frac{\min(0.490, 0.407, 0.407)}{0.863} = \frac{0.407}{0.863} = 0.47 \quad \text{olarak}$$

bulunur.

Açıkça görülmektedir ki elde edilen Δ_1^1 , Δ_2^1 ve Δ_3^1 değerleri üst seviye KV’nin belirlemiş olduğu alt ve üst sınırlar ($0.40 \leq \Delta^1 \leq 0.55$) arasında yer almaktadır. Bu noktada memnuniyet oranı kontrolünün ilk aşaması biter. Sonrasında, her bir alt seviye KV’nin memnuniyet oranları tek tek hesaplanarak ikinci aşamaya geçilir.

$$\Delta_{21}^2 = \frac{\mu_{21}}{\mu_{11}} = \frac{0.333}{0.70} = 0.48; \quad \Delta_{31}^2 = \frac{\mu_{31}}{\mu_{11}} = \frac{0.333}{0.70} = 0.48; \quad \Delta_{41}^2 = \frac{\mu_{41}}{\mu_{11}} = \frac{0.333}{0.70} = 0.48$$

$$\Delta_{22}^2 = \frac{\mu_{22}}{\mu_{12}} = \frac{0.278}{0.60} = 0.46; \quad \Delta_{32}^2 = \frac{\mu_{32}}{\mu_{12}} = \frac{0.283}{0.60} = 0.47; \quad \Delta_{42}^2 = \frac{\mu_{42}}{\mu_{12}} = \frac{0.278}{0.60} = 0.46$$

$\Delta_{23}^2 = \frac{\mu_{23}}{\mu_{13}} = \frac{0.49}{0.863} = \mathbf{0.57}$; $\Delta_{33}^2 = \frac{\mu_{33}}{\mu_{13}} = \frac{0.407}{0.863} = 0.47$; $\Delta_{43}^2 = \frac{\mu_{43}}{\mu_{13}} = \frac{0.407}{0.863} = 0.47$ olarak bulunur.

Elde edilen Δ_{23}^2 değeri dışında diğer tüm memnuniyet oranları üst seviye KV'nin belirlediği alt ve üst sınırlar dâhilindedir. $\Delta_{23}^2 \geq 0.55$ olduğundan üst seviyedeki KV, ilgili KV için maksimum bir memnuniyet seviyesi belirler. Maksimum memnuniyet seviyesi $\bar{\delta}_{23} = 0.55 \times 0.863 = 0.475$ şeklinde hesaplanır. Burada $\bar{\delta}_{23}$ değerinin modele eklenmesi, λ_3 amaç fonksiyonunun üst değerlerinin değişimine sebep olacaktır. Bu yüzden, modeldeki $\mu_3(\lambda_3)$ üyelik fonksiyonu güncellenerek $\bar{\delta}_{23}$ değişkeni ile birlikte modele dâhil edilmiş ve problem aşağıdaki halini almıştır.

$$\text{Max } \beta \quad (5.109)$$

$$\beta \leq \mu_1(\lambda_1) = \frac{\lambda_1 - 0}{0.49 - 0} \quad (5.110)$$

$$\beta \leq \mu_2(\lambda_2) = \frac{\lambda_2 - 0}{0.41 - 0} \quad (5.111)$$

$$\beta \leq \mu_3(\lambda_3) = \frac{\lambda_3 - 0}{0.48 - 0} \quad (5.112)$$

$$\bar{\delta}_1 = 0.70 \leq \mu_{11}(Z_{11}(x)) = \frac{Z_{11}(x) + 15575}{226996 + 15575} \quad (5.113)$$

$$\bar{\delta}_2 = 0.60 \leq \mu_{12}(Z_{12}(x)) = \frac{Z_{12}(x)}{366162.2} \quad (5.114)$$

$$\bar{\delta}_3 = 0.80 \leq \mu_{13}(Z_{13}(x)) = \frac{Z_{13}(x) + 275088.6}{276460 + 275088.6} \quad (5.115)$$

$$\bar{\delta}_{23} = \mathbf{0.475} \geq \mu_{23}(Z_{23}(x)) = \frac{Z_{23}(x) + 277281.6}{288466.4 + 277281.6} \quad (5.116)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{21}(Z_{21}(x)) = \frac{Z_{21}(x) + 94573.72}{239667.6 + 94573.72} \quad (5.117)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{31}(Z_{31}(x)) = \frac{Z_{31}(x) + 31350}{35500 + 31350} \quad (5.118)$$

$$\lambda_1 \leq \mu_{41}(Z_{41}(x)) = \frac{Z_{41}(x) + 720}{25640 + 720} \quad (5.119)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{22}(Z_{22}(x)) = \frac{Z_{22}(x) + 34924.6}{382379.2 + 34924.6} \quad (5.120)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{32}(Z_{32}(x)) = \frac{Z_{32}(x) + 31350}{44500 + 31350} \quad (5.121)$$

$$\lambda_2 \leq \mu_{42}(Z_{42}(x)) = \frac{Z_{42}(x)}{25640} \quad (5.122)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{23}(Z_{23}(x)) = \frac{Z_{23}(x) + 277281.6}{288466.4 + 277281.6} \quad (5.123)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{33}(Z_{33}(x)) = \frac{Z_{33}(x) + 31350}{44500 + 31350} \quad (5.124)$$

$$\lambda_3 \leq \mu_{43}(Z_{43}(x)) = \frac{Z_{43}(x)}{25640} \quad (5.125)$$

$$0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \beta \leq 1 \quad (5.126)$$

ve modele ait tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı KTDP modeli GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözümlenerek elde edilen sonuçlar Çizelge 5.25’de sunulmuştur.

Çizelge 5.25. Üyelik fonksiyonları için veri seti

Periyot	Amaç Fonksiyonları	Ritmik Değerler	λ_t	μ
1	Z_{11}	154224.7	$\tilde{\delta}_1 = 0.70$	0.700
	Z_{21}	30265.43	0.361	0.374
	Z_{31}	-7187.77	0.361	0.361
	Z_{41}	8807.54	0.361	0.361
2	Z_{12}	229551.76	$\tilde{\delta}_2 = 0.60$	0.627
	Z_{22}	91280.14	0.302	0.302
	Z_{32}	-7690.31	0.302	0.312
	Z_{42}	7754.28	0.302	0.302
3	Z_{13}	205261.15	$\tilde{\delta}_3 = 0.80$	0.871
	Z_{23}	-8551.3	0.354	0.475
	Z_{33}	-4494.31	0.354	0.354
	Z_{43}	9078.18	0.354	0.354

Çizelge 5.25’e göre ise üst seviye KV’nin 2. dönemdeki tatmin seviyesi 0.63’e ve 3. dönemdeki tatmin seviyesi 0.87’a yükselirken 1. dönemdeki tatmin seviyesi aynı kalmıştır. Alt seviye KV’lerin ise bir önceki çözüme göre 1 ve 2. Dönemdeki tatmin seviyeleri artarken; 3. Dönemdeki tatmin seviyeleri düşmüştür. Buna göre yeni Δ değerleri:

$$\Delta_{21}^3 = \frac{\mu_{21}}{\mu_{11}} = \frac{0.374}{0.70} = 0.53; \quad \Delta_{31}^3 = \frac{\mu_{31}}{\mu_{11}} = \frac{0.361}{0.70} = 0.52; \quad \Delta_{41}^3 = \frac{\mu_{41}}{\mu_{11}} = \frac{0.361}{0.70} = 0.52$$

$$\Delta_{22}^3 = \frac{\mu_{22}}{\mu_{12}} = \frac{0.302}{0.627} = 0.48; \quad \Delta_{32}^3 = \frac{\mu_{32}}{\mu_{12}} = \frac{0.312}{0.627} = 0.50; \quad \Delta_{42}^3 = \frac{\mu_{42}}{\mu_{12}} = \frac{0.302}{0.627} = 0.48$$

$$\Delta_{23}^3 = \frac{\mu_{23}}{\mu_{13}} = \frac{0.475}{0.871} = 0.55; \quad \Delta_{33}^3 = \frac{\mu_{33}}{\mu_{13}} = \frac{0.354}{0.871} = 0.41; \quad \Delta_{43}^3 = \frac{\mu_{43}}{\mu_{13}} = \frac{0.354}{0.871} = 0.41 \quad \text{olarak}$$

bulunur.

Elde edilen yeni oranlar üst seviye KV’nin önceden belirlediği sınırlar arasında yer almaktadır. Üst seviye KV’nin bu yeni durumdan memnun olduğunu varsayımıyla algoritma sonlandırılır. Sonuç olarak Fabrika 1, Fabrika 2, Toplama&geri dönüşüm merkezi ve Müşteriler için tatmin seviyeleri ilk dönem için sırasıyla %70, %37, %36 ve %36; ikinci dönem için sırasıyla %60, %30, %31 ve %30; son dönem için sırasıyla %87, %48, %35 ve %35 olur.

5.2.8. Karşılaştırmalı analiz

Tez kapsamında ele alınan ÇSR-KDTZ Ağ Tasarım probleminin çözümü için kullanılan tüm EBP yaklaşımlarının performanslarını değerlendirmek için elde edilen uzlaşık çözüm sonuçları Çizelge 5.26'da özetlenmiştir. Selim ve Ozkarahan (2008) yaklaşımı için, ilgili noktadan itibaren dengeli çözümlere ulaşıldığından, γ değeri 0.6 alınarak elde edilen sonuçlar değerlendirme için kullanılmıştır. Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımında ise $\gamma = 0.1$ noktasından itibaren dengeli çözümler elde edilmesine rağmen Selim ve Ozkarahan (2008) yaklaşımıyla ortak bir nokta olması açısından yine $\gamma = 0.6$ değeri ile elde edilen sonuçlar değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge 5.26. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

	Ortak M.S.	KV-1		KV-2		KV-3		KV-4	
	λ	Z_1	μ_1	Z_2	μ_2	Z_3	μ_3	Z_4	μ_4
Zimmerman	0.61	364065.62	0.61	388576.84	0.61	9643.99	0.61	15444.57	0.61
Selim ve Özkarahan ($\gamma = 0.6$)	0.60	352935.72	0.60	376961.77	0.60	13650	0.67	25640	1
Torabi ve Hassini ($\gamma = 0.6$)	0.60	354202.57	0.60	378283.85	0.60	13650	0.67	25640	1
Sakawa ve Nishizaki	0.44	545266.04	0.80	211924.04	0.44	-1722.80	0.44	11932.80	0.48
(Periyot 1)	0.36	154224.70	0.70	30265.43	0.37	-7187.77	0.36	8807.54	0.36
Ritmik (Periyot 2)	0.30	229551.76	0.63	91280.14	0.30	-7690.31	0.31	7754.28	0.30
(Periyot 3)	0.35	205261.15	0.87	-8551.3	0.48	-4494.31	0.35	9078.18	0.35

Çizelge 5.26'nın üst kısmı mevcut yaklaşımlarla elde edilen sonuçları, alt kısım ise geliştirdiğimiz Ritmik yaklaşım ile elde edilen sonuçları sunmaktadır. Çizelgede koyu renkle vurgulanan veriler ilgili KV'nin en iyi sonucunu göstermektedir. Bu çizelgeden hareketle başlangıçta herhangi bir EBP yaklaşımının diğer yaklaşımlardan kesin olarak daha iyi olduğu söylenemez. Çünkü ilk üç yaklaşımda tüm karar vericiler eşit öneme sahipken son iki yaklaşımda karar vericiler farklı seviyelere sahip ve bununla birlikte son yaklaşımda zaman kavramı da söz konusu olduğundan diğer yaklaşımlarla karşılaştırılabilecek tek bir sonuç mevcut değildir. Buna bağlı olarak da tüm yaklaşımların göreceli koşullarda geçerli sonuçlar verdiği kabul edilebilir.

