



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ
OPTİMİZASYONU İÇİN ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE YENİ
ETKİLEŞİMLİ BULANIK PROGRAMLAMA
YAKLAŞIMLARI**

Ahmet ÇALIK

DOKTORA TEZİ

İSTATİSTİK Anabilim Dalı

**Mart-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet ÇALIK tarafından hazırlanan “Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Yeni Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımları” adlı tez çalışması 15/03/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet Fedai KAYA

Danışman

Doç. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN

Üye

Prof. Dr. Turan PAKSOY

Üye

Doç. Dr. H. Hasan ÖRKÜ

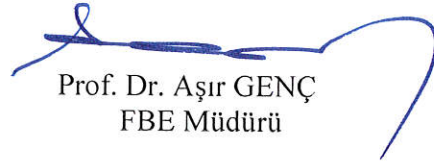
Üye

Yrd. Doç. Dr. Ahmet PEKGÖR

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE 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.



Ahmet ÇALIK

Tarih:15.03.2016

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONU İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE YENİ ETKİLEŞİMLİ BULANIK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI

Ahmet ÇALIK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İstatistik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN

2016, 178 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN

Prof. Dr. Mehmet Fedai KAYA

Prof. Dr. Turan PAKSOY

Doç. Dr. H. Hasan ÖRKÜ

Yrd. Doç. Dr. Ahmet PEKGÖR

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri kavramı yasalar, çevresel farkındalık ve müşteri baskıları nedeniyle giderek önem kazanmıştır. Şirket yöneticileri iyi tasarlanmış bir Tedarik Zinciri (TZ)'nin şirketlerin pazarlarındaki başarısını artırabileceğinin farkına varmışlardır. Bu nedenle birçok şirket ömrü bitmiş ürünler için yeniden imalat, yenileme, geri dönüşüm ve atık konularını içeren KDTZ konusuna odaklanmaya başlamışlardır. KDTZ literatürü incelendiğinde birçok araştırmacının TZ'leri arasındaki işbirliği olmaksızın tek bir TZ'ne odaklandığı görülmektedir. Müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla TZ ağındaki tesisler/üniteler birbirleri ile bazen rekabet edebilmeli bazen de iş birliği yapmalıdırlar. Yöneticiler kaynaklarını paylaşmaya karar verdikten sonra, şirketler ve tedarikçilerin performansına karlılık, esneklik ve verimlilik gibi olumlu etkilere neden olmaktadır. Sonuç olarak, birçok şirket bu nedenlerle TZ ağında birbirleri ile iş birliği yapmaya isteklidirler. Bu nedenle bu tez çalışmasında ortak yapılar sayesinde müttefik TZ ağları ele alınmıştır. Bu noktadan hareketle bu tez çalışmasında, müttefik TZ'leri için üç farklı merkezîyetçi olmayan KDTZ modelleri geliştirilmiştir. Ele alınan modellerde, Karar Verici (KV)'ler farklı seviyelerde farklı amaç fonksiyonlarına sahiptirler. Örneğin Model 2'de, birinci seviyede müttefik TZ'nin fabrikaları Stackelberg oyununun üst seviye KV'leri olarak ele alınmıştır. İkinci seviyede ise ham madde tedarikçileri, ortak tedarikçiler, montaj merkezleri ve ortak toplama merkezleri Stackelberg oyununun alt seviye KV'leri olarak kabul edilmiştir. Uzlaşık çözüme ulaşabilmek için, bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesine (AHP) veya TOPSIS yöntemine dayalı dört tane Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yaklaşımı önerilmiştir. Bu tez çalışmasının temel amaçları: müttefik bir TZ nasıl tasarlanır ve merkezîyetçi olmayan ağları müttefiklik davranışları altında nasıl ele alırdır. Önerilen EBP yaklaşımlarının ve geliştirilen modellerin uygulanabilirliği ve etkinliği GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programı kullanılarak çeşitli örnekler üzerinde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok kriterli karar verme, etkileşimli bulanık programlama, işbirliği, kapalı döngü tedarik zinciri.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

NOVEL FUZZY INTERACTIVE PROGRAMMING APPROACHES FOR CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS

Ahmet ÇALIK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN STATISTICS**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN

2016, 178 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN

Prof. Dr. Mehmet Fedai KAYA

Prof. Dr. Turan PAKSOY

Assoc. Prof. Dr. H. Hasan ÖRKÇÜ

Assist. Prof. Dr. Ahmet PEKGÖR

The concept of Closed-Loop Supply Chain (CLSC) has been gained more importance due to the consumer pressures, environmental awareness and the government laws. Managers of the companies realize that a well-designed Supply Chain (SC) can improve the companies' performance in their market. Thus, a lot of companies start to focus on CLSC issues that include remanufacturing, refurbishing, recycling and disposal of end-of-life products. As seen in the review of CLSC literature most researchers focus on standalone SC without any cooperation between SCs. In order to fulfil customers' needs, the facilities/units in SC network sometimes compete and sometimes cooperate with each other's. After managers are decided to share their resources, it causes some positive effects on the companies and suppliers performance such as profitability, flexibility and efficiency. Consequently, many companies are willing to cooperate each other's in SC network because of these reasons. Thus, in this thesis we handle an allied SC network through cooperative structures. With the usage of allied SCs companies maximize their profit, minimize their various costs and become more beneficial, flexible and efficient in their market. Following this motivation, in this thesis we developed three decentralized multi-level CLSC models for allied SCs. In these models we handled different Decision Maker (DM)'s with different objective functions at different levels. For example in Model 2, at the first decision level, the plants of allied SCs are considered as the upper level DMs of the Stackelberg game. At the second level, raw material suppliers, common suppliers, assembly centres and common collection centres are considered as the lower level DMs of the Stackelberg game. In order to reach a compromise solution, we proposed four new fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) or TOPSIS based Interactive Fuzzy Programming (IFP) approaches. The primary aims of this thesis how we design an allied CLSC network and how we deal with this decentralized network under alliance behaviour. The applicability and efficiency of models and proposed IFP approaches, various numerical examples are handled using GAMS-CPLEX 24.0.1 package solver.

Keywords: Closed-loop supply chain, cooperation, interactive fuzzy programming, multi criteria decision making.

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarını esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN'a teşekkür ederim. Doktora eğitimim süresince her zaman yanımda olan, her sıkıntıda bana yol gösteren, sık sık başını ağrıttığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Turan PAKSOY'a ve beraber başladığımız bu uzun yolda ne zaman başım sıkışsa yanımda olan abim Dr. Abdullah YILDIZBAŞI'na, her zaman yanımda oldukları için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sadece doktora eğitimim süresince değil tüm hayatım boyunca ve karşılaştığım tüm zorluklarda yanımda olan, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürler.

Ahmet ÇALIK
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Tersine ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımına İlişkin Literatür Taraması.....	7
2.2. Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Programlama İle İlgili Literatür Taraması	13
2.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle İlgili Literatür Taraması	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Tersine Tedarik Zinciri ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemleri.....	23
3.1.1. Kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı	24
3.1.2. Tersine tedarik zinciri ve kapalı döngü tedarik zinciri faaliyetleri	26
3.2. Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımları	27
3.2.1. Zimmermann (1978)'in Max-Min yaklaşımı.....	28
3.2.2. Selim ve Özkarahan (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı	30
3.2.3. Torabi ve Hassini (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı	32
3.2.4. Sakawa ve Nishizaki (2002b)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı.....	33
3.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	40
3.3.1. Bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi	40
3.1.1.1. Chang (1996)'in genişletme analizi yöntemi	41
3.1.1.2. Buckley (1985)'in geometrik ortalama yöntemi.....	43
3.3.2. TOPSIS yöntemi	43
4. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLER	47
4.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı İçin Ortak Kaynaklar İle Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli - Model 1	47
4.2. Çevreye Duyarlı Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı için Ortak Kaynaklar ile Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli - Model 2	54
4.3. Esnek Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı İçin Ortak Kaynaklar İle Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli - Model 3	65
5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE DAYALI YENİ ETKİLEŞİMLİ BULANIK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI	81

5.1. Önerilen Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı I (Ağırlıklı Zimmermann Yöntemi - EBP I)	81
5.2. Önerilen Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı II (EBP II)	83
5.2.1. Entropy yöntemi	84
5.2.1. CRITIC yöntemi	84
5.3. Önerilen Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı III (EBP III)	85
5.4. Önerilen Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı IV (EBP IV).....	87
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	91
6.1. Model 1'e Ait Sayısal Örnek	91
6.1.1. Model 1'in Zimmermann (1978) yaklaşımı ile çözümü	100
6.1.2. Model 1'in Selim ve Özkarahan (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü.....	102
4.1.2.1. γ değerinin etkisi	102
6.1.3. Model 1'in Torabi ve Hassini (2008)'in etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü	104
4.1.3.1. γ değerinin etkisi	105
6.1.4. Model 1'in Sakawa ve Nishizaki (2002b)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü	106
6.1.5. Model 1'in önerilen etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı I ile çözümü (ağırlıklı Zimmermann yöntemi ile çözüm).....	110
6.1.6. Model 1'in önerilen etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı II ile çözümü.....	111
6.2. Model 2'e Ait Sayısal Örnek	116
6.2.1. Model 2'nin Sakawa ve Nishizaki (2002b)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü.....	128
6.2.2. Model 2'nin önerilen EBP-III yaklaşımı ile çözümü.....	132
6.3. Model 3'e Ait Sayısal Örnek	135
6.3.1. Model 3'ün önerilen EBP- IV yaklaşımı ile çözümü	146
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	155
7.1. Sonuçlar	156
7.2. Öneriler	159
KAYNAKLAR	160
ÖZGEÇMİŞ	168

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Network Prosesi
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇSPP	Çok Seviyeli Programlama Problemi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
EBP	Etkileşimli Bulanık Programlama
İTZ	İleri Tedarik Zinciri
KDP	Klasik Doğrusal Programlama
KV	Karar Verici
KDTZ	Kapalı Döngü Tedarik Zinciri
KTDP	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
TZ	Tedarik Zinciri
TTZ	Tersine Tedarik Zinciri
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi

1. GİRİŞ

Küreselleşen dünyada artan rekabet koşulları ve maliyet baskılarıyla karşı karşıya kalan işletmeler, bu zorlu ortamda ayakta kalabilmek ve artan müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilmek için yeni yaklaşımlar aramaya başlamışlardır. Bu bağlamda, Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) akademik çevrelerin ve işletme yöneticilerinin ilgisini çeken en önemli konulardan birisi olmuştur. Bir Tedarik Zinciri (TZ); tedarikçiler, üretim merkezleri, dağıtım merkezleri ve bunlar arasındaki kanalları içeren, hammaddeleri elde etmek, bu hammaddeleri nihai ürünlere çevirmek ve bu nihai ürünleri de müşterilere ulaştırmayı organize eden bir sistemdir (Pishvae ve ark., 2011). TZY’nde kritik faaliyetlerden biri TZ ağ tasarımı problemidir. TZY’nde ağ tasarımı, şebeke üzerindeki birimler arasındaki işletmelerin kapasitesinin, konumunun ve sayısının belirlenmesi problemini içermektedir.

Akış yönüne göre iki tür TZ vardır. Hammaddelerin nihai ürünlere dönüşüm faaliyetlerini içeren faaliyetler dizisi İleri Tedarik Zinciri (İTZ) olarak adlandırılır. Yöneticiler tedarik, sipariş karşılama ve talep yönetimi gibi alanlarda İTZ performanslarını geliştirmeyi denerler (Cooper ve ark., 1997; Abdallah ve ark., 2012). Uzun yıllar İTZ tasarımı ile ilgilenen TZY, son yıllarda kirliliğin azaltılması, atık yönetimi, çevresel kaygı, sosyal sorumluluk, artan müşteri baskıları ve hükümetlerin direktifleri (Örneğin Avrupa Birliği direktifleri) gibi nedenlerle artan bir ilgiyle Tersine Tedarik Zinciri (TTZ) ile ilgilenmeye başlamıştır. TTZ, son kullanıcılardan nihai ürünlerin toplanması ve yeniden TZ ağına kazandırılmasını sağlayan aktiviteleri içeren bir süreçtir.

Yeni yasal düzenlemeler, çevre bozulması ve kaynak sıkıntısı gibi nedenlerle yeniden üretimde artan ihtiyaç firmaları ileri ve tersine malzeme akışının koordinasyonunu keşfetmek zorunda bırakmıştır. İki akış arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmayı sağlayan ve geleneksel TZ tanımını genişleten Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ) bu çerçevede ortaya çıkmaktadır (Zeballos ve ark., 2012). KDTZ, hem ileri hem de tersine akışın gerçekleştiği bütünleşik ağ yapılarıdır. KDTZ ağlarında, ürünlerin sadece üreticiden tüketiciye (montaj süreci) giden doğrusal bir yol izlemesi değil, tüketiciden üreticiye doğru olan bir yolu da (demontaj süreci) izleyerek, döngüyü tamamlaması söz konusudur (Wang ve Hsu, 2010; Paksoy ve ark., 2011). Dolayısıyla, TTZ ve KDTZ’lerin hammadde kaynağı İTZ’lerde olduğu gibi tedarikçiler değil, aksine nihai kullanıcılar veya müşterilerdir (Jayaraman ve ark., 1999).

21. yüzyılda en iyi ürünü üretmek veya satmak şirketler arasındaki üstünlük için yeterli değildir. Şirket başarısı, bireysel odaklı çalışmaktan çıkıp takım olarak hareket etmeyi gerektirmektedir. Başarı, ticari ilişkilerde müzakereler ile şirketlerin takım olarak bir araya gelmesine ve en iyi ürünü en kaliteli bir şekilde, en iyi fiyata birlikte çalışarak kullanıcılara ulaştırmasına bağlıdır. Şirketlerin başarı ve rekabetinde kullanmış oldukları tedarik zincirleri önemli bir göstergedir. Teknolojinin gelişmesi, küreselleşen ekonomi, dinamik pazar yapıları ve sert çekişmeler işletmelere karşı işletmeler yerine tedarik zincirlerine karşı tedarik zincirleri kavramını ön plana çıkarmıştır.

Müşterilerin artan taleplerini yerine getirebilmek için, TZ'nde yer alan birimlerin bazen iş birliği yapması bazen de birbirleri ile yarışması gerekmektedir. Tek (Standalone) TZ'leri, rekabetin olduğu ekonomik pazarlarda, kendi amaçlarına uygun olarak her birimin kendi farklı amacını optimize etmeye çalıştığı yapılardır. Ortak – Müttefik (Cooperative - Alliance) TZ'leri ise, pazarlarda daha etkin ve faydalı olabilmek ve genel kârı maksimum yapabilmek için kaynakların/hizmetlerin paylaşıldığı yapılardır. Son yıllarda birçok şirket ekonomik pazarda iş yapabilmek için bireysel ve tek eylemleri bırakarak ortak stratejiler ve müttefik eylemler içeren yapılara yönelmişlerdir (El Omri, 2009).

Ürünlerin azalan yaşam döngüleri ve teknoloji uygulamalarındaki yenilikler, TZ ağları üzerindeki performans beklentilerini artırmıştır. Özellikle, mevcut ağlarda hızlı olabilmek için yeni yollar aranmaya başlamış, maliyetleri azaltmak ve talep değişimlerine hızla yanıt verebilmek için esnek davranabilme sonucunu ortaya çıkarmıştır. Birçok şirket bu değişimlere yanıt verebilmek için dış tedarikçilere yönelmiş ve şirketler arasında koordinasyon ve ittifaklar ön plana çıkmıştır. Böylece şirketler arasında mevcut kaynakların etkin kullanımı için *ortak* hareket etme zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenlerle, Ortak – Müttefik TZ'leri günümüzde şirketlerin başarısında önemli bir anahtar haline gelmiştir. İşletmeler kendileri için uygun stratejileri belirlerken ortak kaynakları kullanan tedarik zincirlerini dikkate almak zorunda kalmıştır. İşletmeler kaynakların ortak kullanımı ile etkin bir yönetim sergilemekte, çeşitli tasarruflar sağlamakta ve TZY'ni başarılı bir şekilde sağlayabilmektedir.

Bu tez çalışmasında ortak – müttefik TZ'leri içeren KDTZ ağ tasarımları ele alınmış ve,

- Ortak – Müttefik TZ'i ağ tasarımı nasıl geliştirilir?
- Ortak – Müttefik TZ'lerinin TZY'ndeki önemi nedir?

- Ortak – Müttefik TZ'leri gerçekten faydalı mıdır?
- Ortak – Müttefik TZ'lerini tasarlamak zor mudur?

sorularına cevap aranmıştır.

Ortak – Müttefik TZ'leri birden fazla KV içerdiği için, Çok Seviyeli Programlama Problemi (ÇSPP –Multi Level Programming Problem)'dir. ÇSPP, lojistik şirketleri, üretim tesisleri, kâr amaçlı veya kâr amaçlı olmayan kuruluşlar ve devlet kurumları gibi birçok büyük şirketin sıklıkla karşı karşıya kaldığı problemlerdir. Bu tür problemlerin çözüm yöntemleri incelendiğinde, her bir Karar Verici (KV)'ye tek bir amacın atandığı ve bütün KV'leri etkileyen ortak kısıtlar, ortak karar değişkenlerinin yer aldığı problemler görülmektedir (Ahlatcioglu ve Tiryaki, 2007).

ÇSPP, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerine çok benzemekle birlikte aralarında bir ölçü (measure) farklılığı vardır. ÇSPP'nde birden fazla KV yer almakta ve KV'lerin amaçlarının önemi aşağıya doğru azalan iki veya daha fazla seviyeden oluşurken, ÇKKV problemlerinde bütün amaçlar eşit veya eşit olmayan önemli olabilir fakat amaçlar herhangi bir seviyede yer almazlar. ÇSPP'nde birden fazla farklı amaçlar içeren KV'ler yer almaktadır. Hiyerarşik optimizasyon veya ÇSPP teknikleri, çok sayıda KV'nin yer aldığı hiyerarşik organizasyonlar ile merkezi olmayan planlama problemlerini çözmek için Stackelberg oyununun genişlemesi olarak düşünülebilir (Mishra ve Ghosh, 2006).

Stackelberg çözümü için birçok yöntem geliştirilmiştir. Lai (1996), ÇSPP'nin çözümü için optimal üyelik kavramını önermiştir. Shih ve ark. (1996) çok KV'li hiyerarşik yapılarda merkezi olmayan planlama problemlerinin çözümü için çok amaçlı optimizasyon ve tolerans üyelik fonksiyonları kavramlarını kullanarak bulanık bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, bütün seviyelerdeki KV'lerin amaçları ardışık ve KV'ler arasında iş birliği olduğu kabul edilmiştir. Sakawa ve ark. (1998), Lai (1996) ve Shih ve ark. (1996)'nın yöntemindeki zorlukların üstesinden gelebilmek için, karar değişkenlerinin bulanık amaçları giderilmesi ile Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yaklaşımlarını geliştirmişlerdir.

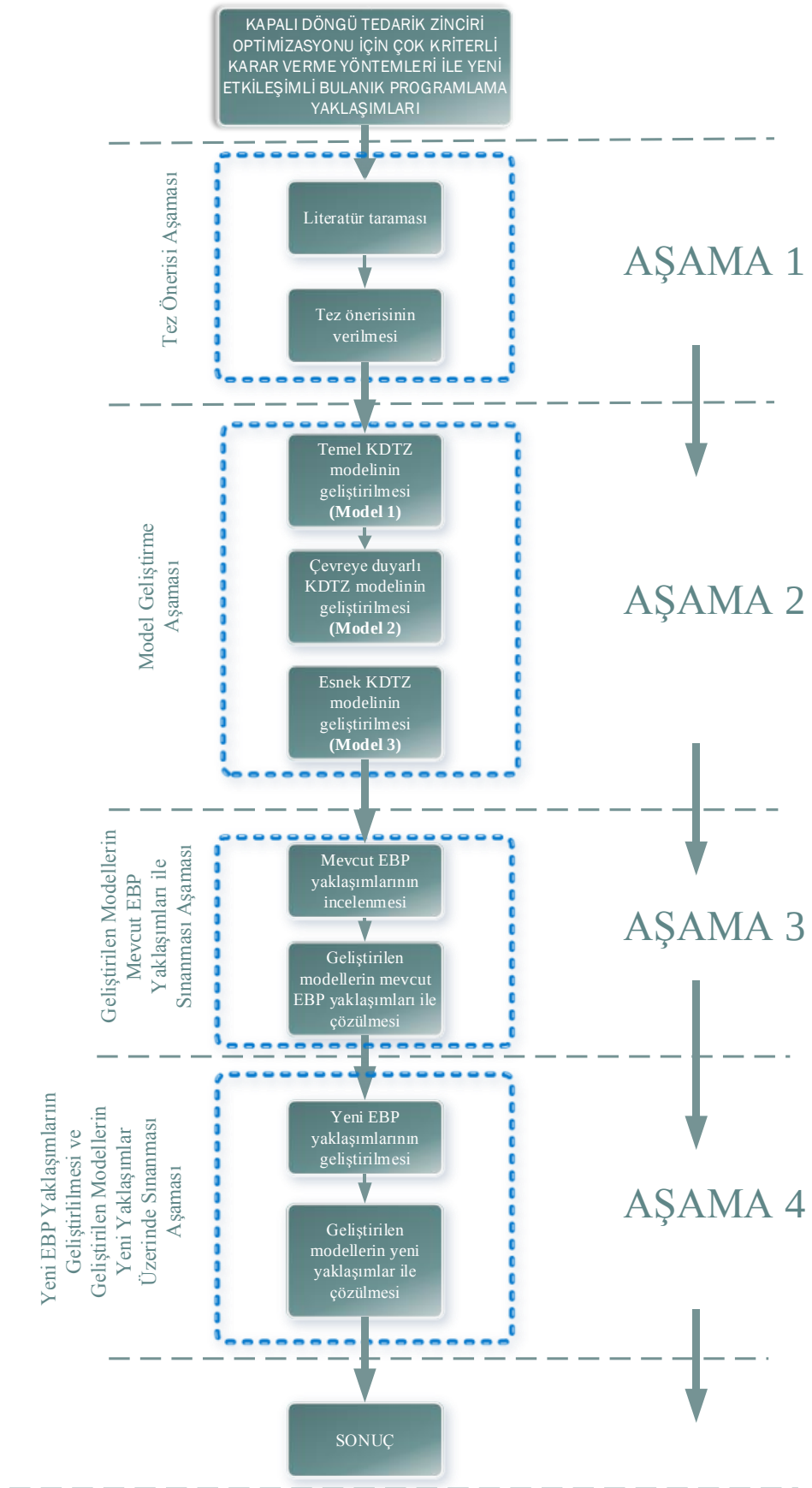
EBP yaklaşımlarında KV'ler arasında bir hiyerarşi olduğu varsayılır ve KV'ler arasındaki işbirliğine dayalı olarak optimal çözüm elde edilmeye çalışılır. Diğer yaklaşımlarda ise, KV'ler arasında bir işbirliği yoktur, KV'ler diğer KV'lerin amaçlarını, değişkenlerini bilmektedirler ve diğerlerinin kararlarına göre kendi kararlarını optimize etmektedirler. EBP yaklaşımlarının en büyük avantajı KV'ye her

bir amaç fonksiyonu için tercih (kabul) edilebilen etkili bir çözüm sunmasıdır (Özceylan, 2013).

Tek bir KV'ye göre tüm sistemin optimal çözümünün istendiği sistemler *merkezi* sistemler, birbirinden bağımsız birden fazla KV'nin olduğu ve her bir KV'nin kendi amacını optimize etmeye çalıştığı sistemler ise *Merkezi olmayan* sistemler olarak adlandırılır. Literatürde yer alan modellerde, birbirleriyle çelişen birden fazla amacın genellikle tek bir amaca çevrilerek çözüldüğü, merkezi sistemler veya işbirliğine dayalı olmayan yöntemlerle çözüldüğü görülmektedir. Ancak, tek bir KV yerine birden fazla KV'nin bakış açısına göre ele alınan problemi değerlendirmek mantıklı olacaktır. Birbirleriyle çelişen amaçları ayrı ayrı değerlendirmek ve işbirliğine dayalı olarak ele almak KV'ler arasındaki uyum açısından daha mantıklıdır. Bu tez çalışmasında; KV'ler arasındaki işbirliğine dayalı olması ve her bir KV için istenen bir çözüm sunmasından dolayı ortak kaynaklar içeren KDTZ modellerini çözmek için EBP yaklaşımları kullanılacaktır.

Bu tez çalışmasının amacı, KDTZ ağ tasarımı probleminin çözümünde kullanılmak üzere ÇKKV yöntemlerini içeren yeni EBP yaklaşımlarının geliştirilmesidir. Geliştirilen yeni yaklaşımlarda, KV'lerin subjektif kararları ÇKKV yöntemleri kullanılarak belirlenmiş ve ÇKKV yöntemleri ile belirlenen ağırlıklar KV'lerin amaç fonksiyonlarında kullanılarak KDTZ modellerine eklenmiştir. Tez sonucunda KDTZ ağ tasarımı ile ilgili üç farklı yeni model geliştirilmiş, ÇKKV yöntemlerini içeren dört farklı yeni EBP yaklaşımları önerilmiş, yeni EBP yaklaşımlarının KDTZ ağ tasarımı modellerine entegre edilerek, test sonuçlarının analizi ve yorumlanması yapılmıştır.

Doktora tez çalışmasının ilk aşamasında: tedarikçiler, fabrikalar, toplama merkezleri ve benzeri tesislerin olduğu yeni bir KDTZ modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde, *ortak* kaynaklar içeren ögeler mevcuttur. *Ortak* KDTZ modelinde toplam taşıma maliyeti, toplam satın alma maliyeti gibi çeşitli amaçlar ele alınmış ve kapasite, talep, denge gibi kısıtlar altında en iyi ürün akışının optimize edilmesini sağlayacak olan çok seviyeli karma tamsayılı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Oluşturulan ikinci modelde, çevreye duyarlı bir KDTZ tasarımı elde edebilmek amacıyla CO_2 salınımını da içeren bir model oluşturulmuştur. Üçüncü modelde, ortak kaynaklar içeren esnek bir KDTZ modeli oluşturulmuştur. Tez çalışmasına ilişkin akış şeması aşağıda verilmiştir:



Şekil 1.1. Tez çalışmasına ilişkin akış şeması

Bu tez çalışmasının literatüre ve uygulamaya katkıları,

- KV'ler arasındaki işbirliğine dayalı olarak ortak – müttefik TZ'i ağ tasarımı nasıl geliştirilmesi,
- Ağ tasarımındaki heterojen akışın bir oran yardımıyla homojen yapıya dönüştürülmesi,
- ÇKKV yöntemlerini içeren farklı EBP yaklaşımlarının önerilmesi,
- Farklı seviyelerdeki KV'ler arasında bir uzlaşık çözüme ulaşabilmek için AHP, TOPSIS gibi farklı ÇKKV yöntemleri ile analitik çözüme ulaşılması,
- Yeni EBP yaklaşımlarının KDTZ modellerine entegre edilmesi ve geçerliliklerinin sınanması

olarak verilebilir.

Giriş bölümünde tez çalışmasının amaçları, İkinci bölümde, tersine ve KDTZ ağ tasarımı, etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama ve ÇKKV yöntemleri ile ilgili detaylı bir literatür araştırması verilmiştir. Üçüncü bölümde, tezin temelini oluşturan tersine ve KDTZ ağ tasarımı, etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama ve ÇKKV yöntemleri ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Tez kapsamında geliştirilen üç farklı matematiksel model, formülasyonu ile dördüncü bölümde verilmiştir. Önerilen dört farklı yeni EBP yaklaşımı algoritması, beşinci bölümde sunulmuştur. Altıncı bölümde geliştirilen yeni EBP yaklaşımları farklı test problemleri üzerinde sınanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise, matematiksel modeller ve yeni yaklaşımlar ile ilgili sonuçlar ve öneriler ortaya konmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ilk olarak Tersine Tedarik Zinciri – Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (TTZ - KDTZ) ağ tasarımı, ikinci olarak Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yaklaşımlarına ilişkin, son olarak ise Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerine ilişkin kapsamlı bir literatür taraması verilmiştir.

2.1. Tersine ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımına İlişkin Literatür Taraması

Tersine lojistik ve KDTZ konularındaki artan ilgi kamuoyu farkındalıkları ile ilgili konularda başlamıştır (Dowlathshahi, 2000). Daha sonra hükümet mevzuatları ve yasal düzenlemeler üreticileri ömrü bitmiş ürünlerle ilgilenmeye zorlamıştır. Bu nedenle İTZ'ne yönelik olan ilgi son yıllarda TTZ ve KDTZ çalışmalarına yönelmiştir. Bu kesimde TTZ ve KDTZ ilişkin literatür araştırması ayrıntılı bir biçimde verilmiştir.

Mollenkopf ve ark. (2007), müşteri davranışlarının analizi için dört sorudan oluşan bir araştırma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında birçok araştırmacının müşteri davranışları yerine ürün stok-çıkışlarının dağıtım etkilerini araştırdıklarından bahsetmişlerdir. Talbot ve ark. (2007), elektrik/elektronik ürünler ve metal ürünleri üreten 205 küçük ve orta ölçekli işletmeyi araştırmışlardır. Qi ve Fang (2007), müşterilerin, toplama merkezlerinin, onarım merkezlerinin ve fabrikaların olduğu bir tersine lojistik ağı problemini ele almıştır. Tüm maliyetlerin minimize edilmesi amacıyla tasarlanan model için genetik algoritmaya dayalı sezgisel bir model geliştirilmiştir. Yapılan senaryo analizleri ile gerek işlem süresi gerekse en uygun çözümün bulunması açısından diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır. Alshamrani ve ark. (2007), Amerika'daki kan dağıtım sistemine ait tersine lojistik ağı çalışmışlardır. Sistemde dağıtılan kan tüplerinin, dağıtım sonrasında da toplanması, toplanılmayan tüplerin bir sonraki döneme kalması da bir ceza maliyetinin olduğu problem için sezgisel bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile her bir periyottaki dağıtım ve toplamalı araç rotalamaları en uygun şekilde saptanmıştır. Kocabaşoğlu ve ark. (2007), iş belirsizliği, örgütsel risk eğilimi ve tedarik zincirleri arasındaki ticaret bağlarını değerlendirmek için fabrika yöneticileri üzerinde araştırma yapmışlardır.

Pati ve ark. (2008), Hindistan'daki kâğıt geri dönüşüm sektöründe KV'lerin sıklıkla karşılaştıkları birtakım kararları almaları için karma tamsayılı hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelde öncelik ilişkilerine göre geri dönüşüm lojistik maliyetlerinin azaltılması, kaynağında ürün kalitesinin artırılması ve geri dönüşümün çevreye olan katkısı gibi farklı amaçlar bulunmaktadır. Model, bu amaçlar doğrultusunda çok ürünlü çok aşamalı ağdaki ürün akışını ve yerleşim problemini de ele almış ve Hindistan'daki bir işletmede uygulanmıştır. Demirel ve Gökçen (2008), hem ileri hem de tersine akışın olduğu bir TZ ağı tasarımı için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Birden fazla ürünün, imalatçının, dağıtım merkezinin, toplama merkezinin, müşterilerin ve demontaj tesislerinin yer aldığı modelde satın alma, taşıma, geri dönüşüm ve açma-kapama maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen model, ağdaki her bir tesisin sayısı değiştirilerek oluşturulan senaryo analizleri ile test edilmiştir. Bo ve Danyu (2008), artan enerji tasarrufları, çevresel faktörler ve geri dönüşümün popüleritesinden artmasından dolayı açık döngülü bir TZ ağ tasarımı problemi ele almışlardır. Ele alınan problemde taşıma maliyetleri, işletme maliyetleri, geri dönüşüm maliyetleri, karşılanamayan talebin birim ceza maliyetinden oluşan toplam maliyeti minimize etmek için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Ortaya konan problem, hem LINDO paket programında çözülmüş hem de genetik algoritmalara dayalı sezgisel bir yaklaşım ile denenmiştir. Sonuç olarak, işlem süresi ve optimal sonuç açısından sezgisel yöntemin avantajları vurgulanmıştır. Rubio ve ark. (2008), operasyon ve üretim yönetimi alanında yayınlanmış tersine lojistik ile ilgili 1995-2005 yılları arasında yapılmış makale çalışmalarını konularına, metodolojilerine ve analiz tekniklerine göre sınıflandırmışlardır. Makalede ele aldıkları çalışmaların % 12'sinin kullanılmış ürünlerin geri dönüşüm ve dağıtım yönetimiyle % 56'sının üretim planlama ve stok yönetimiyle % 32'sinin ise tersine lojistik yönetimiyle ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Yine inceledikleri çalışmaların % 65'inin matematiksel model geliştirilmesi, % 21'inin gerçek olay uygulaması, %5'inin tümüyle teorik, % 5'inin anket, geriye kalan % 4'ünün ise literatür taraması olduğunu tespit etmişlerdir. Srivastava (2008), tersine lojistik ağı tasarımı için bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiş ve hiyerarşik optimizasyon modeli ile çeşitli senaryolar için sistemin kârını maksimize etmeye çalışmıştır.

Lee ve ark. (2009), taşıma maliyetlerinin ve demontaj merkezlerinin açma-kapama maliyetlerinin minimize edildiği, çok ürünlü, üç aşamalı bir tersine lojistik

sistemi için matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirilen matematiksel modelin çözümü için genetik algoritmaya dayalı bir sezgisel yöntem önermişlerdir. Önerilen sezgisel yöntemi bir takım sayısal örneklerle test etmiş ve önceki çalışmalarda elde ettikleri sonuçlarla kıyaslamışlardır. Yang ve ark. (2009), hammadde tedarikçilerinin, fabrikaların, perakendecilerin, müşterilerin ve geri dönüşüm merkezlerinin oluşturduğu genel bir KDTZ ağı için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model Hammond ve Beullens (2007), çalışması ile Sheu ve ark. (2005), çalışmasının kombine edilmesinden oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı, ağdaki akışın değişimsel eşitsizlikler teorisini kullanarak optimize ve formüle edilmesidir. Geliştirilen modelde kullanılan toplama oranı, hammadde geri dönüşüm oranı, geri kazanım oranı vb. parametrelerin malzeme akışı ve net kazanç üzerinde ki etkilerinin görülebilmesi için birtakım senaryo analizleri yapılmıştır. Pochampally ve ark. (2008), tersine ve kapalı döngü tedarik zincirleri için stratejik planlamayı ele almışlardır. Konuyla ilgili olarak analitik ağ süreci, analitik hiyerarşi süreci, bulanık mantık, kalite fonksiyon göçerimi, hedef programlama, coğrafi bilgi sistemleri ve doğrusal programlama gibi sayısal modellerle gerçekleştirilen farklı uygulamalara yer vermişlerdir. Lau ve Wang (2009), Çin'deki bir elektronik endüstrisini ele almış ve dört büyük şirketi incelemişlerdir. Çin'de tersine lojistiğin uygulanması için iyileştirme ölçümlerini ve tersine lojistiğin sınırları gibi önemli konuları ele almışlardır.

Kannan ve ark. (2010), toplam TZ maliyetini minimize etmek için karma tamsayı bir model oluşturmuşlar ve oluşturulan model hem genetik algoritma hem de küçük çaplı modeller için GAMS paket programı ile çözülmüştür. Küçük çaplı modeller için iki yöntem karşılaştırılmış ve genetik algoritmaya dayalı yöntemin büyük çaplı modeller için uygulanabileceği görülmüştür. Son olarak, önerilen model akü sanayi kaynaklardan elde bazı gerçek verilerle test edilmiş ve TTZ ile İTZ'ni entegre ederek pil imalat sanayi için % 32.4 bir maliyet azalma elde edildiği görülmüştür. Grant ve Banomyong (2010), tek kullanımlık kamera yoluyla hızlı tüketim malları için KDTZ uygulaması ve KDTZ tasarımından etkilenen ürün geri dönüşüm yönetimini araştırmıştır. Martin ve ark. (2010), yeniden üretim faaliyeti için orijinal malzeme üretimine karşı kullanılmış ürünlerin satın alınması kararını potansiyel sürücüler için araştırmışlardır. Olorunniwo ve Li (2010), tersine lojistikte işbirliği ve bilgi paylaşımının etkisini araştırmıştır. Geyer ve Blass (2010), cep telefonlarının yeniden üretilebilirliği ve geri dönüşümü üzerine ayrıntılı ekonomik veri sunmuşlardır. Cep telefonlarının düzgün bir şekilde geri dönüşüm veya yeniden kullanım yoluyla atılması

yerine depolandığını vurgulamışlardır. Erol ve ark. (2010), Türkiye’deki otomotiv, beyaz eşya, elektrik/elektronik ve mobilya sektöründeki girişimler için TTZ’nin mevcut durumunu araştırmışlardır.

Paksoy ve ark. (2011), ulaştırma faaliyetlerinin sera gazı yayılımı, ürünlerin geri dönüşümü ve bunların maliyetlerine odaklanan çok-ürünlü KDTZ tasarımı modellemiş ve analiz etmişlerdir. Oluşturulan model, ileri ve tersine ağ tasarımı ürünlerin ulaştırma nedeniyle oluşan karbondioksit yayılımını yansıtmakta ve maliyetler arasındaki ödünleşim, zincirdeki ürünlerin ulaşımı ve emisyonların yayılımı da dâhil olmak üzere çeşitli parametreleri içermektedir. Pishvae ve ark. (2011), KDTZ ağ tasarımı için öncelikle karma tamsayılı bir model geliştirmişlerdir. Daha sonra, ilk müşterilerden iade edilen ürünlerin miktarı gibi belirsiz parametreleri dikkate alan yarı-tanımlı bir model formüle etmişlerdir. Son olarak, deterministik modelin benzeri sağlam (robust) model önermiş ve çözümlerini araştırmışlardır. Önerilen sağlam modelin belirsiz verileri ele almada üstün olduğu görülmüştür. Wang ve ark. (2011), klasik tesis yeri probleminde dayanan yeşil TZ ağ tasarımı modelini oluşturarak çevresel etkinin ve toplam maliyetin minimize edilmesini içeren çok amaçlı model elde etmişlerdir. Standartlaştırılmış normal kısıtlama yöntemi ile altı model ve örnek çalışma test etmişlerdir. Ayrıca, duyarlılık analizi yapmış, ağ kapasitesinin iyileştirilmesinin ve tesislere tedarik arttırılmasının karbondioksiti ve toplam maliyeti azalttığını gözlemlemişlerdir. Matsumoto ve Umeda (2011), yeniden üretim için Japon şirketlerinin teşvikleri (fotokopi, tek kullanımlık kamera, otomobil parçaları gibi) ve güdülerini için bir anket uygulamışlardır. Farklılıkları anlamak için, 11 tane farklı yeniden üretim şirketi üzerinde araştırma yapılmıştır.

Hong ve Yeh (2012), iki farklı perakendeci toplam modeli oluşturmuşlardır. Birinci modelde, perakendeci ömrü bitmiş ürünleri toplayarak, imalatçı üçüncü bir firmayla iş birliği yapıp bu ürünleri işlemektedir. İkinci modelde, toplama işlemini taşeron şirket aracılığıyla yapmaktadır. KDTZ’nde birinci modelin üretici kârı ve gelen karlar dikkate alındığında daha üstün olduğu görülmüştür. Zeballos ve ark. (2012), KDTZ tasarımı iade edilen ürünlerin miktarı ve kalitesindeki belirsizliği içeren iki aşamalı-senaryo temelli bir yaklaşım önermişlerdir. Kâr maksimizasyonuna dayalı karma tamsayılı doğrusal programlama problemini formüle etmiş ve önerilen modeli Portekiz’de yer alan bir cam şirketi üzerinde test etmişlerdir.