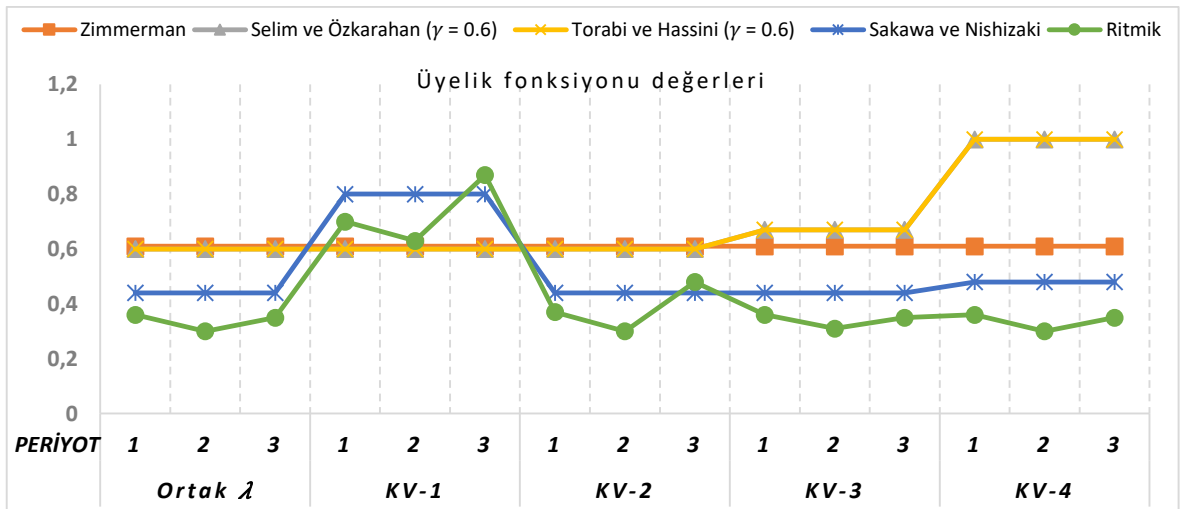
Karar vericilerin eşit öneme sahip olduğu koşulu düşünülürse Selim ve Ozkarahan (2008) ile Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımlarının Zimmermann (1978) yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar verdikleri söylenebilir. Çünkü her ne kadar KV-1 ve KV-2'nin memnuniyet seviyeleri %1.6 azalsa da KV-3 ve KV-4'ün memnuniyet seviyeleri sırasıyla %9.8 ve %64'lük ciddi bir artış göstermiştir. Selim ve Ozkarahan (2008) ile Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımlarında tüm karar vericilerin memnuniyet dereceleri arasında bir

fark yoktur fakat amaç fonksiyonu değerlerine bakacak olursak Z_1 ve Z_2 değerlerinin Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımında bir tık daha iyi sonuçlar verdiği gözlenebilir.

Gerçek hayat uygulamalarında ise karar vericiler arasında işbirliğine dayalı olan, çoğunlukla hiyerarşik yapıya ve farklı öneme sahip tüm karar vericilerin ortak karar verdiği durumlar söz konusudur. Buna istinaden de bu koşulun söz konusu olduğu problemlerin çözümünde daha etkili sonuçlara ulaşmak için Sakawa ve Nishizaki (2002b) yaklaşımının kullanılması önerilmektedir. Nitekim Çizelge 5.26’da sunulan sonuçlardan görülebileceği üzere KV-1’in diğerlerine nazaran daha fazla öneme sahip olduğu yani üst seviye KV olduğu düşünüldüğünde, bu yaklaşımın diğer mevcut yaklaşımlara nazaran daha uygun bir yol sunarak beklenildiği gibi memnuniyet verici bir çözüm sunduğu açıktır.

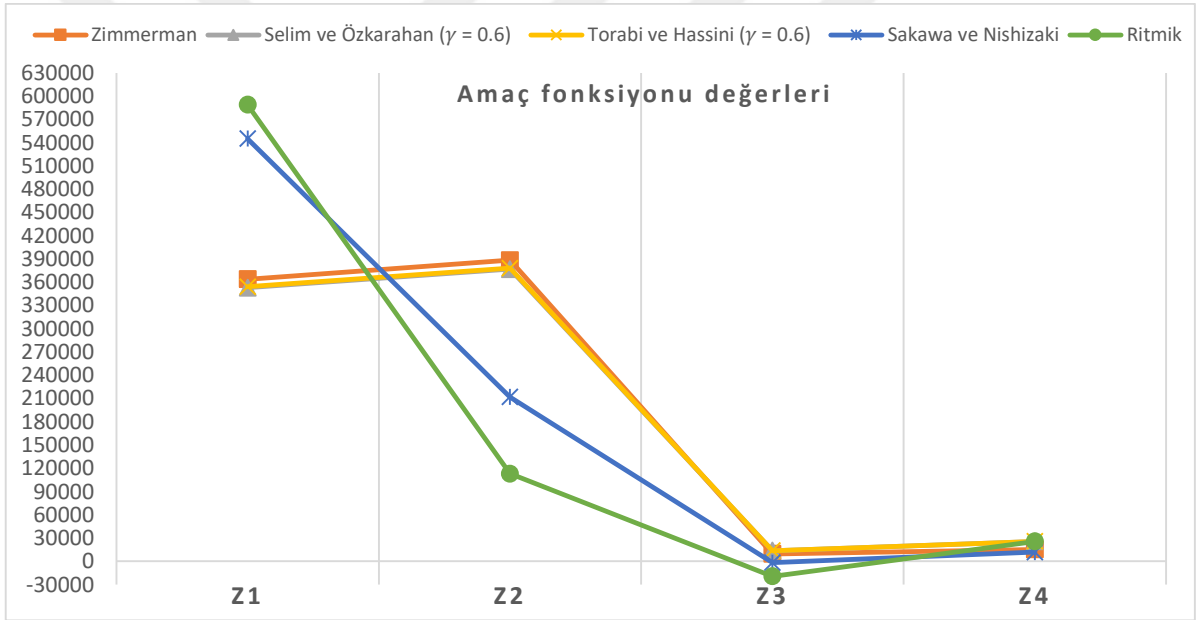
Fakat tıpkı küresel rekabetin yoğunlaştığı pazarlarda sürekli değişen koşullar gibi tedarik zincirindeki tüm tarafların memnuniyet talepleri veya yetinme düzeyleri dönem bazında da değişebilmektedir. İşte bu noktada geliştirilen Ritmik yaklaşım, oldukça değişken ve dinamik olan dış çevrenin fırsatları ve tehlikeleri dahilinde tedarik zinciri üyelerine ilerleyen dönemler için öngördükleri memnuniyet seviyelerini değişimlere uyum sağlamak amacıyla önceden tasarlayarak modele entegre etme imkanı tanır. Bu sayede çözüm sonucunda zincir dâhilindeki işletmeler her döneme özgü mevcut şartlara uyumlu birden çok memnuniyet seviyelerine sahip olur.

Bu sebeple Şekil 5.10’den da görüldüğü gibi karar vericilerin mevcut yaklaşımlar ile elde edilen memnuniyet seviyeleri tüm dönemlerde sabit ilerlerken ritmik yaklaşım ile elde edilenler birden fazla değere sahip olduğundan dalgalı bir yapı gösterir bu sebeple de diğer yaklaşımlar ile bir karşılaştırma yapmak güçtür.



Şekil 5.10. Karar vericilerin farklı yaklaşımlara göre dönem bazında üyelik fonksiyonu değerleri

Karar vericilere ait amaç fonksiyonu değerleri üzerine yorum yapabilmek için ise Ritmik yaklaşımla dönem bazında hesaplanan değerler toplanarak elde edilen sonuçlar diğer yaklaşım sonuçları ile birlikte Şekil 5.11’de sergilenmiştir. Buradan hareketle de tüm karar vericiler için optimal sonucu veren bir yaklaşım olmadığı, her karar vericinin farklı yaklaşımlar ile daha iyi sonuçlar aldığı gözlemlendiğinden belirlenen şartlar dahilinde en uygun yaklaşımın uzlaşık çözüm elde etmek için kullanılabilmesi sonucu çıkarılabilir. Kısaca özetlemek gerekirse tüm yaklaşımlar kendilerine özgü koşullarda uygun çözümler sunma yeteneğine sahiptir, ancak dünyanın değişim hızı göz önünde bulundurulduğunda çözüm için mevcut yaklaşımlar yetersiz kalacağından Ritmik yaklaşımın çok seviyeli merkezi olmayan tedarik zinciri ağlarının optimize edilmesinde günümüz koşullarının üstesinden gelerek daha uygun çözümler sunabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.11. Karar vericilerin farklı yaklaşımlara göre optimal amaç fonksiyonu değerleri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KDTZ, artan uluslararası düzenlemeler, çevresel kaygılar ve sosyal sorumluluk gibi sebeplerle son yıllarda akademi ve iş dünyasında gittikçe artan bir ilgi görmektedir. KDTZ bir ürünün tüm yaşam döngüsünü içerecek şekilde, üretilmesinden yok edilmesine kadar İTZ ve TTZ işlemlerini birleştiren entegre bir ağıdır. Genel olarak, KDTZ, yeniden işlenen ve sonunda İTZ'ye yeniden giren geri kazanılmış ürünler için tersine faaliyetlerle desteklenen geleneksel İTZ olarak görülebilir (Stindt ve Sahamie, 2014).

Tedarik zincirini kapatmak, bir kuruluş için operasyonel ve finansal avantajlar sağlar ve aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik lehine çalışır. KDTZ Yönetimi, rekabet avantajı sağlayarak bir organizasyonun ekonomik durumunu iyileştirirken, şirket faaliyetlerinin olumsuz çevresel etkilerini azaltmalarına da imkân sunmaktadır. Özellikle KDTZ stratejilerinin etkin bir şekilde uygulanması, kaynak kullanımının optimizasyonuna, atıklarda, çevre kirliliğinde ve maliyetlerde azalmaya yol açmaktadır. KDTZ Yönetimi, temelde çevresel düzenlemelerin gerekliliklerine göre süreç ve ürünlerin performansını iyileştirmeye yönelik bir yaklaşım olarak tanımlanmıştır, ve Yeşil Tasarım, Yeşil Üretim, Yeşil Operasyonlar, Atık Yönetimi ve Ürün Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin bir derlemesidir (Kumar ve Kumar, 2013).

Literatür taraması sırasında, tıpkı lojistik yönetiminin zamanla TZY'ye dönüşmesi gibi, aynı durumun KDTZ yönetimi için de geçerli olduğu gözlenmiştir. Tersine lojistiğin, 1990'ların ortalarından sonlarına kadar KDTZ yönetimine dönüşmüş olduğu görünmekte ve bu durum, lojistiğin 1980'lerde geleneksel TZY'ye doğru evrimine güçlü bir şekilde benzemektedir. KDTZ terimi bu yüzyılın başlarında literatürde bu şekilde ortaya çıkarken çoğunlukla yazarlar tarafından 'ters tedarik zincirleri' şeklinde bahsedilmiştir. Ancak, yalnızca KDTZ'nin net bir tanımının 2002 ve 2003 yıllarında ortaya çıktığı görülmüş ve 2004 yılında Krikke ve ark. (2004), KDTZ'nin İTZ ve TTZ olmak üzere iki tedarik zincirinden oluştuğunu iddia ederek bu kavramı daha da geliştirmiştir (Seitz, 2005).

Başlangıçta şirketler, esas olarak fabrikadan müşteriye akış olan ileriye dönük tedarik zincirlerine odaklanmaktaydı. Artan küresel rekabet, kısalan yaşam döngüleri, genişleyen çevre mevzuatı ve bayilerdeki her zamankinden daha yumuşak ticari geri alım politikaları, ürün iadelerini arttırmakta ve bunun yanında yeni ürünler daha hızlı piyasaya sürülmektedir. Bu sebeple, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmek adına bu değişikliklere tepki verebilmesi için TTZ'nin entegre olabileceği bir İTZ tasarlayarak etkin bir KDTZ'ye sahip olmaları gerekmektedir (van de Scheur).

Ancak, KDTZ içerdiği belirsizlikler nedeni ile tahminler, planlamalar ve kontroller yapılması zor bir ağ yapısına sahip ve dolayısıyla çok daha maliyetlidir. Çünkü tedarik zinciri verileri her zaman görünür, erişilebilir veya güvenilir değildir. Bu noktada blok zincir teknolojisi tedarik zinciri ortaklarının izin verilen blok zincir çözümleri aracılığıyla güvenilir verileri paylaşmasına yardımcı olabilir, geri dönen ürünlerin ait yaşam döngüsü bilgilerini sağlayarak söz konusu belirsizlikleri azaltabilir ve maliyetleri büyük ölçüde hafifletebilir. Tedarik zinciri katılımcıları, anlaşmazlıkları en aza indirmek için sorumlu kaynak kullanımı ve daha iyi görünülük talep ederken, işletmeler ve tüketiciler markaların ürün orijinalliğini garanti etmesini istemektedir. Blok zincir, tüm ürün ve nakliye detayları gibi gerekli verilerin farklı teknolojilerle birlikte toplanmasını, doğrulanmasını ve kurcalanmamış/değiştirilemez bir şekilde kaydedilmesini sağlamaktadır (Azzi ve ark., 2019). Böylece tedarik zinciri problemlerinin çözümleri için uygulanan blok zinciri, tedarik zinciri liderlerinin bugünün aksaklıklarıyla başa çıkmasına ve gelecek için dayanıklılık oluşturmaya yardımcı olur.

Teknolojideki gelişmelerle beraber her alanda kayda değer yenilikler ortaya çıkmakta ve gereksinimler farklılık göstermektedir. Tedarik zincirinde blok zincir teknolojisinin uygulanması henüz yeni bir konu olsa da bu konu üzerine yapılacak tahminler fazlasıyla önemlidir. Bu doğrultuda tez çalışmasında bu konu üzerine odaklanarak örnek bir vaka işlevi görmek ve literatüre katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Firmalar uzmanlaştıkça, organizasyonlar, tedarikçiler ve müşteriler arasında var olan artan karşılıklı bağımlılık ve fırsatların giderek daha fazla farkına vararak tedarikçileri ve tedarik zincirindeki diğer birimlerden bağımsız olarak diğer firmalarla rekabet edemeyeceklerinin bilincine varmışlardır (Antai ve Olson, 2013). Rekabetin olmaması, firmaların pazardaki kârlılığını kötüleştirebilir. Bu durumun bir örneği, 1980'lerin sonu ile 1990'ların başı arasındaki İtalyan inşaat endüstrilerinin rekabetidir. Bu dönemde İtalya'daki müteahhitler, firmalar arasında rekabetin olmadığı kartel tipi bir ortam uygulamışlardır. Bu tür bir ortam, firmaları yenilik yapmaya ve daha verimli çalışmaya daha az istekli hale getirdiği için firmaların kârlılığını kötü etkilemiştir (Arvitrida, 2017).

Tedarik zincirlerinin etkileşimi, işbirliği, ortaklığı vb. bir takım sonuçlara yol açabilir ve bu karşılıklı davranış değişikliği, etkileşim halindeki varlıklar arasında rekabetin bir olasılık haline geldiği bir atmosfer de yaratabilir. Tedarik zincirleri arasındaki rekabetin geleceği temsil ettiğini kabul etmek, TZY literatüründe artık yeni değildir (Antai ve Olson, 2013). Öte yandan, bir tedarik zincirini merkezi bir şekilde

tasarlamak büyük miktarda finans gerektirir dolayısıyla da şirketler maliyetlerini düşürmek için zincirlerini merkezi olmayan bir şekilde tasarlamakla ilgilenmektedirler (Seyedhosseini ve ark., 2018). Tedarik zincirinde her bir tedarik zinciri üyesi tarafından ayrı ayrı alınan karar verme yapısı merkezi olmayan yapı olarak adlandırılır. Böylesine rekabetçi bir koşul altında, her üye kendi kârını artırmak için bireysel olarak karar verebilir. Bununla birlikte, her bir tedarik zinciri aktörü tarafından alınan bu tür bireysel kararlar, toplam tedarik zinciri kârını ve diğer tedarik zinciri üyelerinin kârlarını etkileyebilir ve bu da verimsiz bir sistemle sonuçlanabilir. Bu nedenle, rekabetçi tedarik zincirinde stratejik veya operasyonel kararlar alınırken, karar vermenin zincirin tüm üyeleri üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmalı ve verimli bir sisteme ulaşmak için, tüm tedarik zinciri üyelerinin hedeflerinin uyumlu olduğu bir koordinasyon planı tasarlanmalıdır (Kodali ve Routroy, 2006; Seyed Haeri ve Rezaei, 2019).

Bir tedarik zincirinin ağ yapısı, performansını ve dolayısıyla rekabet gücünü etkiler. Önceki tedarik zinciri çalışmalarının çoğu, tekeli bir pazarda stratejik ve operasyonel maliyetlerinin toplamını en aza indiren bir tedarik zincirinin fiziksel ağ yapısını tasarlamaya odaklanmıştır. Yani günümüz piyasalarının gerçek durumu olan diğer rakiplerin varlığı görmezden gelinmektedir. Bu bağlamda, şirketler için başarı, sadece üretmek ve / veya satmaktan daha geniş bir alana yayılmakta ve geleneksel ilişkilerin müzakerelerine etkin bir şekilde katılma, kalite ve fiyat açısından en iyileri sunmak için başkalarıyla işbirliği yapma yeteneğine sahip olmasıdır (Farahani ve ark., 2015). Bu nedenle, rekabet ortamında tedarik zinciri ağ tasarımı dünya çapında birçok küresel endüstrinin ve araştırmacının dikkatini çeken popüler bir konu ve önemli bir araştırma alanıdır. Bu çalışma da rekabet ve işbirliğinin tedarik zincirleri üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

6.1 Sonuçlar

Tez çalışmasında KDTZ ağ tasarım ve optimizasyon problemleri için literatürdeki güncel konular incelenerek iki farklı problem ele alınmıştır. Problemler için başlangıçta temel bir ağ yapısı modeli oluşturulmuş ve varsayımlar üzerinden aşamalı bir şekilde farklılaştırılmış ve geliştirilmiştir.

İlk problem, iki farklı üreticiden ve birden fazla tesisi olan bir toplama ve geri dönüşüm merkezinden oluşan bir KDTZ'nin kârını maksimize etme üzerinedir. Söz konusu durumda akış tedarikçilerden ton cinsi üzerinden çelik levha satın alınması ile başlanmakta ve satın alınan levhalar fabrikalarda çelik oto parçalara dönüştürülerek

müşterileri olan marketlere gönderilmektedir. Burada sattıkları çelik levhaların kalitelerine göre üç farklı segmentte tedarikçi ve yine aldıkları oto parçaların kalitelerine göre üç farklı segmentte market söz konusudur. Dolayısıyla fabrikalar kullandıkları çelik levhalara göre üç farklı kalitede ürün imal etmekte ve her kaliteyi ayrı ayrı fiyatlandırarak satışa sunmaktadır. Toplama ve geri dönüşüm merkezi ise kullanım ömrü sona eren veya kazalar ve çeşitli teknik problemler sonucunda müşterilerden geri dönen oto parçaları toplamakta ve eritme işlemi sonucu çelik levhalara dönüştürerek fabrikalara yeniden imal edilmek üzere göndermektedir. Fabrikaların hammadde tedarik maliyeti ve geri dönen çelik levhalara uygulanacak kurtarma seçeneği ise tedarik zincirinin blok zincir teknolojisini yürütme performansına göre değişecektir. İlk olarak, incelenen ana problemin ilk durumu için bir temel model geliştirilmiştir. Ardından, mevcut tedarik zinciri modelini iyileştirmek için dört yeni senaryo doğrultusunda bir blok zincir teknolojisi yaklaşımı sunulmuştur. Bu çalışma, blok zincirin tedarik zincirine entegre edilebilirliğini gösterirken blok zincir teknolojisi uygulamalarının mevcut tedarik zincirinde ne tür kazanımlar sağlayacağını ve bunun maliyetleri nasıl etkileyeceğini keşfetmeyi amaçlamaktadır.

Geliştirilen tüm modeller *Windows 10* işletim sistemi üzerinde çalışan *16 GB RAM*'li *2.20 GHz Intel® Core™ i7-8750H CPU* işlemciye sahip bir bilgisayarda *GAMS 24.0.1/CPLEX* paket programı kullanılarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlara göre, toplam kâr blok zincir teknolojisinin kullanılmadığı ana modelde en az, blok zincir teknolojisinin tamamen kullanıldığı senaryoda ise en fazla olmuştur. Blok zincir teknolojisini kısmen uygulandığı diğer üç senaryo da yine tam olarak uygulamak kadar verimli sonuçlar vermemiştir. Kısmen uygulanan senaryolardan sadece ileri ve sadece tersine akışa entegre edilmesi sonucu elde edilen değerler ise tedarik zinciri ağına blok zincir teknolojisini ileri akıştan ziyade tersine akış üzerine uygulamanın daha etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte senaryo analizleri sonucu elde edilen çıkarımlar, blok zincir teknolojisinin tedarik zinciri maliyetlerini önemli ölçüde düşürme yeteneğinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, böylesine önemli bir teknolojiyi uygulayacak firmaların kârlarını arttırma konusunda büyük bir avantaj elde edeceği beklenmektedir.

Bu teknolojilerin tedarik zincirleri üzerindeki etkisi, hem uygulayıcılar hem de akademisyenler için geçerli olan bir araştırma boşluğu yaratmaktadır (Rejeb ve diğerleri, 2019). Bu çalışma, uygulayıcılara ve araştırmacılara, gelecekteki çalışmalarda farklı alanlar için blok zincir teknolojisinin kullanımını düşünmeleri için ilham verebilir.

İkinci problemde ise, önceki problemde tek seviyeli olarak tasarlanan KDTZ ağı, tüm üyelerinin rekabetçi farklı karar vericiler olduğu kabul edilerek çok seviyeli şekilde yeniden tasarlanmıştır. Buna bağlı olarak, ürün geri kazanımı için bir takım teşviklerle kullanılmış ürünleri iade etme istekliliğini artırarak sürdürülebilir tüketimi iyileştirmeye çalışan iki üretici, bir toplama & geri dönüşüm merkezi ve müşterilerden oluşan ÇSR-KDTZ'nin optimizasyonu üzerine çalışılmıştır.