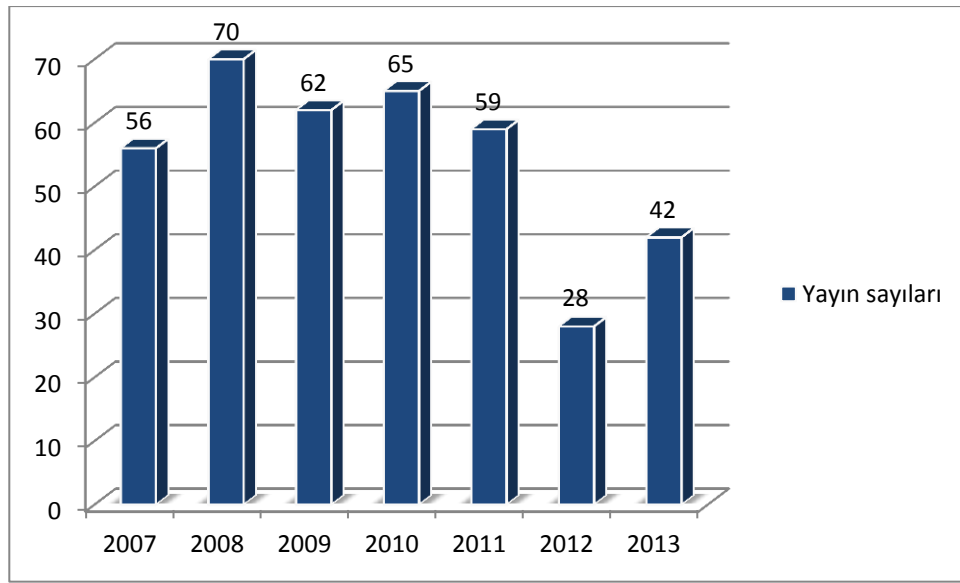
Huang ve ark. (2013), KDTZ’nin stratejilerinin ikili geri dönüşüm kanalı ile analiz etmişlerdir. Çalışmada oyun teorisine dayanarak hem merkezi hem de merkezi

olmayan senaryolar için optimal fiyatlama ve geri dönüşüm stratejileri elde edilmiş ve bunların sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Amin ve Zhang (2013), çevresel malzemeler ve çevre dostu malzemeler gibi faktörleri içeren çok amaçlı model oluşturmuşlardır. Çok amaçlı model, ağırlıklı toplam ve ε - kısıtlama yöntemleri ile çözülmüştür. Oluşturulan çok amaçlı matematiksel model, KDTZ ağ tasarımı belirsizlik altında oluşturulan ilk modellerden biridir. Fahimnia ve ark. (2013), endüstriyel karbon emisyonları yönetiminde karbon piyasası ticareti ve karbon vergilendirme (fiyatlandırma) için örgütsel tedarik zinciri ve düzenlemelerinde gelecekteki araştırmalar için bir temel sağlamaktadır. Bu çalışma, karbon ayak izinin etkilerini ileri ve ters tedarik zincirinde değerlendiren ilk çalışmadır. Avustralya’da bulunan bir şirketin verilerini kullanarak karma tamsayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuş, maliyetlerdeki değişimlerin ve çevresel etkilerin karbon fiyatlandırmasında etkili olduğu ortaya çıkarılmıştır. Wei ve Zhao (2013), bir üretici bir tedarikçi ve bir üçüncü taraf sağlayıcıyı içeren bulanık KDTZ modelini oluşturmuşlardır. Modelde talep, üretici maliyeti ve toplama maliyeti bulanık olarak ele alınmıştır. Bulanık teori ve oyun teorisi kullanılarak üç karar modeli için çözümler elde edilmiştir. Soleimani ve ark. (2014), ortalama mutlak sapma, riske maruz değer ve koşullu riske maruz değer gibi risk ölçümlerini dikkate alarak iki aşamalı stokastik KDTZ tasarımı ve planlamasını çalışmışlardır. Bu üç risk ölçümünün amaç fonksiyonlarında kullanılması ile iki aşamalı ortalama-risk modelleri elde edilmiştir. Toplam satış değerlerinde riske maruz değer en iyi iken, maliyet değerlerinde riske maruz değer kabul edilebilir değildir. Wilhite ve ark. (2014), ekonomik ortamdan etkilenen Amerikan askeri işlerinde tedarik zincirinin nasıl tasarlanacağını göstermişlerdir. Askeriye kâr amaçlı bir kurum olmadığından ve modern silah sistemlerinin alımı, aşınması ve yıpranması zorlu koşullar içerdiğinden KDTZ modellerinde nasıl kullanıldığı açıklanmıştır. Özceylan ve Paksoy (2013b), çok ürünlü çok dönemli ve ileri/tersine ürün ağaçlarının kullanıldığı KDTZ ağ tasarımı problemini ele almışlardır. Problemden amaç; taşıma, satın alma, yenileme ve tesis açma (potansiyel fabrika ve perakendecilerin) maliyetlerinin minimize edilmesidir. Söz konusu problem karma tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile çözülmüş ve farklı parametreler üzerinde senaryo analizleri yapılarak KV’lere önerilerde bulunulmuştur. Özceylan ve Paksoy (2013a), çok ürünlü ve çok periyotlu ileri ve tersine lojistik ağı içeren KDTZ ağ tasarımı için karma tamsayılı bulanık bir model önermişlerdir. Potansiyel fabrika ve tedarikçilerin sabit maliyetlerini, yenileme maliyetlerini, satın alma maliyetlerini ve

ulaştırmayı minimize eden çok amaçlı bir model oluşturmuşlardır. Bulanık modelin üstünlüğü farklı senaryolar altında ele alınmıştır. Mitra ve Datta (2014), Hindistan'daki üretim firmaları için üzerinde KDTZ anket araştırması yapmışlardır. Uygulama sonucunda KDTZ uygulamalarının devlet tarafından benimsenmesinin yetersiz olduğu görülmüş ve diğer ülkelerle karşılaştırmalar yapılmıştır. Tseng ve ark. (2014b), yeşil tedarik zinciri uygulamalarında ekolojik-etkinliği belirlemek için nitel bir yaklaşım önermişlerdir. Bulanık küme teorisini TODIM yöntemi ile ele almışlar, böylece nitel ve nicel verileri birlikte değerlendirmişlerdir.

Jindal ve Sangwan (2014), bulanık ortam altında çok ürünlü, çok tesis içeren KDTZ tasarımı bulanık karma tamsayılı doğrusal programlama kullanarak modellemişlerdir. Tedarikçilerden alınacak ürünlerin sayısı ve her bir tesisteki parçaların dağıtımı ile toplam karın maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Özceylan ve Paksoy (2014), maliyet katsayılarının ve kapasite seviyelerinin bulanık olduğu bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan karma tamsayılı bir KDTZ modeli önermişlerdir. Bu modeli yardımcı kesin çok amaçlı modele dönüştürmek için, ağırlıklı ortalama yöntemini ve hibrid (melez) yöntemi kullanmışlardır. Elde edilen model, üç farklı Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yöntemi ile çözülmüştür. Bu çalışma EBP yaklaşımlarını KDTZ'nde uygulayan ilk çalışmadır. Safaei (2014), hammadde satın almadan son ürünün dağıtım işlemleri için bütünsel bir modeli analiz etmişlerdir. Farklı ürünler ve tesisler arasından kapasitelerin dağıtımını için dinamik özelliklere sahip karma tamsayılı bir model oluşturmuşlardır. Mirhedayatian ve ark. (2014), yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) için bulanık veri, istenmeyen çıktılar ve dual rollü faktörlerin varlığında yeni bir ağ veri zarflama analizi modeli önermişlerdir. Özceylan ve ark. (2014), demontaj hattı dengesini de dikkate alarak doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama ile KDTZ modelini oluşturmuşlardır. Tesislerin kapasitesi, ürünlerin tasarım karmaşıklığı, getiri oranı, satın alma/yenileme maliyet oranı gibi parametreler dikkate alınarak çözümlerin duyarlılığı incelenmiştir. Tseng ve ark. (2014a), yeşil TZY'nde Analitik Network Prosesi (ANP) kullanarak kapalı döngü ve açık hiyerarşik yapılar arasındaki farklılıkları üreticiler, tedarikçiler, müşteriler açısından araştırmışlardır. Belirsizlikleri bulanık küme teorisi kullanarak ele almışlardır. Demirel ve ark. (2014), kademeli teşvik politikaları ve ikincil piyasa içeren KDTZ ağ tasarımında optimal stratejiyi bulmak için karma tamsayılı model önermişlerdir. Kesin modele ek olarak, bulanık seviyelerin amaç fonksiyonlarında dikkate alınması ile KDTZ modeli genişletilmiştir. Büyük çaplı kesin ve bulanık modelleri çözmek için

genetik algoritmadan ve GAMS-CPLEX yararlanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Özet olarak, literatürdeki tersine lojistik ve KDTZ ağı tasarımı konu eden çalışmalara bakıldığında gerek bağımsız (tersine) gerekse bütünleşik (kapalı döngü) modellerin çoğunlukla kapasite, talep, stok vb. kısıtlar altında maliyet minimizasyonu veya kar maksimizasyonu olarak ele alındığı görülmektedir. Govindan ve ark. (2015) geleceğe ışık tutacak ve mevcut durum ile ilgili bir çerçeve çizebilmek için, TTZ ve KDTZ ile ilgili kapsamlı bir değerlendirme yapmışlardır. Ocak 2007 ve Mart 2013 tarihleri arasında yayımlanan 382 makale incelenmiş, analiz edilmiş ve kategorilere ayrılmıştır. İncelenen döneme ilişkin yayınların dağılımı Şekil 2.1’de verilmiştir:



Şekil 2.1. TTZ ve KDTZ ile ilgili makalelerin yıllara göre dağılımı

2.2. Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Programlama İle İlgili Literatür Taraması

Klasik Doğrusal Programlama (KDP) yöntemi, geliştirildiğinden beri sıklıkla hayatımızda rol almaya başlamış ve kullanılagelmiştir. Ancak günümüzde, tek bir amacın modellenmesi yerine birden fazla amacın aynı anda modellenmesine imkân sağlayan çok amaçlı programlama yöntemleri önem kazanmaya başlamıştır. Örneğin, bir lojistik firması taşıma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlarken, teslimat süresini de azaltmayı hedefleyebilir. Bu gibi durumlara insan ve çevre faktörlerinden kaynaklı belirsizlikler de işin içine girince karşılaşılan problem daha da zorlaşmaktadır. Çok amaçlı programlama yöntemlerinde, genellikle üst seviyedeki KV'nin kararına göre alt seviyedeki KV(ler) kendi amaçlarını optimize etmeye çalışırlar. Alt seviyedeki KV'nin

kendi yararını da dikkate alarak üst seviyedeki KV ile etkileşime dayanan model girişimleri bu nedenle ön plana çıkmaktadır. Aşağıda EBP ile ilgili geniş bir literatür taramasına yer verilmiştir.

Etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımlarında temel çalışma, Stackelberg'in çözümüdür. Stackelberg çözümünde KV'ler birbirlerinin amaçlarını bilmektedirler. Üst seviye KV kendi kararını belirler ve bu karara göre alt seviye KV kendi amacını optimize etmeye çalışır. Ancak, Stackelberg çözümü KV'ler arasındaki iş birliğine dayalı olmadığı için Pareto optimalliği sağlamaz. Bu gibi zorluklar üstesinden gelebilmek için birçok yazar çok amaçlı programlama yaklaşımları önermiştir. Lai (1996), çok seviyeli programlama problemlerinin çözümü için optimal üyelik kavramını önermiştir. Üst seviye KV'nin kendi amacına göre optimal üyeliğini belirlediği, alt seviye KV'lerin verilen kısıtlara göre, üst seviye KV'nin kararına göre, kendi kararlarını hesaplayarak optimal çözüme ulaştığı bir algoritma önermiştir. Üç seviyeli programlama problemi üzerinde algoritma uygulanarak çözümler açıklanmıştır. Shih ve ark. (1996), çok KV'li hiyerarşik yapılarda merkezi olmayan planlama problemlerinin çözümü için çok amaçlı optimizasyon ve tolerans üyelik fonksiyonları kavramlarını kullanarak bulanık bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çözüm yöntemi üyelik fonksiyonlarının değişikliğine dayanmaktadır ve böylece çok seviyeli problem tek bir iterasyon ile çözülebilmektedir. Önerilen yöntem çeşitli örnekler üzerinde uygulanmış ve klasik yöntemlerle karşılaştırması yapılmıştır. Lai (1996), ve Shih ve ark. (1996), tarafından geliştirilen bulanık programlama yaklaşımında, üst seviyede hem karar değişkenleri hem de amaç fonksiyonu için bulanık amaçlar belirlendiğinden bulanık amaçlar tutarsız olduğu zaman istenmeyen sonuçlar oluşabilmektedir. Sakawa ve ark. (1998), bu tür problemlerin üstesinden gelebilmek için, karar değişkenleri için bulanık amaçlar giderildikten sonra, çok seviyeli doğrusal programlama problemleri için EBP yaklaşımını önermişlerdir. Etkileşimli yöntemlerde, her seviyedeki KV'nin bulanık amaçları belirlendikten sonra, her seviyedeki tatmin seviyesi dengesi dikkate alınarak üst seviyedeki KV'nin tatmin seviyesi güncellenir ve istenen tatmin sonucuna ulaşılır. Önerilen yöntemin algoritması, ilk önce iki seviyeli programlama problemleri için açıklanmıştır. Stackelberg'in algoritmasının aksine, üst seviyedeki KV bulanık amacını ve minimum tatmin seviyesini belirler ve alt seviyedeki KV bu tatmin seviyesini dikkate alarak kendi bulanık amacını optimize etmeye çalışır. Daha sonra çok amaçlı programlama problemleri için gerekli algoritma elde edilir. İki seviyeli ve üç seviyeli doğrusal programlama problemleri, önerilen yöntemin uygunluğunu göstermek için

açıklanmıştır. Sakawa ve ark. (1999), genetik algoritma yardımıyla çok seviyeli 0-1 tam sayılı programlama problemleri için EBP'yi önermişlerdir. Lai (1996) ve Shih ve ark. (1996) tarafından önerilen yöntemdeki zorlukların üstesinden gelebilmek için, karar değişkenlerinin bulanık amaçları giderildikten sonra, 0-1 tam sayılı programlama problemi olarak formüle edilmiştir. Her seviyedeki KV'nin bulanık amaçları belirlendikten sonra, herhangi iki seviyedeki KV'nin tatmin dengesi dikkate alınarak, KV'lerin tatmin seviyelerinin güncellenmesi ile tatmin çözümüne ulaşılmıştır. Üç seviyeden oluşan 0-1 tam sayılı programlama problemi örnek olarak ele alınmış ve önerilen algoritmanın sonuçları tartışılmıştır. Sakawa ve ark. (2000a), çok seviyeli doğrusal programlama problemleri için EBP'yi önermişlerdir. İki ve üç seviyeli doğrusal programlama örneği ile modelin geçerliliği sınanmıştır. Sakawa ve ark. (2000b), bulanık parametrelili iki seviyeli kesirli doğrusal programlama problemleri için EBP'yi önermişlerdir. Bulanık sayılarda α -seviye kümesinin kullanılması ile iki seviyeli kesirli doğrusal programlama tanıtılmıştır. Her seviyedeki kesirli doğrusal amaç fonksiyonları için KV'lerin bulanık amaçları, ilgili doğrusal üyelik fonksiyonlarının elde edilmesiyle ölçülmüştür. Bu yöntemde, üst seviyedeki KV hedef değerini belirlemekte ve tatmin seviyelerinin güncellenmesi ile istenen çözüme ulaşılmaktadır. Sakawa ve Nishizaki (2001), iki seviyeli kesirli doğrusal programlama problemleri için EBP'yi sunmuşlardır. Sakawa ve ark. (2001a), genetik algoritma yardımıyla bulanık parametreler kullanarak ile çok seviyeli 0-1 programlama problemleri için EBP'yi önermişlerdir. Çalışmada, etkileşimli programlamada bulanık parametrelerin olması durumunda sezgisel yöntemlerin de uygulanabileceği gösterilmiştir. Sakawa ve ark. (2001b), bir ev eşyası imalatçısı ve bu imalatçının ürünlerini dağıtan bir firmanın üretim ve iş gücü ataması problemi ile ilgilenmişlerdir. İki seviyeli programlama problemi hem imalatçı ve dağıtıcı firma için kar maksimizasyonu hem de sistemin karlılık maksimizasyonu için oluşturulmuştur. İlk seviyede, üst seviyedeki KV'nin belirlediği minimum tatmin seviyesi ile ikinci seviyedeki KV'nin karını maksimum yapacak çözüme ulaşılır daha sonra üst seviyedeki KV maksimum tatmin seviyesini belirler ve etkileşimli bir şekilde her iki firmayı tatmin edecek çözüme ulaşılır. İkinci seviyede, her iki firmanın karını maksimum yapacak satışlardan elde edilen karı gösteren bir oran oluşturulur ve iki seviyeli kesirli doğrusal programlama problemi, karlılık maksimizasyonu problemine uygulanır. Çalışmada, EBP'nin gerçek problemlere uygulanabilirliğini gösterilmiştir. Sakawa ve ark. (2002), iki tedarikçi ve bir imalatçıdan oluşan bir ulaştırma problemini ele almışlardır. EBP yönteminin ulaştırma

problemlerine uygulanabilir olduğunu göstermiş ve farklı amaçları olan KV'ler için etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır. Sakawa ve Nishizaki (2002b), üst seviyede tek KV'nin, alt seviyede ise çoklu KV'lerin yer aldığı iki seviyeli lineer programlama problemi için EBP yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada, Sakawa ve ark. (1998) tarafından önerilen algoritma geliştirilmiştir. Algoritma iki aşamadan oluşacak şekilde düzenlenmiştir. KV'lerin tatmin seviyeleri iş birliği içinde olduğundan, her seviyedeki KV'nin amacını gözetken dengeli bir tatmin sonucuna ulaşmışlardır. Sakawa ve Nishizaki (2002a), bulanık parametreler içeren iki seviyeli konveks olmayan programlama problemleri için EBP'yi genetik algoritma kullanarak formüle etmişlerdir. α -seviye kümesini kullanarak iki seviyeli konveks olmayan doğrusal programlama problemi tanımlanmıştır. Sakawa ve ark. (2003), kısıtlarda veya amaç fonksiyonunda rasgele değişkenlerin olduğu çok amaçlı doğrusal programlama problemine odaklanmışlardır. Bu tür problemler için, amaç fonksiyonu için KV'nin bulanık amaçları birleştirildikten sonra KV'yi memnun edecek beklenti modeline ulaşmak için EBP yöntemi uygulanmıştır.

Liang (2006), parçalı doğrusal üyelik fonksiyonu ile bulanık çok amaçlı ulaştırma problemlerinin çözümü için etkileşimli çok amaçlı doğrusal programlama yöntemini geliştirmişlerdir. Önerilen yöntem, toplam teslimat maliyetlerini ve toplam teslimat zamanını, eş zamanlı olarak minimize etmeyi amaçlamaktadır. Gerçek ulaştırma sorunları içeren bir örneğe önerilen yöntem uygulanmıştır. Ahlatcioglu ve Tiryaki (2007), merkezi olmayan iki seviyeli kesirli doğrusal programlama problemleri için iki yeni EBP yaklaşımı önermişlerdir. AHP yönteminin yardımıyla üst seviye KV, alt seviye KV'lere ağırlıkları ile orantılı olarak tatmin seviyesi atamaktadır. Önerilen ilk yaklaşımda Sakawa ve Nishizaki (2001), (Sakawa ve ark., 1998; Sakawa ve ark., 2000b; 2000a; Sakawa ve ark., 2001a; Sakawa ve Nishizaki, 2002a; 2002b) tarafından önerilen yaklaşımlar izlenmiştir fakat karar değişkenlerinin üyelik fonksiyonları üzerinde ek kısıtlamalar yapılmamıştır. İkinci yaklaşımda ise, eğer KV bu kısıtlamaları kullanmak isterse Lai (1996) ve Shih ve ark. (1996)'nın önerdikleri yaklaşımlara benzer bir yaklaşım uygulayabilmektedir. Katagiri ve ark. (2008), bulanık rasgele değişken katsayılı çok amaçlı doğrusal programlama problemiyle ilgilenmişlerdir. Stokastik programlama ve olabilirlik programlamaya dayalı olarak hem olasılığı hem de olabilirliği maksimize eden yeni bir karar modeli önermişlerdir. Selim ve Özkarahan (2008), tedarik zinciri ağ tasarımında bulanık modelleme yaklaşımını kullanarak çok amaçlı doğrusal programlama modelini geliştirmişlerdir. Uzlaşık çözümü belirlemek

için yeni ve eşdeğer etkileşimli bulanık hedef programlama yaklaşımını önermişler ve modeli çeşitli örnekler ile sınıamışlardır. Torabi ve Hassini (2008), tedarik zinciri ağ tasarımı için öncelikle yeni çok amaçlı olasılıklı karma tamsayılı doğrusal programlama problemini oluşturmuşlar, daha sonra olasılıklı modeli dönüştürmek için yardımcı çok amaçlı doğrusal modeli uygulamışlardır. Son oluşturulan modeli çözmek için yeni EBP yaklaşımını önermişlerdir. Önerilen yöntemin uygulanabilirliği çeşitli örnekler üzerinde araştırılmıştır. Liang ve Cheng (2009), her bir işletme maliyeti kategorilerinde, paranın zaman içindeki değerini dikkate alarak çoklu zaman süreli ve çok ürünlü tedarik zinciri için üretim/dağıtım planlama kararı problemlerine bulanık kümeleri entegre etmişlerdir. Önerilen yöntemle, toplam maliyetler ve toplam teslimat zamanı eş zamanlı olarak minimize edilmiş ve endüstriyel bir uygulaması yapılmıştır. Pishvae ve Torabi (2010), belirsiz talepler, teslimat süreleri, maliyetler ve kapasiteleri dikkate alarak İTZ ve TTZ ağı içeren tedarik zinciri tasarımı için çok amaçlı olasılıklı optimizasyon modelini geliştirmişlerdir. Önerilen modeli çözmek için etkileşimli bulanık çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir.

Sakawa ve ark. (2011), KV'lerin işbirliği içinde olduğu varsayımı altında ve rasgele bulanık çevre altında hiyerarşik organizasyonlardaki karar verme problemleri için çözüm yöntemi ele almışlardır. KV'lerdeki belirsizliği ele almak için bulanık amaçlar tanıtlmış ve iki seviyeli stokastik programlama problemine her bir bulanık amacın tatmin seviyesinin maksimizasyonu problemine dönüştürülmüştür. Önerilen EBP yöntemi ile bütün problemlerin simpleks yöntemi ile rahatlıkla çözülebileceği ifade edilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliği ve uygulanabilirliği bir örnekle açıklanmıştır. Sakawa ve Matsui (2012), rasgele bulanık iki seviyeli lineer programlama problemleri için interaktif karar verme yöntemine odaklanmışlardır. KV'lerin amaç fonksiyonu değerlerinin hedef değişkenlerine eşit veya daha küçük değer alma olasılığı dikkate alınarak, KV'lerin olasılıkları için bulanık amaçlar tanıtlmıştır. Daha sonra karar değişkenlerinin belli bir izin seviyesine eşit veya büyük değer alma olasılığı elde edilerek, karar değişkenlerini optimize edecek kesirli model seçilmiştir. Önerilen lineer olmayan bulanık etkileşimli yöntemin lineer olmayan programlama problemi olarak çözülebileceği ispatlanmıştır. Ayrıca, yaklaşık çözümlerin lineer olmayan Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) yöntemi ile elde edilebileceği de gösterilmiştir. Sakawa ve Matsui (2013a), bulanık rasgele değişkenlerin yer aldığı bulanık iki seviyeli lineer programlama problemleri için, bulanık rasgele değişkenlerin seviye kümelerini tanıtmış ve problemin gerçekleşme seviyesini garantiye almak için stokastik programlama

problemini önermişlerdir. Her bir bulanık amacın tatmin seviyesi stokastik iki seviyeli lineer programlama problemi ile maksimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Olasılığın maksimizasyonu ile dönüştürülmüş iki seviyeli lineer programlama problemi, deterministik forma indirgenmiştir. Sakawa ve Matsui (2013d), α -seviye kümeleri yerine olasılık ölçülerini kullanarak iki seviyeli lineer programlama problemlerinin çözümünü ele almışlardır. Sakawa ve Matsui (2013b), olasılık ölçüsü yerine α -seviye kümeleri ile bulanık amaçlar için üyelik fonksiyonlarını kullanmış ve stokastik iki seviyeli lineer programlama problemini elde etmişlerdir. Sakawa ve Matsui (2013c), KV'lerin amaç fonksiyonu değerlerinin belirli bir değere eşit veya küçük olması olasılıklarını atamışlardır. Daha sonra bu olasılıklar için bulanık amaçlar belirlenerek, atanan olasılıklar ile gerçekleşme olasılıklarını maksimum yapacak olabilirliğe dayalı rasgele bulanık iki seviyeli lineer programlama problemini ele almışlardır.

Sakawa ve ark. (2014), kısıtlarda rasgele değişken içeren iki seviyeli doğrusal programlama problemini ele almışlardır. Çalışmada, basit başvuru kavramı kullanılarak iki seviyeli stokastik programlama problemi deterministik hale dönüştürülmüştür ve problem EBP yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür. Sakawa ve Matsui (2014), hem kısıtlarda hem de amaç fonksiyonunda rasgele değişken içeren çok seviyeli 0-1 tamsayılı programlama problemleri için EBP'yi ele almışlardır. Şans kısıtları kavramı ve olasılık maksimizasyon modelinin birlikte kullanılması ile stokastik programlama problemi deterministik forma dönüştürülmüştür. 0-1 tamsayılı programlama probleminin çözümüm için Tabu Algoritmasından yararlanılmıştır.

2.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle İlgili Literatür Taraması

ÇKKV yöntemleri son yıllarda hızla gelişen alanlardan biri haline gelmiştir. Tek bir kişi ve tek bir kriterden hareketle başlayan süreç günümüzde çok-kişili ve çok kriterli bir hale gelmiştir. 1960'lardan beri birçok yöntem teorik olarak önerilmiş ve halen de geliştirilmeye devam etmektedir.

ÇKKV yöntemlerinden biri olan Ortalama Yöntemi, birden fazla kritere göre değerlendirme yapıp karar verilmesi gerektiğinde uygulanabilen ve her kriterin eşit öneme sahip olduğu varsayılan en basit yöntemdir. Ancak ortalama yönteminde her kriterin eşit öneme sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle, farklı kriter ağırlıklarının değerlendirilmede kullanılması daha mantıklı olacaktır. Bu gibi durumlarda Ağırlıklı Ortalama Yöntemi ve Ağırlıklı Çarpım Yöntemi sıklıkla kullanılan

yaklaşımlardır. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Saaty (1980), tarafından önerilen KV'lerin ikili karşılaştırmasına dayanan bir ÇKKV tekniğidir. Analitik Network Prosesi (ANP), karar verme sürecinde faktörler arasındaki ilişkileri dikkate alan ve problemin tek bir yöne bağlı kalarak modelleme zorunluluğunu ortadan kaldıran ve Saaty (2001), tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir.

Optimizasyon amaçlı matematiksel programlama tekniklerinden biri olan ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English) yöntemi adı altında literatürde ELECTRE I, II, III ve IV teknikleri yer almaktadır. ELECTRE yöntemi ilk kez Benayoun ve ark. (1966) tarafından önerilen çoklu karar verme yöntemidir. Çok kriterli öncelik belirleme yöntemi olan PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemi, Brans (1982), tarafından ortaya konan ve daha çok yer belirleme problemlerinde kullanılan bir yöntemdir. Daha sonraları, Brans ve Vincke (1985), ve Brans ve ark. (1986) tarafından geliştirilmiştir. Rekiek ve ark. (2002), PROMETHEE II'yi çok amaçlı gruplama genetik algortiması ve dal-sınır yöntemi ile birleştirerek her montaj istasyonu için en iyi donanım kombinasyonunu seçmiştir. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, Hwang ve Yoon (1981), tarafından geliştirilen sıralamaya dayalı bir ÇKKV yöntemidir. VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kopromisno Resenje) yöntemi, Opricovic (1998), tarafından geliştirilen uzlaşık çözüm bulmaya dayalı bir ÇKKV yöntemidir.

MOORA (Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis) Brauers ve Zavadskas (2006), tarafından önerilmiştir. MOORA yönteminin tam çarpımsal formu olan MULTIMOORA yöntemi Brauers ve Zavadskas (2010) tarafından nerilmiştir. Brauers ve ark. (2011) tarafından MULTIMOORA bulanık küme teorisi kullanılarak güncellenmiştir. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) konusunda literatürde yer alan ilk çalışma, Van Laarhoven ve Pedrycz (1983), tarafından üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen bulanık oranların kıyaslandığı çalışmadır. Buckley (1985)'in çalışmasında birçok katılımcıya izin veren veya kayıp gözlemlerin olduğu durumlarda, bulanık ağırlıklar ile ifade edilen durumların sıralanması incelemiştir. Chang (1996), AHP' nin ikili karşılaştırma ölçeğinde üçgensel bulanık sayıları kullanarak ikili karşılaştırmaların sentetik derece değerleri için derece analizi yöntemini kullanarak BAHP için yeni bir yaklaşım önermiştir. Deng (1999), bulanık ikili karşılaştırmının kullanılması ile çok kriterli nitel analizin çözümü için bir yaklaşım öne sürmüştür.

Mikhailov (2000), ikili karşılaştırma matrislerinden önceliklerin tahmini için bulanık programlama yöntemi adı verilen yeni bir yöntem öne sürmüştür. Mikhailov (2002), ortaklık seçiminde gerçek girişim bilgilerine dayalı yeni bir bulanık yaklaşım amaçlamıştır. Önerilen yaklaşımda, ikili karşılaştırmalar için kesin değerler yerine aralık karşılaştırması önerilmiştir. Mikhailov (2004), AHP’de önceliklerin elde edilmesi için ikili aralık karşılaştırmalarından kesin önceliklere ulaşabilen yeni bir yaklaşım önermiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile KV’lerin yargıların taşıyan öncelikler bulanık eşitsizlik kısıtlarına dönüştürülmüştür. Daha sonra, aralık önceliklendirmeler bulanık matematiksel programlama problemi olarak formüle edilmiştir. Önerilen yaklaşım ile tutarlı veya tutarsız aralık yargıların doğrusal veya doğrusal olmayan matematiksel programlama problemine dönüşümü sağlanmıştır. Mikhailov ve Tsvetinov (2004), hizmet değerlendirme sürecinin tutarsızlık ve belirsizliğini ele alan yeni bir yaklaşım öne sürmüşlerdir. Önerilen önceliklendirme yönteminde, ikili karşılaştırmalarda kesin değerler yerine bulanık değerler kullanılmış ve ilk bulanık önceliklendirmeler doğrusal olmayan programlamaya dönüştürülmüştür. Büyüközkan ve ark. (2004), belirsizlik durumunda yazılım geliştirme stratejilerinin seçimi için karar verme niteliğini geliştirmek için bir yöntem önermişlerdir. Enea ve Piazza (2004), KV’lerin birden fazla alternatif arasından uygun projenin seçimine karar vermek için BAHF’nin kullanıldığı bir çalışma yapmışlardır. Kahraman ve ark. (2004), Türkiye’de faaliyet gösteren üç yemek firmasının müşterilerini görüşmeci olarak alınmış ve müşteriler tarafından belirlenen en önemli kriterler dikkate alınarak bir anket hazırlamışlardır. Yemek firmalarının kıyaslanmasında BAHF yöntemi kullanılmıştır. İkili karşılaştırma matrislerinde başarılı bir şekilde kullanılan her bir karşılaştırma müşteriler ve uzmanlar tarafından üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Chen ve ark. (2006), tedarik zinciri sisteminde tedarikçi seçimini ele alan bulanık karar verme yaklaşımını ele almışlardır. Işıklar ve Büyüközkan (2007), kullanıcıların tercihlerine göre cep telefonu alternatiflerinin değerlendirilmesini, AHP ve TOPSIS yöntemlerinden oluşan ÇKKV yaklaşımı ile incelemişlerdir. Saaty ve ark. (2007), çeşitli örnekler aracılığıyla uygun insan kaynak tahsisi problemlerine Lineer Programlama’nın AHP ile birlikte mutlak ölçüm modunun nasıl uygulandığı gösterilmiştir. Bir şirkette maksimum kaynak tahsisinin eğitim programları ile nasıl yapılacağına dair bir örnek verilmiştir. Cheng ve ark. (2008), günümüzde yeni materyallerin geliştirilmesi ile teknoloji kestirim yöntemlerinin seçimi için 7 değerlendirme kriterinden oluşan bir çalışmada BAHF yöntemini kullanmışlardır. Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2008), tesis yeri seçiminde AHP

ve TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma yapmışlardır. Zavadskas ve ark. (2008), inşaat proje yöneticisinin seçimi için Gri Sistem Teorisi uygulamaları ve aralıklarla ifade edilen kriter değerlerinin koşullarına dayanan COPRAS-G yöntemini kullanmışlardır. COPRAS-G yönteminde, fayda derecesi ve alternatiflerin değerlendirilmesi ile aşamalı sıralama kullanılır. Uygulamada, proje yöneticisi seçimi için 6 kriter belirlenmiş ve 3 yöneticinin yer aldığı uygulama COPRAS-G yöntemi ile analiz edilmiştir. Queiruga ve ark. (2008), uzmanlar tarafından oluşturulan bir anket yardımıyla İspanyol belediyelerini atık geri dönüşüm fabrikalarının kurulması için uygunluklarına göre sıralamak için, PROMETHEE yöntemini kullanmıştır. Dağdeviren ve Yüksel (2010), çalışmasında Bulanık Analitik Ağ Süreci yöntemi kullanılarak sektörün rekabet seviyesi Porter'in beş etkili analiz organizasyonu kapsamında ölçülmüştür. Çalışmanın temeli iki ana düşünceye dayandırılmıştır. Birincisi; rekabet kavramının doğasında olan karmaşıklık ve belirsizlikten dolayı temel bulanık mantık yaklaşımı. İkincisi; sektörel rekabet seviyesini (SCL) belirlemek için Porter'in önerdiği beş kuvvet analizini faktörler arasında karşılıklı etkileşim halinde düşündürmektedir. Madhuri.Ch ve ark. (2010), üç web sitesinden en iyisinin seçimi için COPRAS-G yöntemini kullanmışlardır. En iyi web sitesini belirlemek için web sitesinin kalitesini 8 kritere, bilgi kalitesini 5 kritere göre değerlendirmişler ve COPRAS-G yöntemi ile sıralamayı elde etmişlerdir. Büyüközkan ve Çifçi (2012), sağlık sektöründeki elektronik hizmet kalitesinin analizi için birleştirilmiş AHP ve TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Chatterjee ve Chakraborty (2012), dişli malzeme seçimi için PROMETHEE II (EXPROM2), COPRAS-G, ORESTE ve OCRA yöntemlerini kullanmışlar ve analiz sonucunda dört yöntemin sıralamaları arasında çok yüksek bir ilişki olduğunu gözlemlenmiştir. Chen (2012), Tayvan'da sağlık turizminin nasıl geliştiğini bulmak için DEMATEL yöntemini kullanmıştır. Altyapı hizmetlerinin güçlendirilmesi, turistik hizmetler, pazar segmentasyonu, pazarlama planlaması ve hükümet politikası gibi beş ana kriter ve 11 kriter dikkate alarak turizm sektörü değerlendirilmiş ve Tayvan'ın aktif pazarlamayı teşvik etmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Karande ve Chakraborty (2012), normalleştirme prosedürü ve kriter ağırlıklarının etkisi olmaksızın alternatif malzemeleri sıralamak için MOORA yöntemi, referans noktası yaklaşımı ve MULTIMOORA yöntemlerini kullanmışlardır. 4 kriter ve 10 malzeme alternatifi için her üç yöntemle sonuçlar elde edilmiş ve sıralamalar arasında yüksek bir ilişki olduğu görülmüştür. Baležentis ve ark. (2012), personel seçim problemi için genişletilmiş bulanık MULTIMOORA yaklaşımını kullanmışlardır. 8 kriter ve 4 adayın olduğu

personel seçim problemi sonucunda ikinci adayın en uygun aday olduğu görülmüştür. Tavana ve ark. (2013), sosyal medya platformlarının sıralanması için ANP ve COPRAS-G yönteminin entegrasyonuna dayalı bir yöntem önermişlerdir. İlk aşamada, kriterlerin ağırlıkları ANP ile bulanık ortamda elde edilmiş, ikinci aşamada ise alternatifler COPRAS-G yöntemi ile sıralanmıştır. Analiz sonucunda Facebook en iyi sosyal medya platformu olarak belirlenmiştir. Görener ve ark. (2013), banka şubesi yerinin seçimi için AHP ve MOORA yöntemlerini kullanmışlardır. 3 kriter ve 7 alt kriterin ağırlığı AHP ile belirlenerek 4 alternatif şube yerinin seçimi için MOORA yönteminde kullanılmış ve 4. şube yerinin en uygun alternatif olduğu belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tez kapsamında ele alınan Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağ tasarımı, bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımları ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1. Tersine Tedarik Zinciri ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemleri

Hızlı teknolojik gelişmelerin sonucu olarak kullanılan ürünler ömürlerinin sonuna gelseler bile yeni ürün gibi müşterilerin beklentilerini karşılayacak şekilde düşük fiyatlarla kullanıma yeniden katılmakta ve bunun sonucunda ürünlerin kullanılabilirliği artmaktadır. Çevresel sorunlar konusunda kamuda artan farkındalık, hem çevresel yönetmelikleri hem de kullanıcıları kullanılmış ürünlerin yönetimini zorunlu hale getirmiştir (Ondemir ve Gupta, 2014).

Katı atıklar içinde değerlendirilebilir olanların, ayrı toplanması, cinslerine göre ayrılması, fiziksel, kimyasal ya da biyolojik işlemlerle ikincil hammaddeye veya tarım girdisine dönüştürülmesi gerekmekte olup bu şekildeki faaliyetlerin tümü **geri dönüşüm** olarak adlandırılmaktadır. Geri dönüşüm;

- Doğal kaynakların korunmasını sağlar.
- Enerji tasarrufu sağlanmasına yardım eder.
- Atık miktarını azaltarak çöp işlemlerinde kolaylık sağlar.
- Geri dönüşüm geleceğe ve ekonomiye yatırım yapılmasına yardımcı olur.

Geri dönüşümü yapılan ürünler arasında aküler, plastikler, cam ürünler, kâğıt ve kartonlar, elektronik atıklar gibi birçok ürün sayılabilir. Bu ürünlerin tekrar kullanımı ile doğal kaynakların korunumu artacak ve kullanılan enerjiden tasarruf sağlanacaktır. Örneğin kullanılmış kâğıdın tekrar kâğıt imalatında kullanılması hava kirliliğini %74 - % 94, su kirliliğini %35, su kullanımını %45 oranında azalttığı ve bir ton atık kâğıdın kâğıt hamuruna katılmasıyla 8 ağacın kesilmesi önlenabilmektedir (Anonim, 2012).

Dünyada birçok firma giderek artan düzeyde geri kazanım faaliyetlerine önem vermenin ekonomik ve çevresel getirilerini fark etmekte ve firma amaçlarını buna göre düzenlemektedirler. Bu düzenlemeler gerek müşterilerin çevre konusundaki hassasiyetlerine cevap vererek müşteri memnuniyeti artırma çabasından gerekse de

yasal düzenlemelerin getirdiği zorunluluklara uyma mecburiyetinden kaynaklanmaktadır. Avrupa Birliği, Amerika, Japonya, Tayvan ve diğer bazı ülkelerde konu yasalar ile düzenlenmiştir (Shih, 2001; Atası ve Boyacı, 2010). AB’de uygulanan yönetmeliklerden bazıları 2005/32/EC enerji verimli ürünler tasarımı, 2003/108/EC elektronik atıklar 2002/95/EC belirli hammadde ve metallerin üretimde kullanılmasına ilişkin kısıtlamalar, 2000/53/EC direktifte ömrünü tamamlayan motorlu taşıtlar ile ilgili düzenlemeleri konu almaktadır. Avrupa Birliği müzakereleri kapsamında çevre faslının açılması ile birlikte Türkiye’de katı atık yönetimi ile ilgili mevzuat güncellenmekte, yeni yönetmelik taslakları gündeme gelmektedir. Türkiye de katı atık alanındaki düzenleme genel olarak Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14 Mart 1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete ile yayınlanan) kapsamında ele alınmaktadır (Özmen, 2013).