Söz konusu ağ modelinde bir önceki problemdeki durumdan farklı olarak, Toplama ve geri dönüşüm merkezi müşterilerden geri dönen oto parçaları kalitelerine göre farklı işlemler uygulayarak yeniden kullanılmak üzere satışa sunmaktadır. Burada alış veriş yaptıkları marketlere göre her biri farklı bölgelerde olan üç farklı segmentte müşteriler bulunmaktadır. Toplama ve geri dönüşüm merkezi, geri dönen oto parça miktarını arttırmak için müşterilere buldukları bölgeye ve ürünlerinin kalitesine göre bir takım teşviklerde bulunmaktadır. Geri dönen ürünler iki farklı kalite üzerinden değerlendirilmektedir. Toplama ve geri dönüşüm merkezi kârını maksimize etmek üzere elindeki ürünleri en yüksek fiyatı veren firmaya satış yapmaktadır. Bunun dışında, farklı konumlarda üç tesise sahip olan toplama ve geri dönüşüm merkezi minimum maliyet oluşacak şekilde bunlardan ikisini hizmete sunma ve açılan bu tesislerden hizmet alacak müşterileri belirlemeyi amaçlamaktadır. Müşteriler ise ellerindeki kullanılmış ürünleri iade etmeye karar verirken toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından vaat edilen teşvik miktarının yanında atanacakları tesisin konutlarına olan yakınlığını da dikkate almaktadır. ÇSR-KDTZ yönetiminde farklı amaç fonksiyonlarına sahip olan karar vericiler için uzlaşık çözüme ulaşabilmek için, öncelikle Bulanık BWM ve literatürde mevcut EBP yaklaşımlar, ardından tez kapsamında geliştirilen Ritmik etkileşimli çok seviyeli bulanık programlama yaklaşımı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Karar vericilerin eşit öneme sahip olduğu koşulunda Selim ve Ozkarahan (2008) ile Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımlarının Zimmermann (1978) yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar verdikleri söylenebilir. Çünkü bu yaklaşımlarla elde edilen sonuçlara göre her ne kadar KV-1 ve KV-2'nin memnuniyet seviyeleri Zimmermann (1978) yaklaşımıyla elde edilen verilere göre % 1.6 azalsa da KV-3 ve KV-4'ün memnuniyet seviyeleri sırasıyla % 9.8 ve % 64'lük ciddi bir artış göstermiştir. Selim ve Ozkarahan (2008) ile Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımlarında tüm karar vericilerin memnuniyet dereceleri arasında bir fark yoktur, fakat amaç fonksiyonu değerlerine bakacak olursak Z_1 ve Z_2 değerlerinin Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımında yaklaşık % 0.35 daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Karar vericilerin farklı öneme sahip olduğu ve tüm karar

vericilerin ortak karar verdiği koşulunda Sakawa ve Nishizaki (2002b) yaklaşımı diğer mevcut yaklaşımlara nazaran daha etkili sonuçlar sunarak beklenildiği gibi memnuniyet verici bir çözüm sunmuştur. Karar vericilere ait memnuniyet talepleri veya yetinme düzeylerinin dönem bazında değiştiği koşulunda ise geliştirilen Ritmik yaklaşım, tedarik zinciri üyelerine ilerleyen dönemler için öngördükleri memnuniyet seviyelerini değişimlere uyum sağlamak amacıyla önceden tasarlayıp modele entegre etme imkanı tanıyarak çözüm sonucunda zincir dâhilindeki işletmelerin her döneme özgü mevcut şartlara uyumlu birden çok memnuniyet seviyesine sahip olmasını sağlamıştır.

Özetle tüm yaklaşımlar kendilerine özgü koşullarda uygun çözümler sunma yeteneğine sahiptir, ancak dünyanın değişim hızı göz önünde bulundurulduğunda çözüm için mevcut yaklaşımların yetersiz kalacağı, Ritmik yaklaşımın çok seviyeli merkezi olmayan tedarik zinciri ağlarının optimize edilmesinde günümüz sürekli değişen koşullarının üstesinden gelerek uygun çözümler sunabileceği düşünülmektedir.

6.2 Öneriler

Blok Zincir Tabanlı Tedarik Zincirleri üzerine gelecekteki çalışmalar, ileri zincirde varsayılan %10'luk maliyet tasarrufunun fiili oran belirlemesine odaklanabilir. TZY operasyonları üzerindeki potansiyel etkileri hakkında fazla bilgi bulunmayan blok zincir teknolojisinin daha iyi anlaşılması için yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ve eksikliklerin giderilmesi ile ilgili alanda daha birçok metodolojik yaklaşım ve ampirik çalışma yapılabilir. Böylece uygulayıcıların oldukça yeni olan bu teknolojiye temkinli yaklaşımlarının önüne geçilebilir.

Rekabetçi KDTZ üzerine gelecekteki çalışmalar bir yandan karar verici sayısında değişikliğe başvururken bir yandan tedarik zinciri içindeki rekabetin yanında tedarik zincirleri arasındaki rekabete de odaklanarak ortak bir çözüm arayışına girebilir. Aynı zamanda tez çalışmasında uygulan ve geliştirilen EBP yaklaşımlarına alternatif veya karşılaşılabilecek olası yeni durumlar için çözüm sunacak yeni yaklaşımlar geliştirilebilir. Bunun dışında tez kapsamında geliştirilen Ritmik EBP yaklaşımı farklı alanlardaki optimizasyon problemlerinin çözümü için uygulanarak performansı ölçülebilir.

Önerilen modeller kuramsal verilere dayalı sayısal örnekler üzerinden test edilmiştir. İleri çalışmalarda, tez kapsamında ele alınan KDTZ faaliyetlerinin gerçekleştirildiği işletmelerde uygulanabilir ve farklı ağlar üzerinde geliştirilebilir. Yine geliştirilen modellerin performansının test edilmesi ve bazı parametre değişikliklerinin model üzerindeki etkisinin araştırılması için farklı boyutlarda test problemleri üretilerek

özüm sürecinde sezgisel yöntemlerden yararlanılabilir ve bu yöntemlerin performansları izlenerek karşılaştırılabilir. Ayrıca geliştirilen modellerde ele alınan talep, kapasite gibi parametreler ve ürün dönüşlerindeki belirsizlikler ađ yapısına bulanık olarak eklenebilir.



KAYNAKLAR

- Adida, E. ve DeMiguel, V., 2011, Supply chain competition with multiple manufacturers and retailers, *Operations Research*, 59 (1), 156-172.
- Ahlatcioglu, M. ve Tiryaki, F., 2007, Interactive fuzzy programming for decentralized two-level linear fractional programming (DTLLFP) problems, *Omega*, 35 (4), 432-450.
- 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, 988-1003.
- Ajalli, M., Azimi, H., Balani, A. M. ve Rezaei, M., 2017, Application of fuzzy AHP and COPRAS to solve the supplier selection problems, *International Journal of Supply Chain Management*, 6 (3), 112-119.
- Al-Salem, M., Diabat, A., Dalalah, D. ve Alrefaei, M., 2016, A closed-loop supply chain management problem: Reformulation and piecewise linearization, *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 1-8.
- Alamdar, S. F., Rabbani, M. ve Heydari, J., 2018, Pricing, collection, and effort decisions with coordination contracts in a fuzzy, three-level closed-loop supply chain, *Expert Systems with Applications*, 104, 261-276.
- Alavidoost, M., Babazadeh, H. ve Sayyari, S., 2016, An interactive fuzzy programming approach for bi-objective straight and U-shaped assembly line balancing problem, *Applied Soft Computing*, 40, 221-235.
- Alshamrani, A., Mathur, K. ve Ballou, R. H., 2007, Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies, *Computers & Operations Research*, 34 (2), 595-619.
- 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), 6782-6791.
- Amin, S. H., Zhang, G. ve Akhtar, P., 2017, Effects of uncertainty on a tire closed-loop supply chain network, *Expert Systems with Applications*, 73, 82-91.
- Amini, M. M., Retzlaff-Roberts, D. ve Bienstock, C. C., 2005, Designing a reverse logistics operation for short cycle time repair services, *International Journal of Production Economics*, 96 (3), 367-380.
- Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Ghahremanloo, M., Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K. ve Banaitis, A., 2021, A new fuzzy BWM approach for evaluating and selecting a sustainable supplier in supply chain management, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 28 (2), 125-142.

- Antai, I. ve Olson, H., 2013, Interaction: a new focus for supply chain vs supply chain competition, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Arvitrida, N. I., 2017, Competition and collaboration in supply chains: an agent-based modelling approach, *Loughborough University*.
- Aydin, R., Kwong, C. K. ve Ji, P., 2016, Coordination of the closed-loop supply chain for product line design with consideration of remanufactured products, *Journal of cleaner production*, 114, 286-298.
- Azadeh, A., Zarrin, M. ve Salehi, N., 2016, Supplier selection in closed loop supply chain by an integrated simulation-Taguchi-DEA approach, *Journal of Enterprise Information Management*.
- Azarmehr, M., Rezapour, S. ve Tavakkoli-Moghaddam, R., 2012, Sourcing and pricing strategies for two retailers in a decentralized supply chain system under supply disruption, *Management Science Letters*, 2 (1), 43-54.
- Azzi, R., Chamoun, R. K. ve Sokhn, M., 2019, The power of a blockchain-based supply chain, *Computers & Industrial Engineering*, 135, 582-592.
- Baki, R., 2021, An integrated, multi-criteria approach based on environmental, economic, social, and competency criteria for supplier selection, *RAIRO-Oper. Res.*, 55 (3), 1487-1500.
- Bas, E., Egrioglu, E., Yolcu, U. ve Grosan, C., 2019, Type 1 fuzzy function approach based on ridge regression for forecasting, *Granular Computing*, 4 (4), 629-637.
- Batwa, A. ve Norrman, A., 2020, A framework for exploring blockchain technology in supply chain management, *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 13 (3), 294-306.
- Bazan, E., Jaber, M. Y. ve Zanoni, S., 2017, Carbon emissions and energy effects on a two-level manufacturer-retailer closed-loop supply chain model with remanufacturing subject to different coordination mechanisms, *International Journal of Production Economics*, 183, 394-408.
- Beamon, B. M. ve Fernandes, C., 2004, Supply-chain network configuration for product recovery, *Production Planning & Control*, 15 (3), 270-281.
- Bector, C. ve Chandra, S., 2005, Fuzzy mathematical programming and fuzzy matrix games, Springer, p.
- Behera, S. K. ve Nayak, J. R., 2011, Solution of multi-objective mathematical programming problems in fuzzy approach, *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3 (12), 3790.
- Bellman, R. E. ve Zadeh, L. A., 1970, Decision-making in a fuzzy environment, *Management science*, 17 (4), B-141-B-164.