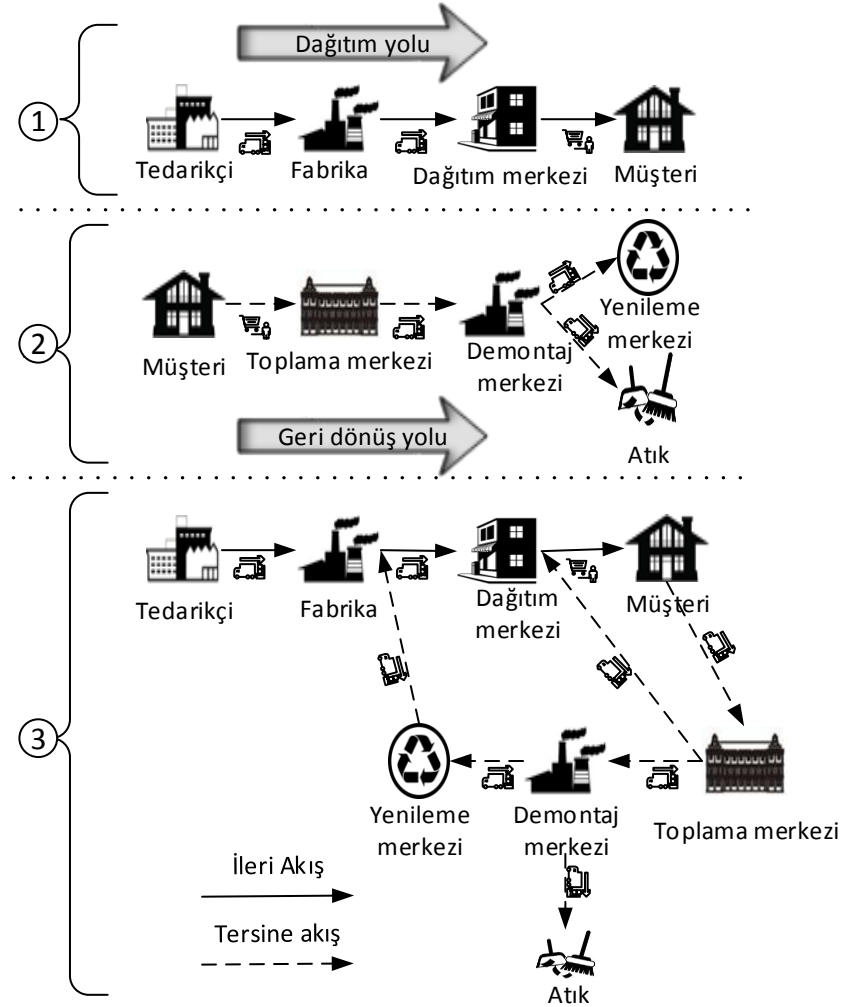
Mevcut düzenlemeler incelendiğinde; Ambalaj Atıkları, Atık Pil ve Akümülatörler, Lastikler, Hafriyat Artıkları yer almaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇVSB), Mayıs 2012 tarihinde Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar (AEEE) yönetmeliğinin yürürlüğe girdiğini ve 2013 Mayıs ayından itibaren uygulanmaya başlanacağı görülmektedir. Bu yönetmelikle elde edilmesi düşünülen temel amaç atık oluşumunun ve çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması, yeniden üretim, yeniden kullanım, geri dönüşüm gibi geri kazanım faaliyetlerinin teşvik edilmesidir (Özmen, 2013).

3.1.1. Kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı

Geri dönüşüm ile ilgili yukarıda verilen bilgiler kullanılmış ürünlerin yönetimini bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu zorunluluk da, tedarik zinciri için KDTZ adında yeni bir model tasarımının doğmasına sebep olmuştur. KDTZ ağ tasarımı, kullanılmış ürünlerin tedarik zinciri ağının son noktasından toplanıp kullanılmış ürünlerin çeşitli işlemlerle tekrardan mevcut ağa dönmesi sürecini içermektedir.

Diğer bir ifadeyle KDTZ, ileri ve tersine tedarik zincirlerinin eş zamanlı olarak ele alındığı bütünleşik yapılar olarak ifade edilebilir. Eğer bir tedarik zincirinde ürünlerin akışı tedarikçiden başlayıp müşteri de sonlanıyor ise buna **İleri Tedarik Zinciri** adı verilir. **Tersine Tedarik Zinciri** ise müşterilerden kullanılmış ürünlerin toplanıp tekrar tedarikçiye geri dönmesi sürecini ifade etmektedir. İTZ, hammadde ve bileşenlerin tedarik edilmesi, üretim, montaj, depolama, envanter ve sipariş yönetimi, dağıtım gibi tüm aktiviteleri içerir. TTZ ise, toplama, tersine üretim, de-montaj, tamir,

yenileme, geri dönüştürme ve dönüştürülemeyen kısımların kontrollü yok edilmesi çabalarını içeren ve tüm bu aktivitelerin gözlenmesi için gereken bilgi sistemleri dâhil olmak üzere, malların toplama evresinden İTZ'ne dâhil oldukları noktaya kadar yer alan tüm aktiviteleri içerir (Özkır, 2009). Şekil 3.1'de, İTZ, TTZ ve KDTZ ağları verilmiştir.



Şekil 3.1. İTZ (1), TTZ (2) ve KDTZ (3) ağ yapıları

Tedarik zincirinde geriye doğru akan malzemeler, yeni olamayıp kullanıldıkları için daha düşük değer içermekte ve ileriye doğru akanlardan farklı özellikler taşımaktadır. Ayrıca farklı ulaştırma ve depolama koşullarını gerektirirler. Ek olarak, kullanılmış ürünlerin toplanmasında miktar, zamanlama ve kaliteleriyle ilgili önemli oranda değişkenlikler söz konusudur. Geriye akışın ileriye akışla bütünleştirilmesi (tesislerin kullanımı, yeni tesisler için yer seçimi, yeni toplama/ulaştırma sistemlerinin kurulması, vb.) yani KDTZ ise başlı başına bir sorundur. Bu nedenlerle geriye akışın

planlanması ve kontrolü giderek daha fazla araştırmacının ilgi gösterdiği bir alan olarak ortaya çıkmaktadır (Özceylan, 2013).

3.1.2. Tersine tedarik zinciri ve kapalı döngü tedarik zinciri faaliyetleri

Tersine lojistik/KDTZ faaliyetleri ürünü geri çağırma-toplama-depolama–ayırıştırma-dağıtım-atık bertarafı ve geri kazanım faaliyetlerini (ürün iyileştirme opsiyonlarını) kapsamaktadır. Bu faaliyetlerin hepsi her sektör için tersine lojistik ağı içinde genellikle yer almaktadır. Ancak sadece geri kazanım faaliyetleri farklı olabilmektedir. Genel olarak tersine lojistik ağı, bu faaliyetleri amacı en iyileyecek şekilde düzenlemek üzere tasarlanan sistem olarak ifade edilmektedir. Bu sistem içerisinde geri kazanım faaliyetleri yer aldığı için tersine lojistik faaliyetleri olarak adlandırılmaktadır (Özmen, 2013). Geleneksel olarak TZ süreci malzeme teminini, üretimini, dağıtımını ve tüketimini kapsamaktadır. TTZ ve KDTZ süreçleri toplama, muayene/ayırıştırma, yeniden işleme, bertaraf etme ve yeniden dağıtım faaliyetlerinden oluşmaktadır:

- **Toplama (Collection):** Mevcut kullanılmış ürünlerin bir sonraki işlem için başka bir yere gönderilmesini ifade etmektedir. Satın alma (purchasing), taşıma (transportation) ve depolama (storage) işlemlerini içerebilir.
- **Muayene/Ayırıştırma:** Bir ürünün hangi yollar ile yeniden kullanılabilir olup olmadığının belirlenmesidir. Demontaj (disassembly), parçalama (shredding), test etme (testing), sıralama (sorting) ve depolama (storage) işlemlerini içerebilir.
- **Yeniden işleme (Reprocessing):** Kullanılmış ürünün kullanılabilir ürün/parça/malzeme'ye dönüştürülmesini ifade etmektedir. Geri dönüşüm (recycling), tamir (repair) ve yeniden imalat (remanufacturing) işlemlerini içerebilir.
- **Bertaraf etme (Disposal):** Teknik veya maliyet gibi nedenler ile bir ürünün yeniden kullanılamayacağını ifade etmektedir.
- **Yeniden dağıtım (Redistribution):** Yeniden kullanılabilir ürünlerin (geri kazanılmış ürünlerin) gelecek müşteriler için mevcut pazarlara gönderilmesini ifade etmektedir (Krikke ve ark., 2003).

3.2. Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımları

Tek karar vericili ve tek amaçlı geleneksel optimizasyon teknikleri günümüzde yerini çok karar vericili ve çok amaçlı yöntemlere bırakmıştır. 20. Yüzyılda yüksek hızlı bilgisayarların kullanılmasıyla başlayan teknolojik gelişmeler doğrultusunda, araştırmacılar yeni yöntemler üzerinde karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümüne uğraşmaya başlamıştır. Klasik Doğrusal Programlama ile başlayan teknikler, sezgisel yöntemler ve etkileşimli yöntemlere doğru gelişme göstermektedir.

Çok amaçlı programlama birden fazla amaç fonksiyonuna sahip problemlerin en iyilenmesi ile ilgilenir. Çok amaçlı programlama iki veya daha çok amaçtan oluşan ve bu amaçların es zamanlı olarak tatmin edilmesinin gerektiği problemlerden oluşmaktadır (Arıkan, 1996). Yani, çok amaçlı karar verme problemleri, KV'nin birden fazla amaç içerisinden en uygununu tercih etmesi ile ilgilenir. KDTZ'de ürünlerin müşterilere ulaştırılmasına ek olarak, hangi ürünlerin hangi müşterilerden ne miktarda toplanacağını belirlenmesi, toplama, geri dönüşüm veya benzeri merkezlerin nerelerde konumlandırılacağı gibi kararlar aynı anda birden fazla amacın değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

KV'ler birbiriyle çelişen amaçlar arasında doğru karar almaya zorlanmaktadır. Amaçlar birbirleriyle çeliştiği için, birinde yapılacak iyileşme diğer amaçlardan en az birinde kötüleşmeye yol açar. Çelişen amaçlar nedeniyle, bulunan çözümler arasında amaç fonksiyon değerlerine bakılarak ödünleşim miktarları elde edilir. Kabul edilebilir ödünleşim miktarları, KV'lere bağlıdır ve bu durumda çok amaçlı problemlerde genelde kesin olarak bir optimal çözüm yoktur. Elde edilen ve aralarında ödünleşim olan çözümlerden bazıları en iyi çözümler olarak KV'ye sunulur.

Hiyerarşik yapıya sahip çok amaçlı programlama yöntemlerinde genellikle üst seviyedeki KV(ler)'nin kararına göre alt seviyedeki KV(ler) kendi amaçlarını optimize etmeye çalışırlar. Alt seviyedeki KV(ler)'nin kendi yararını da dikkate alarak üst seviyedeki KV(ler) ile etkileşime dayanan model girişimleri bu nedenle ön plana çıkmaktadır.

KDP problemlerinde kısıtların veya amaç fonksiyonlarının kesin olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda, bulanık doğrusal programlama yöntemlerine başvurulur. Ele alınan yaklaşımlarda ise KV'lerin amaç fonksiyonlarının bulanıklık olduğu kabul edilmiş ve üyelik fonksiyonlarından yararlanılarak çözüm araştırılmıştır. Bu nedenle bu tez çalışmasında KDTZ modellerinin çözümü için aşağıda

ayrıntılı bir biçimde incelenen bulanık çok amaçlı karar verme yaklaşımları kullanılmıştır.

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

Çok amaçlı karar verme yaklaşımlarından ilki olan Zimmermann (1978) tarafından önerilen Max-Min yaklaşımı diğer birçok yaklaşım için bir çıkış noktası olmuştur. Her bir amacın minimum memnuniyet seviyelerinin eş zamanlı olarak maksimize edilmesine dayanan Max-Min yaklaşımında bulanıklık sağ taraf veya teknoloji katsayılarından çok, amaç fonksiyonu değerleri ile ilgilidir. Aşağıdaki gibi bir bulanık çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli ele alınsın.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &\cong \tilde{C}x \\ (\tilde{A}x)_i &\leq \tilde{b}_i \\ x_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1)'de verilen bulanık çok amaçlı modelin, amaç fonksiyonları bulanık olarak ifade edilmiştir. Zimmermann (1978)'in Max-Min yaklaşımı ile problemlerin çözümünde, bulanık amaç fonksiyonları için Eşitlik (3.2) ve (3.3)'te verilen üyelik fonksiyonları $(\mu_g(x), \forall_g)$ kullanılır.

$$\mu_g(x) = \begin{cases} 1, & Z_g(x) \leq Z_g^L \\ \frac{Z_g^U - Z_g(x)}{Z_g^U - Z_g^L}, & Z_g^L \leq Z_g(x) \leq Z_g^U, \quad \forall_g \\ 0, & Z_g(x) \geq Z_g^U \end{cases} \quad \text{minimizasyon için} \quad (3.2)$$

$$\mu_g(x) = \begin{cases} 1, & Z_g(x) \geq Z_g^U \\ \frac{Z_g(x) - Z_g^L}{Z_g^U - Z_g^L}, & Z_g^L \leq Z_g(x) \leq Z_g^U, \quad \forall_g \\ 0, & Z_g(x) \leq Z_g^L \end{cases} \quad \text{maksimizasyon için} \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.2) ve Eşitlik (3.3)'de Z_g^L ve Z_g^U değerleri ilgili amaç fonksiyonunun alt ve üst sınırlarını göstermektedir. Z_g^L , minimizasyon problemleri için en iyi değeri, Z_g^U ise maksimizasyon problemleri için en iyi değeri göstermektedir. Dolayısıyla her iki problem tipi içinde hedeflenen amaç değeri $Z_g^L \leq Z_g(x) \leq Z_g^U$ aralığında olacaktır. Her bir amaca ait Z_g^L ve Z_g^U değerleri tüm amaçların ödünleşme tablosunun (pay-off table) elde edilmesi ile hesaplanır. Çizelge 3.1' de tüm amaçları maksimizasyon biçiminde

olan bir ödünleşme tablosu verilmiştir. Maksimizasyon problemi olduğu için her bir amaç fonksiyonun alabileceği en yüksek değer Z_g^U olarak kabul edilmekte ve tablonun köşegen değerleri her bir amacın en iyi değerini göstermektedir.

Çizelge 3.1. Z_g^U değerlerine ilişkin ödünleşme tablosu (Lai ve Hwang, 1994)

	Z_1	Z_2	Z_3	...	Z_g	X
Max Z_1	Z_1^U	$Z_2(X_1)$	$Z_3(X_1)$	...	$Z_g(X_1)$	X_1
Max Z_2	$Z_1(X_2)$	Z_2^U	$Z_3(X_2)$	...	$Z_g(X_2)$	X_2
Max Z_3	$Z_1(X_3)$	$Z_2(X_3)$	Z_3^U	...	$Z_g(X_3)$	X_3
...	...	...	...	...	...	...
Max Z_g	$Z_1(X_g)$	$Z_2(X_g)$	$Z_3(X_g)$	...	Z_g^U	X_g
	Z_1^U	Z_2^U	Z_3^U	...	Z_g^U	

Zimmermann (1978) tarafından önerilen Max-Min yaklaşımının temel mantığı her bir amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu değerlerinin minimumlarını maksimize etmektir. Bu durumda Eşitlik (3.1)

$$\begin{aligned} & \text{Max } [\text{Min } \mu_g(x)] \\ & (Ax)_i \leq B_i \\ & x_i \geq 0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

problemine dönüşür (Lai ve Hwang, 1993).

Tüm amaçlar için genel bir tatmin seviyesini gösteren α değişkeni eklenerek Eşitlik (3.1)'de verilen bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli tek amaçlı KDP problemine dönüştürülür (Eşitlik 3.5).

$$\begin{aligned} & \text{Max } \alpha \\ & \alpha \leq \mu_g(x) = \frac{Z_g^U - Z_g(x)}{Z_g^U - Z_g^L} \\ & (Ax)_i \leq B_i \\ & x_i \geq 0 \\ & 0 \leq \alpha \leq 1 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Zimmermann (1978)'ın Max-Min yaklaşımı algoritması:

Adım 1: Her bir amaç fonksiyonu ayrı ayrı çözülerek, modele ait ödünleşme tablosu oluşturulur.

Adım 2: Ödünleşme tablosundan her bir amacın Z_g^L ve Z_g^U değerleri elde edilerek Eşitlik (3.2) ve (3.3)'e göre üyelik fonksiyonları oluşturulur.

Adım 3: Oluşturulan üyelik fonksiyonları, maksimize edilecek ortak tatmin seviyesinden büyük olacak şekilde mevcut kısıtlara eklenir ve model tek amaçlı KDP modeline dönüştürülerek çözüm elde edilir (Paksoy ve ark., 2013).

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

Bu bölümde bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımlarından Selim ve Özkarahan (2008)'in önerdikleri bulanık hedef programlamaya dayalı yaklaşım detaylı bir şekilde verilmiştir.

Önerilen yaklaşım Werners (1988)'in 'Ve'leme' operatörünün kullanılmasına dayalıdır. Werners (1988), 'Ve'leme' operatörünü aşağıdaki gibi formüle eder:

$$\mu_D(x) = \text{Max} \left\{ \gamma \min_g (\mu_g(x)) + (1-\gamma)(1/G) \sum_g \mu_g(x) \right\} \quad (3.6)$$

G bulanık amaçların ve kısıtların toplam sayısını, $\mu_g(x)$ g . bulanık amacın üyelik fonksiyonunu ve γ $[0,1]$ aralığında tanımlı ortak tatmin seviyesi (λ) değerinin önem katsayısını göstermektedir. 'Min' operatörünün Eşitlik (3.6)'da kullanılmasıyla aşağıdaki lineer programlama problemi oluşturulur:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \gamma\lambda + (1-\gamma)(1/G) \sum_g \lambda_g \\ & \mu_g(x) \geq \lambda + \lambda_g \quad \forall g \in G, \forall x \in X \\ & \lambda, \lambda_g, \gamma \in [0,1] \end{aligned} \quad (3.7)$$

Werners (1988)'in yaklaşımında her bir amaç fonksiyonunun tatmin seviyesi eşit öneme sahip olarak ele alınmıştır. Ancak gerçek hayat problemlerinde KV'ler amaç fonksiyonları arasında farklı öncelikler tanımlamak isteyebilir. Selim ve Özkarahan (2008) Werners (1988)'in yaklaşımına farklı önem katsayıları dâhil ederek Eşitlik (3.8)'deki gibi geliştirmişlerdir.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \gamma\lambda + (1-\gamma) \sum_g w_g \lambda_g \\ & \mu_g(x) \geq \lambda + \lambda_g \quad \forall g \in G, \forall x \in X \\ & \lambda, \lambda_g, \gamma \in [0,1] \end{aligned} \quad (3.8)$$

burada w_g g. amaç fonksiyonunun ağırlığını göstermektedir ve $\sum_g w_g = 1$ koşulu sağlanmalıdır. Literatürde bu ağırlıkların belirlenebilmesi için AHP, ANP, Ağırlıklı En Küçük Kareler ve entropi gibi birçok yöntem mevcuttur.

Selim ve Özkarahan (2008)'in bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı algoritması:

Adım 1: KDP problemi oluşturulur.

Adım 2: Amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için ödünleşme tablosu değerleri elde edilir. Eğer KV, bu değerlerden birisini tercih edilen uzlaşık çözüm olarak kabul ederse *Adım 7*'ye aksi halde *Adım 3*'e gidilir.

Adım 3: Amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırları kullanılarak her bir bulanık amacın üyelik fonksiyonu elde edilir.