- Blumberg, D. F., 2004, Introduction to management of reverse logistics and closed loop supply chain processes, CRC press, p.
- Bottani, E., Montanari, R., Rinaldi, M. ve Vignali, G., 2015, Modeling and multi-objective optimization of closed loop supply chains: A case study, *Computers & Industrial Engineering*, 87, 328-342.
- Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J. ve Seuring, S., 2014, Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions, *European Journal of operational research*, 233 (2), 299-312.
- Brito, M. P. d., Dekker, R. ve Flapper, S. D. P., 2005, Reverse logistics: a review of case studies, *Distribution Logistics*, 243-281.
- Cachon, G. P., 2001, Stock wars: inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers, *Operations Research*, 49 (5), 658-674.
- Caldentey, R. ve Wein, L. M., 2003, Analysis of a decentralized production-inventory system, *Manufacturing & Service Operations Management*, 5 (1), 1-17.
- Casado-Vara, R., Prieto, J., De la Prieta, F. ve Corchado, J. M., 2018, How blockchain improves the supply chain: Case study alimentary supply chain, *Procedia Computer Science*, 134, 393-398.
- Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T. K., Moschuris, S. ve Rachaniotis, N. P., 2019, Modeling food supply chain traceability based on blockchain technology, *Ifac-Papersonline*, 52 (13), 2728-2733.
- Chen, Y.-W., Wang, L.-C., Wang, A. ve Chen, T.-L., 2017, A particle swarm approach for optimizing a multi-stage closed loop supply chain for the solar cell industry, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 43, 111-123.
- Chen, Y., 2016, Modelling and optimization of closed-loop supply chain networks considering product recovery.
- Choi, T.-M., 2020, Supply chain financing using blockchain: Impacts on supply chains selling fashionable products, *Annals of Operations Research*, 1-23.
- Cole, R., Stevenson, M. ve Aitken, J., 2019, Blockchain technology: implications for operations and supply chain management, *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Çalık, A., Paksoy, T., Yıldızbaşı, A. ve Yapıcı Pehlivan, N., 2017a, A decentralized model for allied closed-loop supply chains: comparative analysis of interactive fuzzy programming approaches, *International Journal of Fuzzy Systems*, 19 (2), 367-382.
- Çalık, A., Pehlivan, N. Y., Paksoy, T. ve Karaoğlan, İ., 2017b, Allied closed-loop supply chain network optimization with interactive fuzzy programming approach, In: Sustainable logistics and transportation, Eds: Springer, p. 225-264.

- Çalık, A., Pehlivan, N. Y., Paksoy, T. ve Weber, G. W., 2018, A novel interactive fuzzy programming approach for optimization of allied closed-loop supply chains, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11 (1), 672-691.
- Dai, Z., 2016, Multi-objective fuzzy design of closed-loop supply chain network considering risks and environmental impact, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22 (4), 845-873.
- Darbari, J. D., Kannan, D., Agarwal, V. ve Jha, P., 2019, Fuzzy criteria programming approach for optimising the TBL performance of closed loop supply chain network design problem, *Annals of Operations Research*, 273 (1), 693-738.
- Dehghan, E., Nikabadi, M. S., Amiri, M. ve Jabbarzadeh, A., 2018, Hybrid robust, stochastic and possibilistic programming for closed-loop supply chain network design, *Computers & Industrial Engineering*, 123, 220-231.
- Demirel, N., Özceylan, E., Paksoy, T. ve Gökçen, H., 2014, A genetic algorithm approach for optimising a closed-loop supply chain network with crisp and fuzzy objectives, *International Journal of Production Research*, 52 (12), 3637-3664.
- Demirel, N. Ö. ve Gökçen, H., 2008, A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39 (11), 1197-1206.
- Devika, K., Jafarian, A. ve Nourbakhsh, V., 2014, Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques, *European Journal of operational research*, 235 (3), 594-615.
- Di Vaio, A. ve Varriale, L., 2020, Blockchain technology in supply chain management for sustainable performance: Evidence from the airport industry, *International Journal of Information Management*, 52, 102014.
- Dietrich, F., Ge, Y., Turgut, A., Louw, L. ve Palm, D., 2021, Review and analysis of blockchain projects in supply chain management, *Procedia Computer Science*, 180, 724-733.
- Dong, J., Wan, S. ve Chen, S.-M., 2021, Fuzzy best-worst method based on triangular fuzzy numbers for multi-criteria decision-making, *Information Sciences*, 547, 1080-1104.
- Dutta, P., Choi, T.-M., Somani, S. ve Butala, R., 2020, Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 102067.
- Easwaran, G. ve Üster, H., 2010, A closed-loop supply chain network design problem with integrated forward and reverse channel decisions, *Iie transactions*, 42 (11), 779-792.

- 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, 704-720.
- Elia, V. ve Gnoni, M. G., 2015, Designing an effective closed loop system for pallet management, *International Journal of Production Economics*, 170, 730-740.
- Esmailian, B., Sarkis, J., Lewis, K. ve Behdad, S., 2020, Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0, *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105064.
- Fahimnia, B., Sarkis, J., Dehghanian, F., Banihashemi, N. ve Rahman, S., 2013, The impact of carbon pricing on a closed-loop supply chain: an Australian case study, *Journal of cleaner production*, 59, 210-225.
- Fallah, H., Eskandari, H. ve Pishvaei, M. S., 2015, Competitive closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 649-661.
- Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T. ve Fallah, S., 2014, Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications, *Omega*, 45, 92-118.
- Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T., Esfahani, A. M. ve Amiri-Aref, M., 2015, Locating and capacity planning for retailers of a new supply chain to compete on the plane, *Journal of the Operational Research Society*, 66 (7), 1182-1205.
- Farrokh, M., Azar, A., Jandaghi, G. ve Ahmadi, E., 2018, A novel robust fuzzy stochastic programming for closed loop supply chain network design under hybrid uncertainty, *Fuzzy Sets and Systems*, 341, 69-91.
- Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghaei-Keshteli, M. ve Mirjalili, S., 2018, Multi-objective stochastic closed-loop supply chain network design with social considerations, *Applied Soft Computing*, 71, 505-525.
- Ferdowsi, F., Maleki, H. R. ve Niroomand, S., 2018, A credibility-based hybrid fuzzy programming approach for a bi-objective refueling alternative fuel vehicles problem under uncertainty, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 34 (4), 2385-2399.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. A. ve Van Wassenhove, L. N., 1997, Quantitative models for reverse logistics: A review, *European Journal of operational research*, 103 (1), 1-17.
- Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R. ve Flapper, S. D. P., 2000, A characterisation of logistics networks for product recovery, *Omega*, 28 (6), 653-666.
- Fleischmann, M., Beullens, P., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M. ve Van Wassenhove, L. N., 2009, The impact of product recovery on logistics network design, *Production and Operations Management*, 10 (2), 156-173.

- Gan, J., Zhong, S., Liu, S. ve Yang, D., 2019, Resilient Supplier Selection Based on Fuzzy BWM and GMo-RTOPSIS under Supply Chain Environment, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2019, 1-14.
- Garg, K., Kannan, D., Diabat, A. ve Jha, P., 2015, A multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design, *Journal of cleaner production*, 100, 297-314.
- Gaur, J., Amini, M. ve Rao, A., 2017, Closed-loop supply chain configuration for new and reconditioned products: An integrated optimization model, *Omega*, 66, 212-223.
- Genc, T. S. ve De Giovanni, P., 2020, Closed-loop supply chain games with innovation-led lean programs and sustainability, *International Journal of Production Economics*, 219, 440-456.
- Ghahremani-Nahr, J., Kian, R. ve Sabet, E., 2019, A robust fuzzy mathematical programming model for the closed-loop supply chain network design and a whale optimization solution algorithm, *Expert Systems with Applications*, 116, 454-471.
- Ghavamifar, A., Makui, A. ve Taleizadeh, A. A., 2018, Designing a resilient competitive supply chain network under disruption risks: A real-world application, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 115, 87-109.
- Ghayebloo, S., Tarokh, M. J., Venkatadri, U. ve Diallo, C., 2015, Developing a bi-objective model of the closed-loop supply chain network with green supplier selection and disassembly of products: the impact of parts reliability and product greenness on the recovery network, *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 76-86.
- Giri, B. ve Masanta, M., 2018, Developing a closed-loop supply chain model with price and quality dependent demand and learning in production in a stochastic environment, *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 7 (2), 147-163.
- Giri, B. C., Chakraborty, A. ve Maiti, T., 2017, Pricing and return product collection decisions in a closed-loop supply chain with dual-channel in both forward and reverse logistics, *Journal of Manufacturing Systems*, 42, 104-123.
- Govindan, K., Soleimani, H. ve Kannan, D., 2015, Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future, *European Journal of operational research*, 240 (3), 603-626.
- Govindan, K., Jha, P. C. ve Garg, K., 2016a, Product recovery optimization in closed-loop supply chain to improve sustainability in manufacturing, *International Journal of Production Research*, 54 (5), 1463-1486.
- Govindan, K., Shankar, K. M. ve Kannan, D., 2016b, Application of fuzzy analytic network process for barrier evaluation in automotive parts remanufacturing towards cleaner production—a study in an Indian scenario, *Journal of cleaner production*, 114, 199-213.

- Govindan, K. ve Soleimani, H., 2017, A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a Journal of Cleaner Production focus, *Journal of cleaner production*, 142, 371-384.
- 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, 118317.
- Grida, M., Mohamed, R. ve Zaid, A., 2020, A novel plithogenic MCDM framework for evaluating the performance of IoT based supply chain, *Neutrosophic Sets and Systems*, 33 (1), 323-341.
- Gu, X., Ieromonachou, P., Zhou, L. ve Tseng, M.-L., 2018, Developing pricing strategy to optimise total profits in an electric vehicle battery closed loop supply chain, *Journal of cleaner production*, 203, 376-385.
- Guide Jr, V. D. R. ve Van Wassenhove, L. N., 2006, Closed-loop supply chains: an introduction to the feature issue (part 1), *Production and Operations Management*, 15 (3), 345-350.
- Guide, V. D. R., Kraus, M. E. ve Srivastava, R., 1997, Scheduling policies for remanufacturing, *International Journal of Production Economics*, 48 (2), 187-204.
- Guiltinan, J. P. ve Nwokoye, N. G., 1975, Developing distribution channels and systems in the emerging recycling industries, *International Journal of Physical Distribution*.
- Guo, S. ve Zhao, H., 2017, Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications, *Knowledge-Based Systems*, 121, 23-31.
- Gupta, H., Kumar, S., Kusi-Sarpong, S., Jabbour, C. J. C. ve Agyemang, M., 2020, Enablers to supply chain performance on the basis of digitization technologies, *Industrial Management & Data Systems*, ahead-of-print (ahead-of-print).
- Haddadsisakht, A. ve Ryan, S. M., 2018, Closed-loop supply chain network design with multiple transportation modes under stochastic demand and uncertain carbon tax, *International Journal of Production Economics*, 195, 118-131.
- Hajiaghaei-Keshteli, M. ve Fathollahi Fard, A. M., 2019, Sustainable closed-loop supply chain network design with discount supposition, *Neural Computing and Applications*, 31 (9), 5343-5377.
- Hajipour, V., Tavana, M., Di Caprio, D., Akhgar, M. ve Jabbari, Y., 2019, An optimization model for traceable closed-loop supply chain networks, *Applied Mathematical Modelling*, 71, 673-699.
- Heydari, J., Govindan, K. ve Jafari, A., 2017, Reverse and closed loop supply chain coordination by considering government role, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 379-398.

- Hosseini-Motlagh, S.-M., Nematollahi, M. ve Nouri, M., 2018, Coordination of green quality and green warranty decisions in a two-echelon competitive supply chain with substitutable products, *Journal of cleaner production*, 196, 961-984.
- Hosseini, M. R., Rameezdeen, R., Chileshe, N. ve Lehmann, S., 2015, Reverse logistics in the construction industry, *Waste Management & Research*, 33 (6), 499-514.
- Hu, T.-L., Sheu, J.-B. ve Huang, K.-H., 2002, A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38 (6), 457-473.
- Huang, M., Song, M., Lee, L. H. ve Ching, W. K., 2013, Analysis for strategy of closed-loop supply chain with dual recycling channel, *International Journal of Production Economics*, 144 (2), 510-520.
- Jabbarzadeh, A., Haughton, M. ve Khosrojerdi, A., 2018, Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application, *Computers & Industrial Engineering*, 116, 178-191.
- Jahangoshai Rezaee, M., Yousefi, S. ve Hayati, J., 2017, A multi-objective model for closed-loop supply chain optimization and efficient supplier selection in a competitive environment considering quantity discount policy, *Journal of Industrial Engineering International*, 13 (2), 199-213.
- Jayaraman, V., Guide Jr, V. D. R. ve Srivastava, R., 1999, A closed-loop logistics model for remanufacturing, *Journal of the Operational Research Society*, 50 (5), 497-508.
- Jena, S. K. ve Sarmah, S. P., 2015, Measurement of consumers' return intention index towards returning the used products, *Journal of cleaner production*, 108, 818-829.
- Jerbia, R., Boujelben, M. K., Sehli, M. A. ve Jemai, Z., 2018, A stochastic closed-loop supply chain network design problem with multiple recovery options, *Computers & Industrial Engineering*, 118, 23-32.
- Jian, J., Zhang, Y., Jiang, L. ve Su, J., 2020, Coordination of supply chains with competing manufacturers considering fairness concerns, *Complexity*, 2020.
- Jindal, A. ve Sangwan, K. S., 2014, Closed loop supply chain network design and optimisation using fuzzy mixed integer linear programming model, *International Journal of Production Research*, 52 (14), 4156-4173.
- Júnior, C. A. R., Sanseverino, E. R., Gallo, P., Koch, D., Schweiger, H.-G. ve Zanin, H., 2022, Blockchain review for battery supply chain monitoring and battery trading, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112078.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Subramanian, N., Ghadge, A., Belhadi, A. ve Venkatesh, M., 2021, Blockchain technology's impact on supply chain integration and sustainable supply chain performance: evidence from the automotive industry, *Annals of Operations Research*, 1-26.

- Kannan, G., Sasikumar, P. ve Devika, K., 2010, A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling, *Applied Mathematical Modelling*, 34 (3), 655-670.
- Kargi, V. S. A., 2016, Supplier selection for a textile company using the fuzzy TOPSIS method, *Yönetim ve Ekonomi*, 23 (3), 789-803.
- Karimi, N., Feylizadeh, M. R., Govindan, K. ve Bagherpour, M., 2022, Fuzzy Multi-Objective Programming: A Systematic Literature Review, *Expert Systems with Applications*, 116663.
- Kato, K., Sakawa, M. ve Katagiri, H., 2009, Interactive fuzzy programming for two-level stochastic linear programming problems through expectation and variance models, *International journal of knowledge-based and intelligent engineering systems*, 13 (3-4), 111-118.
- Kaya, O. ve Urek, B., 2016, A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location, inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain, *Computers & Operations Research*, 65, 93-103.
- Khatami, M., Mahootchi, M. ve Farahani, R. Z., 2015, Benders' decomposition for concurrent redesign of forward and closed-loop supply chain network with demand and return uncertainties, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, 1-21.
- Kim, T., Glock, C. H. ve Kwon, Y., 2014, A closed-loop supply chain for deteriorating products under stochastic container return times, *Omega*, 43, 30-40.
- Kim, Y.-w., Chang, T.-W. ve Park, J., 2017, Gen2 RFID-based system framework for resource circulation in closed-loop supply Chains, *Sustainability*, 9 (11), 1995.
- Kodali, R. ve Routroy, S., 2006, Decision framework for selection of facilities location in competitive supply chain, *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 5 (01), 89-110.
- Krikke, H., Le Blanc, H. ve Van de Velde, S., 2003, Creating value from returns, *Center for Applied Research working paper, Tilburg University, The Netherlands*.
- Kumar, D., Rahman, Z. ve Chan, F. T. S., 2017, A fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming model for order allocation in a sustainable supply chain: A case study, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30 (6), 535-551.
- Kumar, M., Vrat, P. ve Shankar, R., 2006, A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain, *International Journal of Production Economics*, 101 (2), 273-285.
- Kumar, M. V. ve Iyengar, N., 2017, A framework for Blockchain technology in rice supply chain management, *Adv. Sci. Technol. Lett*, 146, 125-130.

- Kumar, N. R. ve Kumar, R. S., 2013, Closed loop supply chain management and reverse logistics-A literature review, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 6 (4), 455-468.
- Laan, E. A., 2019, Closed loop supply chain management, *Operations, logistics and supply chain management*, 353-375.
- Lai, Y.-J. ve Hwang, C.-L., 1993, Possibilistic linear programming for managing interest rate risk, *Fuzzy Sets and Systems*, 54 (2), 135-146.
- Lee, C.-S. ve Chang, S.-P., 2005, Interactive fuzzy optimization for an economic and environmental balance in a river system, *Water research*, 39 (1), 221-231.
- Lee, J.-E., Gen, M. ve Rhee, K.-G., 2009, Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, 56 (3), 951-964.
- Lee, K. H., 2004, First course on fuzzy theory and applications, Springer Science & Business Media, p.
- Li, X.-q., Zhang, B. ve Li, H., 2006, Computing efficient solutions to fuzzy multiple objective linear programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, 157 (10), 1328-1332.
- Li, Y., Guo, H. ve Zhang, Y., 2018, An integrated location-inventory problem in a closed-loop supply chain with third-party logistics, *International Journal of Production Research*, 56 (10), 3462-3481.
- Li, Z., Guo, H., Barenji, A. V., Wang, W. M., Guan, Y. ve Huang, G. Q., 2020, A sustainable production capability evaluation mechanism based on blockchain, LSTM, analytic hierarchy process for supply chain network, *International Journal of Production Research*, 58 (24), 7399-7419.
- Liang, T.-F., 2006, Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming, *Fuzzy Sets and Systems*, 157 (10), 1303-1316.
- Liang, T.-F. ve Cheng, H.-W., 2009, Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chains, *Expert Systems with Applications*, 36 (2), 3367-3377.
- Liao, M.-S., Liang, G.-S. ve Chen, C.-Y., 2013, Fuzzy grey relation method for multiple criteria decision-making problems, *Quality & Quantity*, 47 (6), 3065-3077.
- Lima Junior, F. R., Osiro, L. ve Carpinetti, L. C. R., 2014, A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection, *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.
- Liu, L., Wang, Z., Xu, L., Hong, X. ve Govindan, K., 2017, Collection effort and reverse channel choices in a closed-loop supply chain, *Journal of cleaner production*, 144, 492-500.

- Long, X., Shu, T., Chen, S., Wang, S., Lai, K. K. ve Yang, Y., 2017, Strategy analysis of recycling and remanufacturing by remanufacturers in closed-loop supply chain, *Sustainability*, 9 (10), 1818.
- Ma, H. ve Li, X., 2018, Closed-loop supply chain network design for hazardous products with uncertain demands and returns, *Applied Soft Computing*, 68, 889-899.
- Ma, P., Zhang, C., Hong, X. ve Xu, H., 2018, Pricing decisions for substitutable products with green manufacturing in a competitive supply chain, *Journal of cleaner production*, 183, 618-640.
- Maiti, T. ve Giri, B. C., 2015, A closed loop supply chain under retail price and product quality dependent demand, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 624-637.
- Manavalan, E. ve Jayakrishna, K., 2019, A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements, *Computers & Industrial Engineering*, 127, 925-953.
- Min, H., Ko, H. J. ve Ko, C. S., 2006, A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns, *Omega*, 34 (1), 56-69.
- Mishra, S. ve Ghosh, A., 2006, Interactive fuzzy programming approach to bi-level quadratic fractional programming problems, *Annals of Operations Research*, 143 (1), 251-263.
- Modak, N. M., Modak, N., Panda, S. ve Sana, S. S., 2018, Analyzing structure of two-echelon closed-loop supply chain for pricing, quality and recycling management, *Journal of cleaner production*, 171, 512-528.
- 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), 6320-6338.
- Mohammed, F., Selim, S. Z., Hassan, A. ve Syed, M. N., 2017, Multi-period planning of closed-loop supply chain with carbon policies under uncertainty, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 146-172.
- Mohanta, B. K., Jena, D., Panda, S. S. ve Sobhanayak, S., 2019, Blockchain technology: A survey on applications and security privacy challenges, *Internet of Things*, 8, 100107.
- Mohtashami, Z., Aghsami, A. ve Jolai, F., 2020, A green closed loop supply chain design using queuing system for reducing environmental impact and energy consumption, *Journal of cleaner production*, 242, 118452.
- Moosavi, J., Naeni, L. M., Fathollahi-Fard, A. M. ve Fiore, U., 2021, Blockchain in supply chain management: a review, bibliometric, and network analysis, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.

- Nagurney, A., Dong, J. ve Zhang, D., 2002, A supply chain network equilibrium model, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38 (5), 281-303.
- Nagurney, A. ve Toyasaki, F., 2005, Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41 (1), 1-28.
- Nagurney, A., 2010, Supply chain network design under profit maximization and oligopolistic competition, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46 (3), 281-294.
- Nallusamy, S., Balakannan, K., Chakraborty, P. ve Majumdar, G., 2018, A mixed-integer linear programming model of closed loop supply chain network for manufacturing system, *International Journal of Engineering Research in Africa*, 198-207.
- Özceylan, E. ve Paksoy, T., 2013a, Fuzzy multi-objective linear programming approach for optimising a closed-loop supply chain network, *International Journal of Production Research*, 51 (8), 2443-2461.
- Özceylan, E. ve Paksoy, T., 2013b, A mixed integer programming model for a closed-loop supply-chain network, *International Journal of Production Research*, 51 (3), 718-734.
- Özceylan, E. ve Paksoy, T., 2014, Interactive fuzzy programming approaches to the strategic and tactical planning of a closed-loop supply chain under uncertainty, *International Journal of Production Research*, 52 (8), 2363-2387.
- Özceylan, E., Paksoy, T. ve Bektaş, T., 2014, Modeling and optimizing the integrated problem of closed-loop supply chain network design and disassembly line balancing, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 61, 142-164.
- Özceylan, E., Demirel, N., Çetinkaya, C. ve Demirel, E., 2017, A closed-loop supply chain network design for automotive industry in Turkey, *Computers & Industrial Engineering*, 113, 727-745.
- Pajila, P. B., Julie, E. G. ve Gomathi, S., 2020, Blockchain and Internet of Things: A Survey, In: *Blockchain Technology*, Eds: CRC Press, p. 1-12.
- Paksoy, T., Bektaş, T. ve Özceylan, E., 2011, Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47 (4), 532-546.
- Panda, S., Modak, N. M. ve Cárdenas-Barrón, L. E., 2017, Coordinating a socially responsible closed-loop supply chain with product recycling, *International Journal of Production Economics*, 188, 11-21.

- Papen, P. ve Amin, S. H., 2019, Network configuration of a bottled water closed-loop supply chain with green supplier selection, *Journal of Remanufacturing*, 9 (2), 109-127.
- Parlikad, A., McFarlane, D., Fleisch, E. ve Gross, S., 2003, The Role of Product Identify in End-Of-Life Decision Making.
- Parung, J., 2019, The use of blockchain to support sustainable supply chain strategy, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 012001.
- Pati, R. K., Vrat, P. ve Kumar, P., 2008, A goal programming model for paper recycling system, *Omega*, 36 (3), 405-417.
- Petrovic-Lazarevic, S. ve Abraham, A., 2004, Hybrid fuzzy-linear programming approach for multi criteria decision making problems, *arXiv preprint cs/0405019*.
- Pilkington, M., 2015, *Blockchain Technology: Principles and Applications*.
- Pishvaei, M. S., Rabbani, M. ve Torabi, S. A., 2011, A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Applied Mathematical Modelling*, 35 (2), 637-649.
- Pohlen, T. L. ve Farris, M. T., 1992, Reverse logistics in plastics recycling, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Qiang, Q. P., 2015, The closed-loop supply chain network with competition and design for remanufactureability, *Journal of cleaner production*, 105, 348-356.
- Queiroz, M. M., Telles, R. ve Bonilla, S. H., 2019, Blockchain and supply chain management integration: a systematic review of the literature, *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Radhi, M. ve Zhang, G., 2016, Optimal configuration of remanufacturing supply network with return quality decision, *International Journal of Production Research*, 54 (5), 1487-1502.
- Ramezani, M., Kimiagari, A. M. ve Karimi, B., 2014a, Closed-loop supply chain network design: A financial approach, *Applied Mathematical Modelling*, 38 (15-16), 4099-4119.
- Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B. ve Hejazi, T. H., 2014b, Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment, *Knowledge-Based Systems*, 59, 108-120.
- Rau, H., Wu, M.-Y. ve Wee, H.-M., 2003, Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment, *International Journal of Production Economics*, 86 (2), 155-168.
- Rejeb, A., Keogh, J. G. ve Treiblmaier, H., 2019, Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management, *Future Internet*, 11 (7), 161.