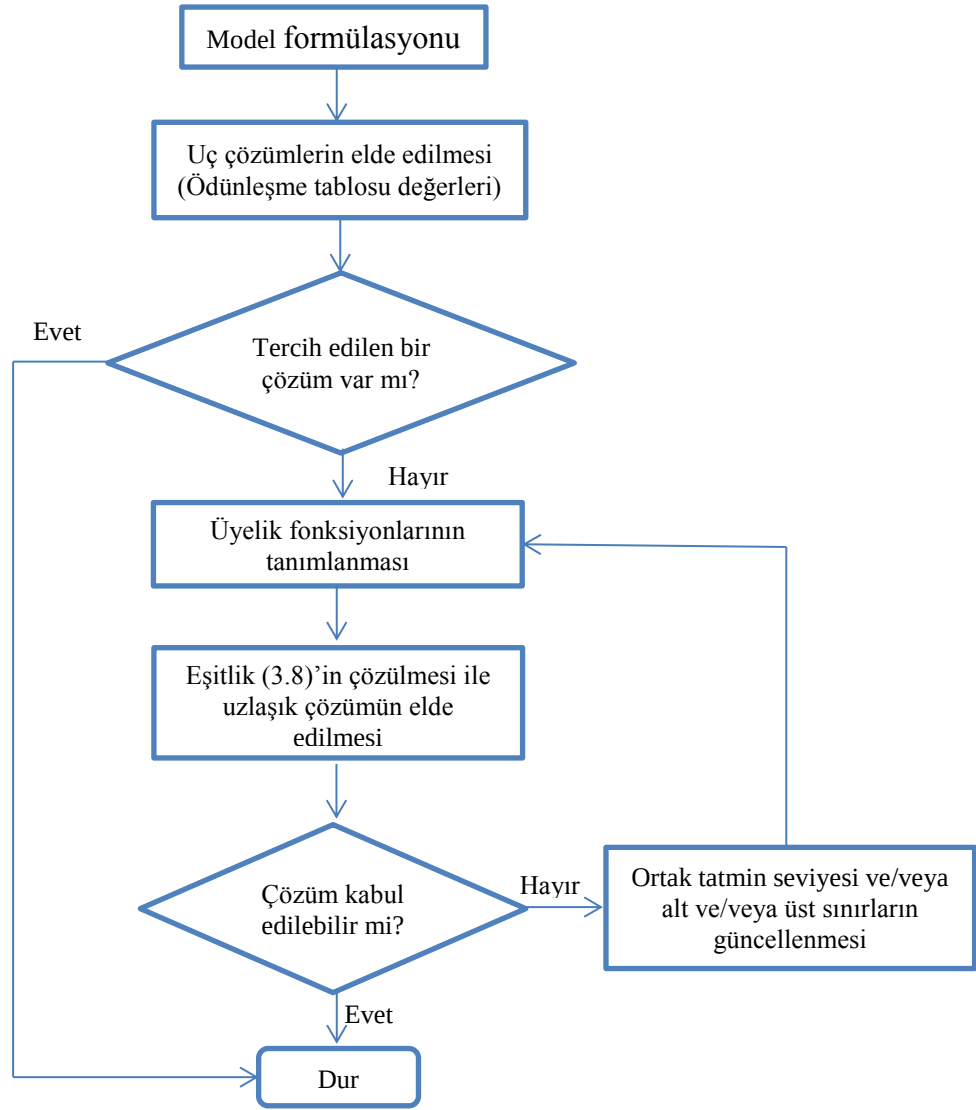
Adım 4: *Adım 3*'de tanımlanan üyelik fonksiyonları ve önem katsayısı γ (ilk iterasyon da 1 alınır) kullanılarak problem Eşitlik (3.8)'deki hale getirilir.

Adım 5: Uzlaşık çözüm elde edilir. KV bu sonucu kabul ederse *Adım 7*'ye aksi halde *Adım 6*'ya gidilir.

Adım 6: Amaçlara ait üyelik fonksiyonlarının önem katsayısının güncellenip güncellenmeyeceği karar vericiye sorulur ve *Adım 3*'e gidilir.

Adım 7: Problem sonlandırılır.

Selim ve Özkarahan (2008)'in etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının işlem adımları Şekil 3.4' de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı işlem adımları (Selim ve Özkarahan (2008))

3.2.3. Torabi ve Hassini (2008)'ın bulanık çok amaçlı yaklaşımı

Torabi ve Hassini (2008) literatürdeki diğer bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımlarında bazı eksiklikler görmüşlerdir. Lai ve Hwang (1993), Werners (1988) ve Li ve ark. (2006) tarafından önerilen yöntemleri temel olarak almış ve çok amaçlı kesin doğrusal programlama problemlerinin çözümü için bir yöntem geliştirmişlerdir. Lai ve Hwang (1993) ve Werners (1988)'ın önerdikleri yöntemlerde yeterli (efficient) fakat dengesiz veya kötü uzlaşık çözümler elde edilebilmekte bu nedenle amaç fonksiyonlarının tatmin seviyeleri arasında farklılıklar olmaktadır. Li ve ark. (2006)'nın önerdikleri yöntemde etkin çözümler elde edilmekte ama çözüm için, iki aşamalı bir yöntem gerektirdiği için hesaplama işlemleri zorlaşmaktadır. Torabi ve Hassini

(2008)'ın önerdikleri yaklaşım Lai ve Hwang (1993) ve Werners (1988) yöntemlerinin birleştirilmiş halidir.

Selim ve Özkarahan (2008)'dan farklı olarak Torabi ve Hassini (2008) her bir amaç fonksiyonunun tatmin seviyesi ile ortak tatmin seviyesi arasındaki farkın anlamsız olduğunu varsaymış ve amaç fonksiyonlarına ait üyelik fonksiyonu değerlerinin ortak tatmin seviyesinden büyük veya eşit olmasının yeterli olacağını öne sürmüştür.

Torabi ve Hassini (2008)'in önerdikleri yaklaşımın algoritması Selim ve Özkarahan (2008) ile aynı olmasına rağmen tek farklılık, problemin tek amaçlı KDP'ne dönüştürülmesi aşamasıdır. Torabi ve Hassini (2008)'nin önerdikleri formülasyon Eşitlik (3.9)'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \gamma\lambda + (1 - \gamma) \sum_g w_g \mu_g(x) \\ & \lambda \leq \mu_g(x) \\ & g \in G, x \in X, \gamma \in [0,1] \end{aligned} \tag{3.9}$$

burada $\mu_g(x)$ g . amaç fonksiyonunun tatmin seviyesi ve $\lambda = \min\{\mu_g(x)\}$ minimum tatmin seviyesini ifade etmektedir.

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

Önceki bölümlerde ele alınan EBP yaklaşımları KV'ler arasındaki işbirliğine dayalı olmaması ve birden fazla amacın tek bir KV tarafından optimize edildiği varsayımı altında çalışması nedeniyle birçok yazar tarafından yeni yaklaşımlar önerilmiştir. Gerçek hayat problemlerinde, genellikle hiyerarşik yapıya sahip organizasyonlarda farklı KV'ler arasında bir çözüme ulaşabilmek ihtiyacı bulunmaktadır. Örneğin, ev malzemeleri üreten bir imalatçı gerekli ürünlerini üretebilmek için gerekli parçaları başka firmalardan temin etmektedir. Burada imalat süreci, sadece imalatçının elindeki parçalarla olmamakta başka firmalarla da çalışmasını gerekmektedir. Burada imalatçı kârını, kârlılığını maksimize etmek veya üretim maliyetini minimize etmek isteyecektir. Bununla birlikte, iş yaptığı diğer firmalar ise kendi amaçlarını optimize etmek isteyecektir. Tüm KV'leri memnun edecek bir çözüme ulaşabilmek için imalatçının ve firmalarının ortak karar vermesi gerekmektedir (Sakawa ve ark., 2001b). Bu tarz karar modellerinin çözümü için Alman bir ekonomist olan

Heinrich Freiherr von Stackelberg 1934 yılında Stackelberg çözümü adı ile bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşımda, üst KV, diğer bir deyişle lider, kendi amacını optimize edecek kararı alırken, alt seviyedeki KV'ler ise üst seviye KV'nin aldığı karar doğrultusunda kendi amaçlarını optimize etmeye çalışırlar (Bard, 1983). Ancak, Stackelberg çözümü farklı seviyelerdeki KV'ler arasında işbirliğine dayalı bir ilişki olduğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliği gidermek için Sakawa ve Nishizaki (2002b) tarafından farklı seviyede birbirleri ile işbirliği içinde olan farklı KV'lerin eş zamanlı olarak amaçlarına ulaşmaları için etkileşimli bulanık çok amaçlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerdikleri yaklaşım temelde iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada tüm KV'lerin her bulanık amacı için üyelik fonksiyonları tanımlanır. Daha sonra her iki seviyeyi dengeleyecek şekilde, üst seviyedeki KV minimum bir tatmin seviyesi belirler ve herkes için geçici bir çözüm elde edilir. Bu aşamada alt seviyedeki KV'ler bir grup olarak hareket eder yani bireysel tatmin seviyeleri yok sayılır. İkinci aşamada ise her iki seviyedeki tatmin dengesini bozmayacak şekilde, üst seviyedeki KV alt seviyedeki KV'ler için maksimum bir tatmin seviyesi belirler ve etkileşimli bir şekilde bu değerleri güncellenerek herkesi memnun edecek bir çözüm elde edilir. Bu yaklaşımın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için iki farklı seviyede bir karar mekanizması olması gerekir. Üst seviyede yalnızca bir KV bulunurken, alt seviyede iki veya daha fazla KV bulunabilir. İki seviyedeki her bir KV'nin bir veya birden fazla amacı olabilirken temel şart KV'lere ait bu amaçların birbirleri ile çelişmesidir (Sakawa ve ark., 2002).

Üst seviyede bir KV'nin (Z_0), alt seviyede ise k kadar KV'nin ($Z_1, Z_2, \dots, Z_k$) amaçlarını eş zamanlı olarak minimize etmek istediklerini varsayarsak, iki seviyeli ve çok amaçlı doğrusal programlama modeli Eşitlik (3.10)'da verilmiştir.

$$\text{Min } Z_0(x) = \sum_{i=1}^k c_i x_i \quad (\text{üst seviye KV})$$

$$\text{Min } Z_1(x) = c_1 x_1 \quad (\text{alt seviye 1. KV})$$

$$\text{Min } Z_2(x) = c_2 x_2 \quad (\text{alt seviye 2. KV})$$

⋮

$$\text{Min } Z_k(x) = c_k x_k \quad (\text{alt seviye k. KV})$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

(3.10)

Ele alınan modelde amaç fonksiyonlarının tümü maksimizasyon olabileceği gibi birkaçı maksimizasyon birkaçı ise minimizasyon olabilir. Sakawa ve Nishizaki (2002b) çevresel faktörlerden dolayı amaçların belirsizlik içerebileceğinden, her bir amacı bulanık olarak ele almıştır. Dolayısıyla bulanık her bir amacın üyelik fonksiyonunun tanımlanması gerektiğini vurgulamışlardır. Bunun için bir önceki bölümde Zimmermann (1978) yaklaşımındaki gibi ilgili problemin ödünleşme tablosu oluşturulmasını önermişlerdir. İlk önce her bir problemin bireysel çözümleri sonucu Z_k^L (alt sınır) ve Z_k^U (üst sınır) sınırları tespit edilir. Daha sonra minimizasyon biçimindeki amaç fonksiyonları için Eşitlik (3.2) kullanılarak, maksimizasyon biçimindeki amaç fonksiyonları için ise Eşitlik (3.3) kullanılarak üyelik fonksiyonları $\mu_0(Z_0(x)), \mu_1(Z_1(x)), \dots, \mu_k(Z_k(x))$ tanımlanır. Tanımlanan üyelik fonksiyonları ile Eşitlik (3.10) aşağıdaki bulanık çok amaçlı probleme dönüşür.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \mu_0(Z_0(x)) \quad (\text{üst seviye KV}) \\
& \text{Max } \mu_1(Z_1(x)) \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \\
& \text{Max } \mu_2(Z_2(x)) \quad (\text{alt seviye 2. KV}) \\
& \vdots \\
& \text{Max } \mu_k(Z_k(x)) \quad (\text{alt seviye k. KV}) \\
& A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
& x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k
\end{aligned} \tag{3.11}$$

Etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının ilk aşaması (3.11)'de verilen problemin tüm KV'lerin minimum memnuniyet seviyesini maksimum yapacak hale dönüştürülmesi ile başlar. $\alpha = \min \left\{ \mu_0(Z_0(x)), \min_{i=1, \dots, k} \mu_i(Z_i(x)) \right\}$ karar değişkeni eklenerek Zimmermann (1978) yaklaşımı gibi aşağıdaki tek amaçlı KDP problemine ulaşılır.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \alpha \\
& Z_0(x) + (Z_0^U - Z_0^L)\alpha \leq Z_0^U \quad (\text{üst seviye KV}) \\
& Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha \leq Z_1^U \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \\
& Z_2(x) + (Z_2^U - Z_2^L)\alpha \leq Z_2^U \quad (\text{alt seviye 2. KV}) \\
& \vdots
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha &\leq Z_k^U \text{ (alt seviye k. KV)} \\
A_i x_i &\leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
x_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
0 &\leq \alpha \leq 1
\end{aligned} \tag{3.12}$$

Tüm KV'lerin minimum tatmin seviyelerini maksimize eden problem (3.12)'nin çözümünde elde edilecek α değeri üst seviye KV'yi tatmin ederse etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı sonlandırılır. Bu aşamaya kadar olan Bölüm 3.2.1'de verilen Zimmermann (1978)'in çok amaçlı bulanık doğrusal programlama yaklaşımının aynısıdır. Ancak Sakawa ve Nishizaki (2002b)'ye göre elde edilen sonuç hiçbir zaman üst seviye KV'yi tatmin etmez. Üst seviye KV, hesaplanan α tatmin seviyesinden memnun olmadığı durumda kendisinin belirlemiş olduğu yeni bir $\tilde{\delta}$ (üst seviye KV minimum tatmin seviyesi) parametresi ile tatmin seviyesinin alt sınırını belirler. Eşitlik (3.12) üst seviye KV'ye ait minimum tatmin seviyesinin eklenmesi ile Eşitlik (3.13)'e dönüşür.

Max α

$$\begin{aligned}
Z_0(x) &\leq Z_0^U - \tilde{\delta}(Z_0^U - Z_0^L) \text{ (üst seviye KV)} \\
Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha &\leq Z_1^U \text{ (alt seviye 1. KV)} \\
Z_2(x) + (Z_2^U - Z_2^L)\alpha &\leq Z_2^U \text{ (alt seviye 2. KV)} \\
&\vdots \\
Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha &\leq Z_k^U \text{ (alt seviye k. KV)} \\
A_i x_i &\leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
x_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
0 &\leq \alpha, \tilde{\delta} \leq 1
\end{aligned} \tag{3.13}$$

Eşitlik (3.13)'ün çözümünden elde edilen sonuca göre üst seviye KV'nin tatmin seviyesi önceden belirtmiş olduğu $\tilde{\delta}$ değerine ya eşit ya da daha büyük çıkacaktır. Üst seviye KV bu çözümden tatmin olsa da, çözüm sonucunda alt seviye KV'lerin tatmin seviyesi (α) ile üst seviye KV tatmin seviyesi arasında ($\tilde{\delta}$) bir fark (üst seviye KV'den yana) olacaktır. Ancak bu durum etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının istediği bir durum değildir. Bundan dolayı üst seviye KV tüm KV'ler arasında dengeli bir memnuniyet seviyesine ulaşmak için,

$$\Delta = \frac{\min_{i=1,\dots,k} \mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))} \quad (3.14)$$

eşitliğinden yararlanılır.

Eşitlik (3.14)' den elde edilen Δ değerinin üst seviye KV tarafından belirlenen Δ_L (alt) ve Δ_U (üst) sınırları arasında olması beklenir. 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 tatmin seviyesi artacak, alt seviye KV'lerin tatmin seviyesi de düşeceğinden Δ değeri belirlenen aralıkta yer alacaktır. Eğer $\Delta < \Delta_L$ ise, üst seviye KV minimum tatmin seviyesi yani $\tilde{\delta}$ ' yi azaltarak Δ değerini günceller. Bu durumda üst seviye KV'nin tatmin seviyesi azalacak, alt seviye KV'lerin tatmin seviyesi de artacağından Δ değeri yine belirlenen aralıkta yer alacaktır. Bu güncellemeler sonrasında aşağıdaki iki koşulda sağlanır ise etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının ilk aşaması sonlandırılır (Sakawa ve Nishizaki, 2002b).

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

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

Yukarıdaki koşullardan Koşul 1 zorunlu iken, Koşul 2 ise iki seviye arasındaki memnuniyet dengesinin korunması isteniyorsa aranır. Etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının sonlandırılan birinci aşamasında alt seviye KV'leri birbirlerinden bağımsız olarak ele alınmamış, alt seviyedeki KV'lerin minimum memnuniyet seviyeleri (α) aynı oranda maksimize edilmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise, üst seviyedeki KV ile alt seviyedeki her bir KV'nin memnuniyet seviyelerinin oranlanması incelenmiştir. Bunun için,

$$\Delta_j = \frac{\mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))}, j = 1, 2, \dots, k \quad (3.15)$$

eşitliği kullanılır.

Birinci aşamada hesaplanan iki seviye arasındaki tatmin oranı (Eşitlik 3.14), alt seviyedeki KV'lerin minimum tatmin seviyesinin üst seviyedeki KV'nin tatmin seviyesine oranı ile bulunurken; ikinci aşamadaki denge tatmin oranı (Eşitlik 3.15), alt seviyedeki her bir KV'nin tatmin seviyesinin ikinci seviyedeki KV'nin tatmin seviyesine oranlanması ile bulunur. Bu sayede birinci aşamada dikkate alın(a)mayan herhangi bir KV'nin, ikinci aşamada devreye girmesine izin verilmiş olur. Eşitlik (3.15) 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 ($\bar{\delta}_j$) belirler ve problem (3.13),

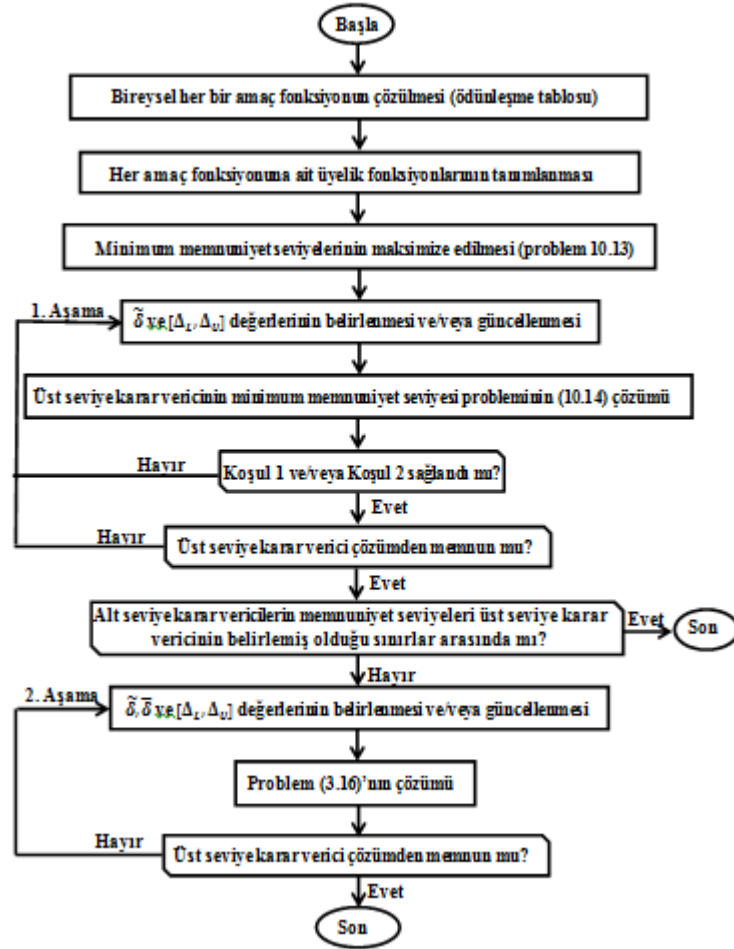
Max α

$$\begin{aligned}
 Z_0(x) &\leq Z_0^U - \tilde{\delta}(Z_0^U - Z_0^L) \text{ (üst seviye KV)} \\
 Z_j(x) &\geq Z_j^U - \bar{\delta}_j(Z_j^U - Z_j^L) (j \in J) \\
 Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha &\leq Z_1^U \text{ (alt seviye 1. KV)} \\
 &\vdots \\
 Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha &\leq Z_k^U \text{ (alt seviye k. KV)} \\
 A_i x_i &\leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
 x_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
 0 &\leq \alpha, \tilde{\delta}, \bar{\delta}_j \leq 1
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

şekline dönüşür.

Problem (3.16)'da J tatmin oranı üst seviyedeki KV'nin belirlemiş olduğu Δ_U değerinden yüksek olan alt seviye KV'lerin kümesini göstermektedir. Sakawa ve Nishizaki (2002b), $\bar{\delta}_j$ değerinin üst seviye KV'nin minimum tatmin seviyesi $\tilde{\delta}$ ile tatmin oranı üst sınırının Δ_U çarpılması ile hesaplandığını belirtmiştir. Yani $\bar{\delta}_j = \tilde{\delta} \times \Delta_U$. Problem (3.16) çözüldükten sonra alt seviyedeki KV'lerin yeni tatmin oranları Eşitlik (3.15) yardımıyla tekrardan hesaplanır. Elde edilen yeni tatmin oranları üst seviye KV'nin belirlemiş olduğu Δ_L ve Δ_U sınırlar arasında ise ikinci aşama da sonlandırılır. Aksi halde üst seviye KV, alt seviye KV'lere ait tatmin oranlarının, belirlemiş olduğu sınırlar arasında yer almasına kadar $\bar{\delta}_j$ değerini veya değerlerini tekrardan günceller y

ve ark. 2013). Sakawa ve Nishizaki (2002b) tarafından önerilen etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının işlem adımları Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı işlem adımları (Sakawa ve Nishizaki, 2002b)

3.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

ÇKKV yöntemleri, ölçülebilen ve ölçülemeyen birçok stratejik ve operasyonel faktörü aynı anda değerlendirme imkânı sağlayan, aynı zamanda karar verme sürecine çok sayıda kişiyi dâhil edebilen analitik yöntemlerdir. Karar verme aşamasında bu yöntemlerin kullanılması, yöneticilere yol göstermekte ve doğru kararlar almalarına imkân tanımaktadırlar. Literatürde farklı özelliklere sahip birçok ÇKKV yöntemi olduğu bilinmektedir. Bu kesimde, tez çalışması kapsamında ele alınan ÇKKV yöntemleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

3.3.1. Bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ilk olarak 1980 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden birisidir. AHP, belirlilik ya da belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda KV'nin bulunduğu çok kriterli ve çok amaçlı bir karar verme durumunda kullanılır (Saaty, 2000). ÇKKV yöntemleri gerçek hayatta sınırları kesin olarak belirli olmayan, kesin yargı ifadelerine dayanmayan ve insani düşünce tarzını yansıtmayan problemleri ele almada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ÇKKV yöntemleri bulanık küme teorisi kullanılarak, gerçek dünyaya ilişkin problemlerini daha rahat çözebilmek amacıyla genişletilmiştir. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHP)'nde kesin değerlerin kullanıldığı AHP'den farklı olarak, kıyaslama oranları bir değer aralığında verilmektedir. Böylece karar verme sürecindeki belirsizliğin daha kolay üstesinden gelinebilmektedir (Karakaşoğlu, 2008).

Literatürde, çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen birçok BAHP yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler, bulanık küme teorisi kavramlarını kullanarak alternatif seçimi ve gerekçe problemlerine sistematik yaklaşımlardır. KV'ler genellikle aralık değerlendirmeleri sabit değerlendirmelerden daha güvenli bulmaktadırlar. Bunun nedeni, karşılaştırma yönteminin bulanık doğası gereği KV'lerin tercihleri hakkında kesin olmamalarıdır (Çitli, 2006).

3.1.1.1. Chang (1996)'ın genişletme analizi yöntemi

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ nesneler kümesi ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ amaçlar kümesi olsun. Her bir nesne alınır ve her bir amaç (g_i) için genişletme analizi uygulanır. Genişletme ifadesi ile bu nesnenin amacı ne kadar gerçekleştirdiği ifade edilmektedir. Sonuçta, her bir nesne için m tane genişletme analizi değeri $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m$, $i = 1, 2, \dots, n$ elde edilir. $M_{g_i}^j$, $j = 1, 2, \dots, m$ değerleri üçgen bulanık sayılardır ve $M_{g_i} = (l_i, m_i, u_i)$ biçiminde gösterilir. Chang (1996)'ın genişletme analizi yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: i.amaca göre bulanık sentetik genişletmesi değeri

$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1}$ eşitliğinden elde edilir. $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ değerini elde etmek için ele alınan ikili karşılaştırma matrisi için m tane genişletme analizinin bulanık toplama işlemi

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j)$ biçiminde uygulanır.

$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1}$, yi elde etmek için, $M_{g_i}^j$, $j = 1, 2, \dots, m$ değerlerinin bulanık toplama işlemi $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^n l_j, \sum_{j=1}^n m_j, \sum_{j=1}^n u_j)$ biçiminde yapılır ve tersi,

$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = (\frac{1}{\sum_{j=1}^n u_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n m_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n l_j})$ olarak hesaplanır.

Bulanık sayıların karşılaştırılması için, bulanık sentetik değerlerinin kullanılmasıyla hiyerarşinin her bir seviyesi için tüm elemanların ağırlık vektörleri elde edilmektedir.

Adım 2: Elde edilen sentez değerleri (bulanık sayı) karşılaştırılır ve bu değerlerden yararlanarak ağırlık değerleri elde edilir. $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgen bulanık sayılarını karşılaştırmak için, $M_2 \geq M_1$ 'nin olabilirlik derecesi,

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min \left(\mu_{M_1(x)}, \mu_{M_2(y)} \right) \right] = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2(d)}$$

$$= \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & d. d. \end{cases} \quad (3.17)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Burada, d, μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası D 'nin ordinatı (düşey eksen)'dir (Şekil 3.4). M_1 ve M_2 'yi karşılaştırmak için, hem $V(M_2 \geq M_1)$ hem de $V(M_1 \geq M_2)$ 'nin hesaplanmasına ihtiyaç vardır.

Adım 3: Konveks bir bulanık sayının k tane bulanık sayı $M_i, (i = 1, 2, \dots, k)$ 'dan daha büyük olabilirliğinin derecesi,

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min V(M \geq M_i), i=1, 2, \dots, k \quad (3.18)$$

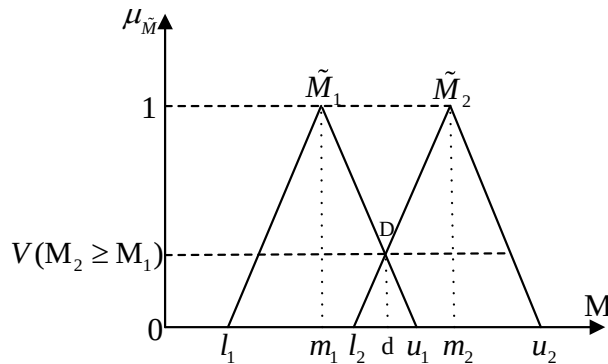
biçimindedir. Bu durumda $S_i, k = 1, 2, \dots, n; i \neq k$ için $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$ varsayımı yapılabilir.

$$w' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir. Burada, $A_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ n tane elemandır.

Adım 4: W değerinin normalizasyonu ile normalize edilmiş ağırlık vektörü

$w = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$ olarak elde edilir. w , bulanık sayı değildir ve $d(A_i) = \frac{d'(A_i)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)}$ biçiminde hesaplanır (Chang, 1996).



Şekil 3.4. $\tilde{M}_1$ ve $\tilde{M}_2$ arasındaki kesişim

3.1.1.2. Buckley (1985)'in geometrik ortalama yöntemi

Buckley (1985) Geometrik Ortalama yönteminde, yamuk üyelik fonksiyonları ile karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini belirlemiş ve yamuk bulanık sayılar kullanarak yeni bir model geliştirmiştir. Modelde, Saaty (1980)'nin önerdiği klasik AHP yönteminin başka bir uzantısı olan a_{ij} bulanık kıyaslama oranları kullanılmıştır. Çeşitli araştırmacılar tarafından üçgen bulanık sayılar kullanılarak da uygulanan Buckley (1985)'in Geometrik Ortalama Yöntemi algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: Bulanık ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{a}_{1j} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{i1} & \cdots & 1 & \cdots & \tilde{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{nj} & \cdots & 1 & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{a}_{1j} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{i1} & \cdots & 1 & \cdots & \tilde{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{n1} & 1/\tilde{a}_{nj} & \cdots & 1 & \end{bmatrix}$$

Burada, $\tilde{a}_{ij} \times \tilde{a}_{ji} \approx 1$ ve $\tilde{a}_{ij} \cong w_i/w_j$ 'dir.

Adım 2: Her bir kriter için; $\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \times \tilde{a}_{i2} \times \dots \times \tilde{a}_{in})^{1/n}$ değerleri bulunur.

Adım 3: Her bir kriterin bulanık ağırlıkları; $\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \times (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1}$

eşitliğinden hesaplanır. Burada; $\tilde{r}_k = (l_k, m_k, u_k)$ olmak üzere $(\tilde{r}_k)^{-1} = (1/u_k, 1/m_k, 1/l_k)$ 'dir ve $\times$ bulanık çarpma işlemini, $+$ ise bulanık toplam işlemini göstermektedir (Buckley, 1985).

3.3.2. TOPSIS yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yöntemi, Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden biridir. TOPSIS yönteminin temel prensibi, pozitif ideal çözüme en yakın uzaklığa ve negatif ideal çözüme en fazla uzaklığa sahip olan alternatifi seçmektir. Bu uzaklıkların

karşılaştırılması ile tercih sıralaması yapılır. TOPSIS yönteminin algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Chen, 2000; Opricovic ve Tzeng, 2004):

Adım 1: Karar matrisi (D) oluşturulur. Karar matrisinin alternatifler, sütunlarında ise değerlendirme kriterleri yer alır. KV tarafından oluşturulan D karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

D karar matrisinde, $A_1, A_2, \dots, A_m$ alternatifleri; $C_1, C_2, \dots, C_n$ kriterleri; $x_{ij} = C_j$ kriterine göre A_i alternatifinin değerlendirmesini ve $w_j = C_j$ kriterinin ağırlığını göstermektedir.

Adım 2: Normalize edilmiş karar matrisi (R) oluşturulur. Karar matrisi D 'nin elemanlarından yararlanarak ve $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{kj}^2}}$ eşitliği kullanılarak

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

biçiminde elde edilir.

Adım 3: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi (V) oluşturulur. Öncelikle kriterlere ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$). Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki eleman, ilgili i .kriterin ağırlığını gösteren w_i değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 4: Pozitif ideal çözüm (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözüm oluşturulur. İdeal çözüm kümesinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme

kriterlerinin yani sütun değerlerinin maksimumları (ilgili değerlendirme kriteri minimizasyon yönlü ise minimumları) seçilir. Pozitif ideal çözüm kümesi,

$$A^* = \{(v_i^{max} | j \in J), (v_i^{min} | j \in J')\} \quad (3.20)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur ve $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ şeklinde gösterilir. Negatif ideal çözüm kümesi ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme kriterlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme kriteri maksimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm kümesi,

$$A^- = \{(v_i^{min} | j \in J'), (v_i^{max} | j \in J)\} \quad (3.21)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur ve $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ şeklinde gösterilir. Pozitif ideal çözüm (Eşitlik 3.20) ve negatif ideal çözümde (Eşitlik 3.21) J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir.

Adım 5: İdeal çözüme olan uzaklıklar hesaplanır. TOPSIS yönteminde her bir alternatife ilişkin değerlendirme kriteri değerinin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme uzaklıklarını bulmak için Öklid uzaklığı kullanılır. Buradan elde edilen alternatiflere ilişkin sapma değerleri, pozitif ideal çözüme uzaklık (d_i^*) ve negatif ideal çözüme uzaklık (d_i^-) olarak adlandırılmaktadır. Pozitif ideal çözüme uzaklık (d_i^*) değeri,

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.22)$$

Negatif ideal çözüme uzaklık (d_i^-) değeri,

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.23)$$

eşitliklerinden hesaplanır. d_i^* ve d_i^- sayısı, alternatiflerin sayısı kadardır.

Adım 6: İdeal çözüme göreli yakınlık hesaplanır. Her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı (CC_i) hesaplanırken pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüme uzaklık ölçülerinden yararlanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal çözüme uzaklık ölçüsünün (d_i^-) toplam uzaklık ölçüsü ($d_i^- + d_i^*$) içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değeri,

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (3.24)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada CC_i değeri $0 \leq CC_i \leq 1$ aralığında değer alır ve $CC_i = 1$ ise ilgili alternatifin pozitif ideal çözüme, $CC_i = 0$ ise ilgili alternatifin negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir (Paksoy ve ark., 2013).

4. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLER

Bu bölümde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ) ağ tasarımı için üç farklı model geliştirilmiştir. İlk modelde, ortak tedarikçiler ve ortak toplama merkezlerinden oluşan müttefik bir KDTZ modeli oluşturulmuştur. İkinci modelde, çevreye duyarlı bir model oluşturabilmek için CO_2 salınımı maliyeti de içeren yeni bir model getirilmiştir. Üçüncü model de ilk model çok KV'li olarak esnek bir yapıya ulaştırılmıştır. Tasarlanan KDTZ ağ tasarımlarında her bir kaynağın üstlendiği görev kendi içlerinde farklı olsalar bile, tasarımda ortak kaynaklar olması nedeniyle benzer görev üstlenen kaynaklar da mevcuttur. Bu nedenle oluşturulan modeller klasik KDTZ tasarımlarından ayrılmaktadırlar.

4.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı İçin Ortak Kaynaklar İle Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli - Model 1

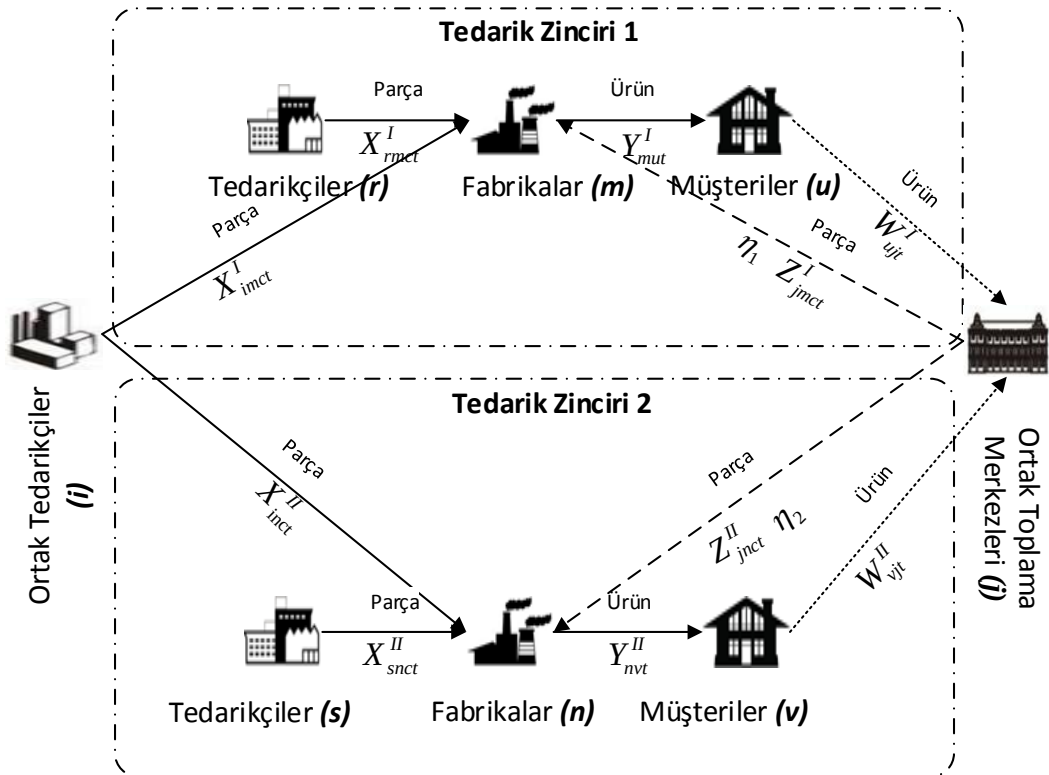
Geliştirilen KDTZ ağ tasarımında iki farklı ürün üreten iki farklı tedarik zinciri ele alınmıştır. Akış tedarikçilerden belirli oranlarda ton cinsi üzerinden parça satın alınması ile başlanmakta ve satın alınan parçalar montajlanmak için fabrikalara gönderilmektedir. Klasik KDTZ tasarımlarından farklı olarak fabrikalara ürünleri oluşturmak için gerekli olan parçaları kendisine ait tedarikçilerden veya ortak tedarikçilerden satın alabilmektedir. Tedarikçilerden alınan bu parçaların etkin kullanımıyla nihai ürünler fabrikalar tarafından elde edilmektedir. Daha sonra nihai ürünler müşterilere ulaşmakta ve ağıdaki ileri akış sona ermektedir. Ürünlerin ömrünün sona ermesi, çeşitli teknik problemler ve kazalar sonucunda müşterilerden kullanılmış ürün toplanması ile geri akış başlamaktadır. Müşterilere gönderilen ürünlerin bir dönem kullanıldıktan sonra toplama merkezlerine iletildiği varsayılmıştır. Geliştirilen modele göre müşterilerden TZ1 için W_{ujt}^I miktarında, TZ2 için ise W_{vjt}^{II} miktarında ürün geri toplandığı varsayılmıştır. Ortak toplama merkezinde demonte edilen ürünlerden çıkan parçalar bir sonraki dönemde kullanılması için fabrikalara gönderilmekte ve böylelikle fabrikalar için kendi tedarikçileri, ortak tedarikçiler, ortak toplama merkezlerinden gelen çıkma parçalar ve stokta tutulan parçalar olmak üzere dört farklı parça kaynağı bulunmaktadır. TZ1 için η_1 oranında, TZ2 için ise η_2 oranında ürün yeniden üretim için fabrikalara iletilmektedir. Dönemden döneme müşteri taleplerindeki değişimlere cevap

verebilmek amacıyla, fabrikalara gelen parçaların bazıları elde kalmakta bazıları da müşteri taleplerini karşılayamamaktadır. Eğer fabrikalara gelen parçalar o dönem için müşteri taleplerinden fazla ise, fazlalık aynı dönemde stok olarak kalmakta ve fabrikalar stokta parça tutma maliyeti ile karşı karşıya kalmaktadır.

KV yukarıdaki bilgiler ışığında toplam taşıma, satın alma, tesis açma ve stok maliyetlerini en küçüklenmek istemektedir. Problem ile ilgili diğer varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ Müşteri talepleri her bir dönem için kesin olup, tümüyle karşılanmaktadır.
- ✓ İleri ve tersine ağdaki tüm tesislerin kapasiteleri sabit ve kesindir.
- ✓ Tüm fiyat parametreleri ve tesis açma maliyetleri sabit ve kesindir.
- ✓ Bütün tesisler arasında ürünü taşıma zamanının homojen olduğu dikkate alınmıştır.
- ✓ Ürün ve parçalar ton üzerinden işlenmektedir.
- ✓ Tedarikçiler, fabrikalara ve toplama merkezleri farklı KV'lerdir.
- ✓ Demonte edilen ürünlerden atık çıkmadığı varsayılmıştır.