- Ren, H., Zhou, W., Guo, Y., Huang, L., Liu, Y., Yu, Y., Hong, L. ve Ma, T., 2020, A GIS-based green supply chain model for assessing the effects of carbon price uncertainty on plastic recycling, *International Journal of Production Research*, 58 (6), 1705-1723.
- Rezaei, J., 2015, Best-worst multi-criteria decision-making method, *Omega*, 53, 49-57.
- Rezaei, J., 2016, Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model, *Omega*, 64, 126-130.
- Rezaei, S. ve Maihami, R., 2019, Optimizing the sustainable decisions in a multi-echelon closed-loop supply chain of the manufacturing/remanufacturing products with a competitive environment, *Environment, Development and Sustainability*, 1-27.
- Rezapour, S. ve Farahani, R. Z., 2010, Strategic design of competing centralized supply chain networks for markets with deterministic demands, *Advances in Engineering Software*, 41 (5), 810-822.
- Rezapour, S., Farahani, R. Z., Ghodsipour, S. H. ve Abdollahzadeh, S., 2011a, Strategic design of competing supply chain networks with foresight, *Advances in Engineering Software*, 42 (4), 130-141.
- Rezapour, S., Zanjirani Farahani, R. ve Drezner, T., 2011b, Strategic design of competing supply chain networks for inelastic demand, *Journal of the Operational Research Society*, 62 (10), 1784-1795.
- Rezapour, S., 2013, Competition in supply chain, In: *Supply Chain Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, Eds: IGI Global, p. 154-170.
- Rezapour, S. ve Farahani, R. Z., 2014, Supply chain network design under oligopolistic price and service level competition with foresight, *Computers & Industrial Engineering*, 72, 129-142.
- Rezapour, S., Farahani, R. Z., Dullaert, W. ve De Borger, B., 2014, Designing a new supply chain for competition against an existing supply chain, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 67, 124-140.
- Rezapour, S., Farahani, R. Z., Fahimnia, B., Govindan, K. ve Mansouri, Y., 2015a, Competitive closed-loop supply chain network design with price-dependent demands, *Journal of cleaner production*, 93, 251-272.
- Rezapour, S., Hassani, A. ve Farahani, R. Z., 2015b, Concurrent design of product family and supply chain network considering quality and price, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 18-35.
- Rezapour, S., Farahani, R. Z., Zhang, D. ve Mohammaddust, F., 2016, Strategic design of a competing supply chain network for markets with deterministic demands, *IMA Journal of Management Mathematics*, 27 (2), 109-141.
- Rezapour, S., Farahani, R. Z. ve Pourakbar, M., 2017, Resilient supply chain network design under competition: a case study, *European Journal of operational research*, 259 (3), 1017-1035.

- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J. ve Shen, L., 2019, Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management, *International Journal of Production Research*, 57 (7), 2117-2135.
- Safaei, A. S., Roozbeh, A. ve Paydar, M. M., 2017, A robust optimization model for the design of a cardboard closed-loop supply chain, *Journal of cleaner production*, 166, 1154-1168.
- Safaei, M., 2014, An integrated multi-objective model for allocating the limited sources in a multiple multi-stage lean supply chain, *Economic Modelling*, 37, 224-237.
- Saghaeian, A. ve Ramezani, R., 2018, An efficient hybrid genetic algorithm for multi-product competitive supply chain network design with price-dependent demand, *Applied Soft Computing*, 71, 872-893.
- Sahebjamnia, N., Fathollahi-Fard, A. M. ve Hajiaghahi-Keshteli, M., 2018, Sustainable tire closed-loop supply chain network design: Hybrid metaheuristic algorithms for large-scale networks, *Journal of cleaner production*, 196, 273-296.
- Sakawa, M., Nishizaki, I. ve Hitaka, M., 1999, Interactive fuzzy programming for multi-level 0–1 programming problems through genetic algorithms, *European Journal of operational research*, 114 (3), 580-588.
- Sakawa, M., Nishizaki, I. ve Uemura, Y., 2000a, Interactive fuzzy programming for multi-level linear programming problems with fuzzy parameters, *Fuzzy Sets and Systems*, 109 (1), 3-19.
- Sakawa, M., Nishizaki, I. ve Uemura, Y., 2000b, Interactive fuzzy programming for two-level linear fractional programming problems with fuzzy parameters, *Fuzzy Sets and Systems*, 115 (1), 93-103.
- Sakawa, M. ve Nishizaki, I., 2001, Interactive fuzzy programming for two-level linear fractional programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, 119 (1), 31-40.
- Sakawa, M., Nishizaki, I. ve Hitaka, M., 2001a, Interactive fuzzy programming for multi-level 0–1 programming problems with fuzzy parameters through genetic algorithms, *Fuzzy Sets and Systems*, 117 (1), 95-111.
- Sakawa, M., Nishizaki, I. ve Uemura, Y., 2001b, Interactive fuzzy programming for two-level linear and linear fractional production and assignment problems: a case study, *European Journal of operational research*, 135 (1), 142-157.
- Sakawa, M. ve Nishizaki, I., 2002a, Interactive fuzzy programming for two-level nonconvex programming problems with fuzzy parameters through genetic algorithms, *Fuzzy Sets and Systems*, 127 (2), 185-197.
- Sakawa, M. ve Nishizaki, I., 2002b, Interactive fuzzy programming for decentralized two-level linear programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, 125 (3), 301-315.

- Sakawa, M., Nishizaki, I. ve Uemura, Y., 2002, A decentralized two-level transportation problem in a housing material manufacturer: Interactive fuzzy programming approach, *European Journal of operational research*, 141 (1), 167-185.
- Sakawa, M., Kato, K. ve Nishizaki, I., 2003, An interactive fuzzy satisficing method for multiobjective stochastic linear programming problems through an expectation model, *European Journal of operational research*, 145 (3), 665-672.
- Sakawa, M., Katagiri, H. ve Matsui, T., 2011, Interactive fuzzy random two-level linear programming through fractile criterion optimization, *Mathematical and Computer Modelling*, 54 (11-12), 3153-3163.
- Sakawa, M., Katagiri, H. ve Matsui, T., 2012, Interactive fuzzy stochastic two-level integer programming through fractile criterion optimization, *Operational Research*, 12 (2), 209-227.
- Sakawa, M. ve Matsui, T., 2012, Interactive fuzzy programming for random fuzzy two-level programming problems through possibility-based fractile model, *Expert Systems with Applications*, 39 (16), 12599-12604.
- Sakawa, M. ve Nishizaki, I., 2012, Interactive fuzzy programming for multi-level programming problems: a review, *International journal of multicriteria decision making*, 2 (3), 241-266.
- Sakawa, M. ve Matsui, T., 2013a, Interactive fuzzy programming for fuzzy random two-level linear programming problems through probability maximization with possibility, *Expert Systems with Applications*, 40 (7), 2487-2492.
- Sakawa, M. ve Matsui, T., 2013b, Interactive fuzzy random two-level linear programming based on level sets and fractile criterion optimization, *Information Sciences*, 238, 163-175.
- Sakawa, M. ve Matsui, T., 2013c, Interactive random fuzzy two-level programming through possibility-based probability model, *Information Sciences*, 239, 191-200.
- Sakawa, M. ve Matsui, T., 2013d, Interactive fuzzy random cooperative two-level linear programming through level sets based probability maximization, *Expert Systems with Applications*, 40 (4), 1400-1406.
- Sakawa, M., Katagiri, H. ve Matsui, T., 2014, Interactive fuzzy stochastic two-level linear programming with simple recourse, *Information Sciences*, 278, 67-75.
- Sakawa, M. ve Matsui, T., 2014, Interactive fuzzy stochastic multi-level 0–1 programming using tabu search and probability maximization, *Expert Systems with Applications*, 41 (6), 2957-2963.
- Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P. ve Novais, A. Q., 2010, Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modelling framework, *European Journal of operational research*, 203 (2), 336-349.
- Samadi, A., Mehranfar, N., Fathollahi Fard, A. ve Hajiaghahi-Keshteli, M., 2018, Heuristic-based metaheuristics to address a sustainable supply chain network

- design problem, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35 (2), 102-117.
- Samuel, C. N., Venkatadri, U., Diallo, C. ve Khatab, A., 2020, Robust closed-loop supply chain design with presorting, return quality and carbon emission considerations, *Journal of cleaner production*, 247, 119086.
- Santander, P., Sanchez, F. A. C., Boudaoud, H. ve Camargo, M., 2020, Closed loop supply chain network for local and distributed plastic recycling for 3D printing: a MILP-based optimization approach, *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104531.
- Sarkar, B., Ullah, M. ve Kim, N., 2017, Environmental and economic assessment of closed-loop supply chain with remanufacturing and returnable transport items, *Computers & Industrial Engineering*, 111, 148-163.
- Savaskan, R. C., Bhattacharya, S. ve Van Wassenhove, L. N., 2004, Closed-loop supply chain models with product remanufacturing, *Management science*, 50 (2), 239-252.
- Schmidt, C. G. ve Wagner, S. M., 2019, Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25 (4), 100552.
- Schultmann, F., Engels, B. ve Rentz, O., 2003, Closed-loop supply chains for spent batteries, *Interfaces*, 33 (6), 57-71.
- Seitz, M. A., 2005, Closed-loop supply chain management and remanufacturing in the automotive sector, The University of Wales College of Cardiff (United Kingdom), p.
- Selim, H. ve Ozkarahan, I., 2008, A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36 (3), 401-418.
- Setak, M., Feizizadeh, F., Tikani, H. ve Ardakani, E. S., 2019, A bi-level stochastic optimization model for reliable supply chain in competitive environments: Hybridizing exact method and genetic algorithm, *Applied Mathematical Modelling*, 75, 310-332.
- Seyed Haeri, S. A. ve Rezaei, J., 2019, A grey-based green supplier selection model for uncertain environments, *Journal of cleaner production*, 221.
- Seyedhosseini, S. M., Fahimi, K. ve Makui, A., 2018, Decentralized supply chain network design: monopoly, duopoly and oligopoly competitions under uncertainty, *Journal of Industrial Engineering International*, 14 (4), 677-704.
- Seyedhosseini, S. M., Hosseini-Motlagh, S.-M., Johari, M. ve Jazinaninejad, M., 2019, Social price-sensitivity of demand for competitive supply chain coordination, *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1103-1126.

- Shankar, R., Bhattacharyya, S. ve Choudhary, A., 2018, A decision model for a strategic closed-loop supply chain to reclaim End-of-Life Vehicles, *International Journal of Production Economics*, 195, 273-286.
- Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S. ve Thakur, L. S., 2012, Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain, *Expert Systems with Applications*, 39 (9), 8182-8192.
- Sheu, J.-B., Chou, Y.-H. ve Hu, C.-C., 2005, An integrated logistics operational model for green-supply chain management, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41 (4), 287-313.
- Shih, L.-H., 2001, Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan, *Resources, Conservation and Recycling*, 32 (1), 55-72.
- Shu, T., Liao, H., Chen, S., Wang, S., Lai, K. K. ve Gan, L., 2016, Analysing remanufacturing decisions of supply chain members in uncertainty of consumer preferences, *Applied Economics*, 48 (34), 3208-3227.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. ve Simchi-Levi, E., 2004, Managing the supply chain: definitive guide, Tata McGraw-Hill Education, p.
- Soleimani, H., Seyyed-Esfahani, M. ve Kannan, G., 2014, Incorporating risk measures in closed-loop supply chain network design, *International Journal of Production Research*, 52 (6), 1843-1867.
- Soleimani, H. ve Kannan, G., 2015, A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for closed-loop supply chain network design in large-scale networks, *Applied Mathematical Modelling*, 39 (14), 3990-4012.
- Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H. ve Jafari, H., 2017, Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design, *Computers & Industrial Engineering*, 109, 191-203.
- Sousa, J. M. C. ve Kaymak, U., 2002, Fuzzy decision making in modeling and control, World Scientific, p.
- Srivastava, S. K., 2008, Network design for reverse logistics, *Omega*, 36 (4), 535-548.
- Stindt, D. ve Sahamie, R., 2014, Review of research on closed loop supply chain management in the process industry, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26 (1), 268-293.
- Subulan, K., Baykasoğlu, A., Özsoydan, F. B., Taşan, A. S. ve Selim, H., 2015a, A case-oriented approach to a lead/acid battery closed-loop supply chain network design under risk and uncertainty, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 340-361.
- Subulan, K., Taşan, A. S. ve Baykasoğlu, A., 2015b, A fuzzy goal programming model to strategic planning problem of a lead/acid battery closed-loop supply chain, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 243-264.

- Sund, T., Lööf, C., Nadjm-Tehrani, S. ve Asplund, M., 2020, Blockchain-based event processing in supply chains—A case study at IKEA, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 65, 101971.
- Tahirov, N., Hasanov, P. ve Jaber, M. Y., 2016, Optimization of closed-loop supply chain of multi-items with returned subassemblies, *International Journal of Production Economics*, 174, 1-10.
- Talaei, M., Moghaddam, B. F., Pishvae, M. S., Bozorgi-Amiri, A. ve Gholamnejad, S., 2016, A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry, *Journal of cleaner production*, 113, 662-673.
- Taleizadeh, A. A., Moshtagh, M. S. ve Moon, I., 2018, Pricing, product quality, and collection optimization in a decentralized closed-loop supply chain with different channel structures: Game theoretical approach, *Journal of cleaner production*, 189, 406-431.
- Taleizadeh, A. A., Haghghi, F. ve Niaki, S. T. A., 2019, Modeling and solving a sustainable closed loop supply chain problem with pricing decisions and discounts on returned products, *Journal of cleaner production*, 207, 163-181.
- Tao, Z. G., Guang, Z. Y., Hao, S. ve Song, H. J., 2015, Multi-period closed-loop supply chain network equilibrium with carbon emission constraints, *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 354-365.
- Taylor, D., 2003, Supply chains: a management guides, ed: *Pearson Education, Boston*.
- Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J. ve Van Wassenhove, L., 1995, Strategic issues in product recovery management, *California management review*, 37 (2), 114-136.
- Thierry, M., 1997, An analysis of the impact of product recovery management on manufacturing companies, *Ph. D. Dissertation, Erasmus University*.
- Tong, Y. ve Li, Y., 2018, External Intervention or Internal Coordination? Incentives to Promote Sustainable Development through Green Supply Chains, *Sustainability*, 10 (8).
- Torabi, S., Namdar, J., Hatefi, S. ve Jolai, F., 2016, An enhanced possibilistic programming approach for reliable closed-loop supply chain network design, *International Journal of Production Research*, 54 (5), 1358-1387.
- Torabi, S. A. ve Hassini, E., 2008, An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning, *Fuzzy Sets and Systems*, 159 (2), 193-214.
- Tosarkani, B. M. ve Amin, S. H., 2018, A possibilistic solution to configure a battery closed-loop supply chain: multi-objective approach, *Expert Systems with Applications*, 92, 12-26.

- Tönnissen, S. ve Teuteberg, F., 2020, Analysing the impact of blockchain-technology for operations and supply chain management: An explanatory model drawn from multiple case studies, *International Journal of Information Management*, 52, 101953.
- Treiblmaier, H., 2018, The impact of the blockchain on the supply chain: a theory-based research framework and a call for action, *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Tsao, Y.-C., Linh, V.-T. ve Lu, J.-C., 2017, Closed-loop supply chain network designs considering RFID adoption, *Computers & Industrial Engineering*, 113, 716-726.
- Tseng, M.-L., Lin, R.-J., Lin, Y.-H., Chen, R.-H. ve Tan, K., 2014, Close-loop or open hierarchical structures in green supply chain management under uncertainty, *Expert Systems with Applications*, 41 (7), 3250-3260.
- van de Scheur, L., Implementing a closed-loop supply chain, the effects of reverse logistics on an organization.
- Varnavas, I., 2011, Value creation in Closed Loop Supply Chain through the implementation of Product Life Cycle management, Master thesis, *Tilburg University*, 65.
- Wamba, S. F. ve Queiroz, M. M., 2020, Blockchain in the operations and supply chain management: Benefits, challenges and future research opportunities, Elsevier.
- Wang, F., Lai, X. ve Shi, N., 2011, A multi-objective optimization for green supply chain network design, *Decision support systems*, 51 (2), 262-269.
- Wang, M., Wu, Y., Chen, B. ve Evans, M., 2020, Blockchain and supply chain management: a new paradigm for supply chain integration and collaboration, *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 14 (1), 111-122.
- Wang, W., Fan, L., Ma, P., Zhang, P. ve Lu, Z., 2017, Reward-penalty mechanism in a closed-loop supply chain with sequential manufacturers' price competition, *Journal of cleaner production*, 168, 118-130.
- Wang, Y., Han, J. H. ve Beynon-Davies, P., 2019, Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda, *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Wei, J. ve Zhao, J., 2013, Reverse channel decisions for a fuzzy closed-loop supply chain, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (3), 1502-1513.
- Werners, B. M., 1988, Aggregation models in mathematical programming, In: *Mathematical models for decision support*, Eds: Springer, p. 295-305.
- Wilhite, A., Burns, L., Patnayakuni, R. ve Tseng, F., 2014, Military supply chains and closed-loop systems: resource allocation and incentives in supply sourcing and supply chain design, *International Journal of Production Research*, 52 (7), 1926-1939.

- Wong, L.-W., Tan, G. W.-H., Lee, V.-H., Ooi, K.-B. ve Sohal, A., 2020, Unearthing the determinants of Blockchain adoption in supply chain management, *International Journal of Production Research*, 58 (7), 2100-2123.
- Wu, C.-H. ve Wu, H.-H., 2016, Competitive remanufacturing strategy and take-back decision with OEM remanufacturing, *Computers & Industrial Engineering*, 98, 149-163.
- Wu, G.-H., Chang, C.-K. ve Hsu, L.-M., 2018, Comparisons of interactive fuzzy programming approaches for closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Computers & Industrial Engineering*, 125, 500-513.
- Xie, J., Liang, L., Liu, L. ve Ieromonachou, P., 2017, Coordination contracts of dual-channel with cooperation advertising in closed-loop supply chains, *International Journal of Production Economics*, 183, 528-538.
- Xu, J., Song, X., Wu, Y. ve Zeng, Z., 2015, GIS-modelling based coal-fired power plant site identification and selection, *Applied Energy*, 159, 520-539.
- Xu, L. ve Wang, C., 2018, Sustainable manufacturing in a closed-loop supply chain considering emission reduction and remanufacturing, *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 297-304.
- Yadegari, E., Alem-Tabriz, A. ve Zandieh, M., 2019, A memetic algorithm with a novel neighborhood search and modified solution representation for closed-loop supply chain network design, *Computers & Industrial Engineering*, 128, 418-436.
- Yan, B. ve Lee, D., 2008, Application of Genetic Algorithm on Remanufacturing Reverse Logistics Network Model, *2008 International Seminar on Future BioMedical Information Engineering*, 126-129.
- Yang, C. ve Chen, X., 2020, A novel approach integrating FANP and MOMILP for the collection centre location problem in closed-loop supply chain, *International Journal of Sustainable Engineering*, 13 (3), 171-183.
- Yang, G.-f., Wang, Z.-p. ve Li, X.-q., 2009, The optimization of the closed-loop supply chain network, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45 (1), 16-28.
- Yang, L., Zhang, Q. ve Ji, J., 2017, Pricing and carbon emission reduction decisions in supply chains with vertical and horizontal cooperation, *International Journal of Production Economics*, 191, 286-297.
- Yano, H. ve Sakawa, M., 2014, Interactive fuzzy programming for multiobjective fuzzy random linear programming problems through possibility-based probability maximization, *Operational Research*, 14 (1), 51-69.
- Yavari, M. ve Zaker, H., 2019, An integrated two-layer network model for designing a resilient green-closed loop supply chain of perishable products under disruption, *Journal of cleaner production*, 230, 198-218.

- Yazdani, M., Torkayesh, A. E. ve Chatterjee, P., 2020, An integrated decision-making model for supplier evaluation in public healthcare system: the case study of a Spanish hospital, *Journal of Enterprise Information Management*, 33 (5), 965-989.
- Yi, P., Huang, M., Guo, L. ve Shi, T., 2016, A retailer oriented closed-loop supply chain network design for end of life construction machinery remanufacturing, *Journal of cleaner production*, 124, 191-203.
- Yildizbaşı, A., Calik, A., Paksoy, T., Farahani, R. Z. ve Weber, G.-W., 2018, Multi-level optimization of an automotive closed-loop supply chain network with interactive fuzzy programming approaches, *Technological and Economic Development of Economy*, 24 (3), 1004-1028.
- Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy sets, *Information and Control*, 8 (3), 338-353.
- Zeballos, L. J., Gomes, M. I., Barbosa-Povoa, A. P. ve Novais, A. Q., 2012, Addressing the uncertain quality and quantity of returns in closed-loop supply chains, *Computers & Chemical Engineering*, 47, 237-247.
- Zhang, C.-T. ve Ren, M.-L., 2016, Closed-loop supply chain coordination strategy for the remanufacture of patented products under competitive demand, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (13-14), 6243-6255.
- Zhang, J., Kevin Chiang, W. y. ve Liang, L., 2014, Strategic pricing with reference effects in a competitive supply chain, *Omega*, 44, 126-135.
- Zhang, Z.-H. ve Unnikrishnan, A., 2016, A coordinated location-inventory problem in closed-loop supply chain, *Transportation Research Part B: Methodological*, 89, 127-148.
- Zhen, L., Huang, L. ve Wang, W., 2019, Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Journal of cleaner production*, 227, 1195-1209.
- Zhou, L., Naim, M. M. ve Disney, S. M., 2017, The impact of product returns and remanufacturing uncertainties on the dynamic performance of a multi-echelon closed-loop supply chain, *International Journal of Production Economics*, 183, 487-502.
- Zimmermann, H.-J., 1978, Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems*, 1 (1), 45-55.