Şekil 4.1'de verilen ortak KDTZ ağ tasarımı modelinde tedarikçiler ve toplama merkezlerinin iki gruba ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Model 1'e ait KDTZ yapısı

Yukarıdaki bilgiler ışığında geliştirilen karma tamsayılı matematiksel modele ait formülasyon aşağıda verilmiştir

İndisler

i	Ortak tedarikçiler kümesi	$i = \{1, 2 \dots I\},$
r	TZ1 için tedarikçiler kümesi	$r = \{1, 2 \dots R,$
s	TZ2 için tedarikçiler kümesi	$s = \{1, 2 \dots S\},$
m	TZ1 için fabrikalar kümesi	$m = \{1, 2 \dots M\},$
n	TZ2 için fabrikalar kümesi	$n = \{1, 2 \dots N\},$
u	TZ1 için müşteriler kümesi	$u = \{1, 2 \dots U\},$
v	TZ2 için müşteriler kümesi	$v = \{1, 2 \dots V\},$
j	Ortak toplama merkezleri kümesi	$j = \{1, 2 \dots J\},$
t	Periyot kümesi	$t = \{1, 2 \dots T\},$
c	Parçalar kümesi	$c = \{1, 2 \dots C\};$

Parametreler

d_{rm}	TZ1 için r tedarikçisi ile m fabrikası arasındaki uzaklık (km),
d_{sn}	TZ2 için s tedarikçisi ile n fabrikası arasındaki uzaklık (km),
d_{im}	TZ1 için i ortak tedarikçisi ile m fabrikası arasındaki uzaklık (km),
d_{in}	TZ2 için i ortak tedarikçisi ile n fabrikası arasındaki uzaklık (km),
d_{mu}	TZ1 için m fabrikası ile u müşterisi arasındaki uzaklık (km),
d_{nv}	TZ2 için n fabrikası ile v müşterisi arasındaki uzaklık (km),
d_{uj}	TZ1 için u müşterisi ile j ortak toplama merkezi arasındaki uzaklık (km),
d_{vj}	TZ2 için v müşterisi ile j ortak toplama merkezi arasındaki uzaklık (km),
d_{jm}	TZ1 için j ortak toplama merkezi ile m fabrikası arasındaki uzaklık (km),
d_{jn}	TZ2 için j ortak toplama merkezi ile n fabrikası arasındaki uzaklık (km),
a_{rct}^I	TZ1 için t döneminde r tedarikçisinin parça c kapasitesi (ton),
a_{sct}^{II}	TZ2 için t döneminde s tedarikçisinin parça c kapasitesi (ton),
a_{ict}	t döneminde i ortak tedarikçisinin parça c kapasitesi (ton),
b_{mct}^I	TZ1 için t döneminde m fabrikasının parça c kapasitesi (ton),
b_{nct}^{II}	TZ2 için t döneminde n fabrikasının parça c kapasitesi (ton),

ca_{jt}	t döneminde j ortak toplama merkezinin kapasitesi (ton),
de_{ut}^I	TZ1 için t döneminde u müşterisinin talebi (ton),
de_{vt}^{II}	TZ2 için t döneminde v müşterisinin talebi (ton),
α_{mt}^I	TZ1 için fabrika m 'nin dönem t 'deki sabit işletme maliyeti (\$),
α_{nt}^{II}	TZ2 için fabrika n 'nin dönem t 'deki sabit işletme maliyeti (\$),
α_{jt}	Ortak toplama merkezi j 'nin dönem t 'deki sabit işletme maliyeti (\$),
p_{rc}	TZ1 için r tedarikçisinden parça c 'yi satın alma maliyeti (\$/ton),
p_{sc}	TZ2 için s tedarikçisinden parça c 'yi satın alma maliyeti (\$/ton),
p_{ic}	i ortak tedarikçisinden parça c 'nin satın alma maliyeti/satış fiyatı (Sıfır parça) (\$/ton),
e_{jc}	Ortak toplama merkezi j 'den parça c 'nin satın alma maliyeti/ satış fiyatı (Çıkma parça) (\$/ton),
hcp_{mct}^I	TZ1 için t döneminde m fabrikasında parça c 'yi stokta tutma maliyeti (\$/ton),
hcp_{nct}^{II}	TZ2 için t döneminde n fabrikasında parça c 'yi stokta tutma maliyeti (\$/ton),
r_c	Bir ürün içindeki parça c 'nin ağırlık oranı (ton),
η_1	TZ1 için ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen ürün yüzdesi,
η_2	TZ2 için ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen ürün yüzdesi,
λ_1	TZ1 için stokta tutulacak ürün yüzdesi,
λ_2	TZ2 için stokta tutulacak ürün yüzdesi,
utc	km başına taşıma maliyeti ((\$/ton).km);

Karar Değişkenleri

X_{rmct}^I	TZ1 için t döneminde r tedarikçisinden m fabrikasına taşınan parça c miktarı (ton),
X_{snct}^{II}	TZ2 için t döneminde s tedarikçisinden n fabrikasına taşınan parça c miktarı (ton),
X_{imct}^I	TZ1 için t döneminde i ortak tedarikçisinden m fabrikasına taşınan parça c miktarı (ton),
X_{inct}^{II}	TZ2 için t döneminde i ortak tedarikçisinden n fabrikasına taşınan parça c miktarı (ton),
Y_{mut}^I	TZ1 için t döneminde m fabrikasından u müşterisine taşınan ürün miktarı (ton),
Y_{nvt}^{II}	TZ2 için t döneminde n fabrikasından v müşterisine taşınan ürün miktarı (ton),

- W_{ujt}^I TZ1 için t döneminde u müşterisinden j ortak toplama merkezine taşınan ürün miktarı (ton),
- W_{vjt}^{II} TZ2 için t döneminde v müşterisinden j ortak toplama merkezine taşınan ürün miktarı (ton),
- Z_{jmct}^I TZ1 için t döneminde j ortak toplama merkezinden m fabrikasına taşınan parça c miktarı (ton),
- Z_{jnct}^{II} TZ2 için t döneminde j ortak toplama merkezinden n fabrikasına taşınan parça c miktarı (ton),
- $Cinv_{mct}^I$ TZ1 için t döneminde m fabrikasında stokta tutulan parça c miktarı (ton),
- $Cinv_{nct}^{II}$ TZ2 için t döneminde n fabrikasında stokta tutulan parça c miktarı (ton),
- Q_{mt}^I TZ1 için eğer fabrika m dönem t de açılırsa 1, aksi halde 0,
- Q_{nt}^{II} TZ2 için eğer fabrika n dönem t de açılırsa 1, aksi halde 0,
- QC_{jt} Eğer ortak toplama merkezi j dönem t de açılırsa 1, aksi halde 0

Tedarik zinciri 1 (Fabrikalar)→Karar verici 1(KV1)

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & utc \cdot \left(\sum_{r \in R} \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{rmct}^I \cdot d_{rm} + \sum_{m \in M} \sum_{u \in U} \sum_{t \in T} Y_{mut}^I \cdot d_{mu} + \right. \\ & \left. \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Z_{jmct}^I \cdot d_{jm} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{imct}^I \cdot d_{im} \right) + \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} & \left[\left(\sum_{r \in R} \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{rmct}^I \cdot p_{rc} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{imct}^I \cdot p_{ic} \right) + \right. \\ & \left. \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Z_{jmct}^I \cdot e_{jc} \right] + \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{t \in T} Q_{mt}^I \cdot \alpha_{mt}^I + \quad (4.3)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Cinv_{mct}^I \cdot hcp_{mct}^I \quad (4.4)$$

Tedarik zinciri 2 (Fabrikalar)→Karar verici 2 (KV2)

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_2 = & utc \cdot \left(\sum_{s \in S} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{snct}^{II} \cdot d_{sn} + \sum_{n \in N} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} Y_{nvt}^{II} \cdot d_{nv} + \right. \\ & \left. \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Z_{jnct}^{II} \cdot d_{jn} + \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{inct}^{II} \cdot d_{in} \right) + \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} & \left[\left(\sum_{s \in S} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{snct}^{II} \cdot p_{sc} + \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{inct}^{II} \cdot p_{ic} \right) + \right. \\ & \left. \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Z_{jnct}^{II} \cdot e_{jc} \right] \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{t \in T} Q_{nt}^{II} \cdot \alpha_{nt}^{II} + \quad (4.7)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Cinv_{nct}^{II} \cdot hcp_{nct}^{II} \quad (4.8)$$

Ortak tedarikçiler→Karar verici 3 (KV3)

$$\text{Max } Z_3 = (\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{imct}^I \cdot p_{ic} + \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{inct}^{II} \cdot p_{ic}) \quad (4.9)$$

Ortak toplama merkezleri→Karar verici 4 (KV4)

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_4 = & (\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Z_{jmct}^I \cdot e_{jc} + \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} Z_{jnct}^{II} \cdot e_{jc}) - \text{utc} \cdot \\ & (\sum_{u \in U} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} W_{ujt}^I \cdot d_{uj} + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} W_{vjt}^{II} \cdot d_{vj}) - \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} QC_{jt} \cdot \alpha_{jt} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Kısıtlar

$$\sum_{m \in M} X_{rmct}^I \leq a_{rct}^I \quad \forall r \in R, c \in C, t \in T \quad (4.11)$$

$$\sum_{n \in N} X_{snct}^{II} \leq a_{sct}^{II} \quad \forall s \in S, c \in C, t \in T \quad (4.12)$$

$$\sum_{m \in M} X_{imct}^I + \sum_{n \in N} X_{inct}^{II} \leq a_{ict} \quad \forall i \in I, c \in C, t \in T \quad (4.13)$$

$$r_c \sum_{u \in U} Y_{mut}^I \leq b_{mct}^I Q_{mt}^I \quad \forall m \in M, c \in C, t \in T \quad (4.14)$$

$$r_c \sum_{v \in V} Y_{nvt}^{II} \leq b_{nct}^{II} Q_{nt}^{II} \quad \forall n \in N, c \in C, t \in T \quad (4.15)$$

$$\sum_{m \in M} Y_{mut}^I \geq de_{ut}^I \quad \forall u \in U, t \in T \quad (4.16)$$

$$\sum_{n \in N} Y_{nvt}^{II} \geq de_{vt}^{II} \quad \forall v \in V, t \in T \quad (4.17)$$

$$\sum_{u \in U} W_{ujt}^I + \sum_{v \in V} W_{vjt}^{II} \leq ca_{jt} QC_{jt} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (4.18)$$

$$\sum_{m \in M} Y_{mut}^I - \sum_{j \in J} W_{uj(t+1)}^I = 0 \quad \forall u \in U, t \in T \quad (4.19)$$

$$\sum_{n \in N} Y_{nvt}^{II} - \sum_{j \in J} W_{vj(t+1)}^{II} = 0 \quad \forall v \in V, t \in T \quad (4.20)$$

$$r_c (\eta_1 \sum_{u \in U} W_{ujt}^I) - \sum_{m \in M} Z_{jmct}^I = 0 \quad \forall j \in J, c \in C, t \in T \quad (4.21)$$

$$r_c (\eta_2 \sum_{v \in V} W_{vjt}^{II}) - \sum_{n \in N} Z_{jnct}^{II} = 0 \quad \forall j \in J, c \in C, t \in T \quad (4.22)$$

$$\begin{aligned} \text{Cinv}_{mc(t-1)}^I + \sum_{i \in I} X_{imct}^I + \sum_{r \in R} X_{rmct}^I + \sum_{j \in J} Z_{jmct}^I - r_c (\sum_{u \in U} Y_{mut}^I) = \text{Cinv}_{mct}^I \\ \forall m \in M, c \in C, t \in T \end{aligned} \quad (4.23)$$

$$\begin{aligned} \text{Cinv}_{nc(t-1)}^{II} + \sum_{i \in I} X_{inct}^{II} + \sum_{s \in S} X_{snct}^{II} + \sum_{j \in J} Z_{jnct}^{II} - r_c (\sum_{v \in V} Y_{nvt}^{II}) = \text{Cinv}_{nct}^{II} \\ \forall n \in N, c \in C, t \in T \end{aligned} \quad (4.24)$$

$$\text{Cinv}_{mct}^I \geq \sum_{u \in U} de_{ut}^I \cdot \lambda_1 \quad \forall m \in M, c \in C, t \in T \quad (4.25)$$

$$\text{Cinv}_{nct}^{II} \geq \sum_{v \in V} de_{vt}^{II} \cdot \lambda_2 \quad \forall n \in N, c \in C, t \in T \quad (4.26)$$

$$\text{Cinv}_{mct}^I \leq b_{mct}^I \quad \forall m \in M, c \in C, t \in T \quad (4.27)$$

$$\text{Cinv}_{nct}^{II} \leq b_{nct}^{II} \quad \forall n \in N, c \in C, t \in T \quad (4.28)$$

$$X_{rmct}^I \geq 0 \quad \forall r \in R, m \in M, c \in C, t \in T \quad (4.29)$$

$$X_{snct}^{II} \geq 0 \quad \forall s \in S, n \in N, c \in C, t \in T \quad (4.30)$$

$$X_{imct}^I \geq 0 \quad \forall i \in I, m \in M, c \in C, t \in T \quad (4.31)$$

$$X_{inct}^{II} \geq 0 \quad \forall i \in I, n \in N, c \in C, t \in T \quad (4.32)$$

$$Y_{mut}^I \geq 0 \quad \forall m \in M, u \in U, t \in T \quad (4.33)$$

$$Y_{nvt}^{II} \geq 0 \quad \forall n \in N, v \in V, t \in T \quad (4.34)$$

$$W_{ujt}^I \geq 0 \quad \forall u \in U, j \in J, t \in T \quad (4.35)$$

$$W_{vjt}^{II} \geq 0 \quad \forall v \in V, j \in J, t \in T \quad (4.36)$$

$$Z_{jmct}^I \geq 0 \quad \forall j \in J, m \in M, c \in C, t \in T \quad (4.37)$$

$$Z_{jnct}^{II} \geq 0 \quad \forall j \in J, n \in N, c \in C, t \in T \quad (4.38)$$

$$Cinv_{mct}^I \geq 0 \quad \forall m \in M, c \in C, t \in T \quad (4.39)$$

$$Cinv_{nct}^{II} \geq 0 \quad \forall n \in N, c \in C, t \in T \quad (4.40)$$

$$Q_{mt}^I = \{0,1\} \quad \forall m \in M, t \in T \quad (4.41)$$

$$Q_{nt}^{II} = \{0,1\} \quad \forall n \in N, t \in T \quad (4.42)$$

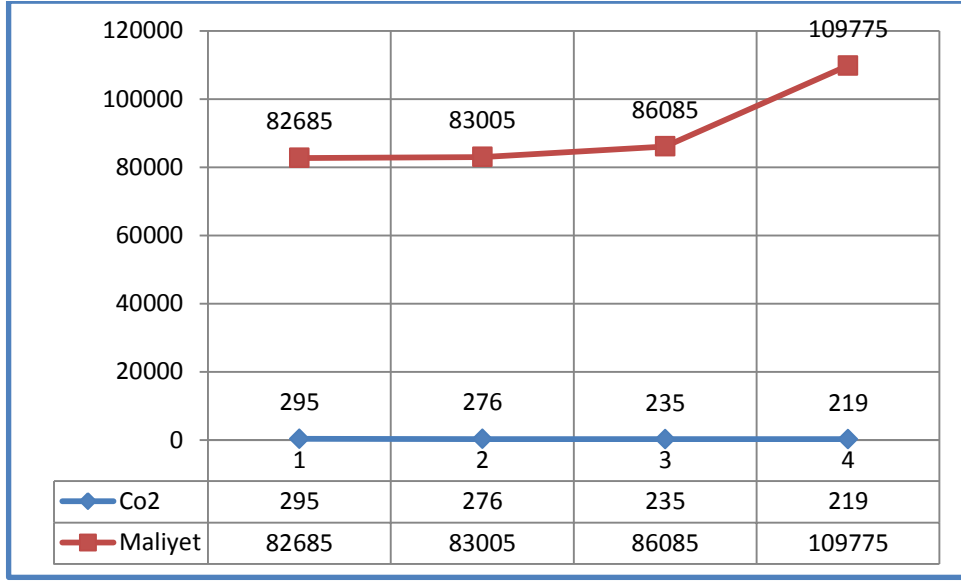
$$QC_{jt} = \{0,1\} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (4.43)$$

Ele alınan Model 1’de 4 farklı KV olduğu varsayılmıştır. TZ1’deki fabrikalar, TZ2’deki fabrikalar, ortak tedarikçiler ve ortak toplama merkezleri ayrı ayrı KV olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle KV’lere göre amaç fonksiyonları farklılık göstermektedir. KV1 için amaç fonksiyonu dört kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım (4.1) taşıma maliyetlerini, ikinci kısım (4.2) satın alma maliyetlerini, üçüncü kısım (4.3) sabit işletme maliyetlerini ve dördüncü kısım (4.4) ise stok maliyetlerini minimize etmektedir. KV2 için de benzer amaçlar geçerlidir ve amaç fonksiyonu yine dört parçadan oluşmaktadır. KV3 toplam parça satışından elde edeceği karı maksimize etmek istemektedir. KV4 için amaç fonksiyonu, üç farklı kısımdan oluşmaktadır ve KV4 karını maksimize etmek istemektedir. Kısıt (4.11) TZ1 için kendi tedarikçilerinden fabrikalara taşınan parça miktarının ilgili tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağını; Kısıt (4.12) KV2 için kendi tedarikçilerinden fabrikalara taşınan parça miktarının ilgili tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağını; Kısıt (4.13) ortak tedarikçilerden fabrikalara taşınan parça miktarının ortak tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağını ifade etmektedir. Kısıt (4.14) TZ1’de fabrikalardan müşterilere taşınan ürün miktarının ilgili fabrikanın kapasitesinden fazla olamayacağını; Kısıt (4.15) TZ2’de fabrikalardan müşterilere taşınan ürün miktarının ilgili fabrikanın kapasitesinden fazla olamayacağını ifade eden kapasite kısıtlarıdır. Kısıt (4.16) TZ1’de

müşterilerin ürüne olan taleplerini; Kısıt (4.17) TZ2’de müşterilerin ürüne olan taleplerini gösteren talep kısıtlarıdır. Kısıt (4.18), hem TZ1’den hem de TZ2’den ortak toplama merkezine taşınan ürünlerin ortak toplama merkezinin kapasitesinden fazla olamayacağını ifade etmektedir. Kısıt (4.19) ile (4.20) sırasıyla TZ1 ve TZ2’de geri dönen ürünler için denge kısıtlarıdır. Kısıt (4.21) ile (4.22) ortak toplama merkezlerinden fabrikalara belli oranlarda kullanılmış ürünün geri dönmesini sağlayan denge kısıtlarıdır. Kısıt (4.23) ile (4.24) TZ1 ve TZ2’de stokta tutulan parça miktarlarını hesaplamaktadır. Stokta belirli miktarlarda parça tutulmasını sağlamak için (4.25) ve (4.26) kısıtları (emniyet kısıtları) modelde yer almaktadır. Kısıt (4.27) ile (4.28) TZ1 ve TZ2’de stokta tutulan parça miktarının ilgili fabrikanın kapasitesini aşamayacağını ifade etmektedir. (4.29) - (4.43) ile verilen kısıtlar ise karar değişkenlerine ilişkin işaret kısıtlarını göstermektedir.

4.2. Çevreye Duyarlı Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı için Ortak Kaynaklar ile Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli - Model 2

Bu bölümde, Model 1’de ele alınan ortak kaynaklar içeren KDTZ ağ tasarımı modeli çevreye duyarlı bir model oluşturmak amacıyla farklı amaçlar altında ele alınmıştır. Ağdaki akış tedarikçilerden belirli oranlarda ton cinsi üzerinden parça satın alınması ile başlanmakta ve satın alınan parçalar montajlanmak için fabrikalara gönderilmektedir. Fabrikalarda montajlanarak nihai ürünlere dönüştürülen parçalar farklı taşıtlar ile müşterilere gönderilmektedir. Taşıtların her biri farklı miktarlarda CO_2 salınımı yapan farklı motorlara sahiptir. Bu farklılık nedeniyle taşıtların ulaştırma süreleri de birbirinden farklıdır. Taşıtların maliyeti ile CO_2 salınımları ters orantılıdır. Şekil 4.2’de taşıtlara ilişkin CO_2 salınım ve maliyet ilişkisi aşağıdaki şekilde görülmektedir. Dolayısıyla KV’ler taşıma maliyelerinin minimize edilmesi yanında CO_2 salınımının da minimize edilmesi ile karşı karşıyadır. Taşıtlar bir lojistik firması tarafından temin edilmekte, her bir taşıtın taşıma maliyeti farklılık göstermekte ve taşıtların kapasitelerinin sınırsız olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, KV’ler tercih ettiği taşıt seçeneğinin karşısında en kısa sürede taşıma yapabileceği alternatifi seçmemesinin oluşturduğu fırsat maliyeti arasında bir ödünleşmeye gitmek durumundadır. Müşterilerden belli oranlarda ürün kullanıldıktan sonra toplanmakta ve bir sonraki dönemde kullanılmak üzere fabrikalara yollanmaktadır. Model ile ilgili diğer bilgiler ilk modelde olduğu gibi ele alınmıştır.

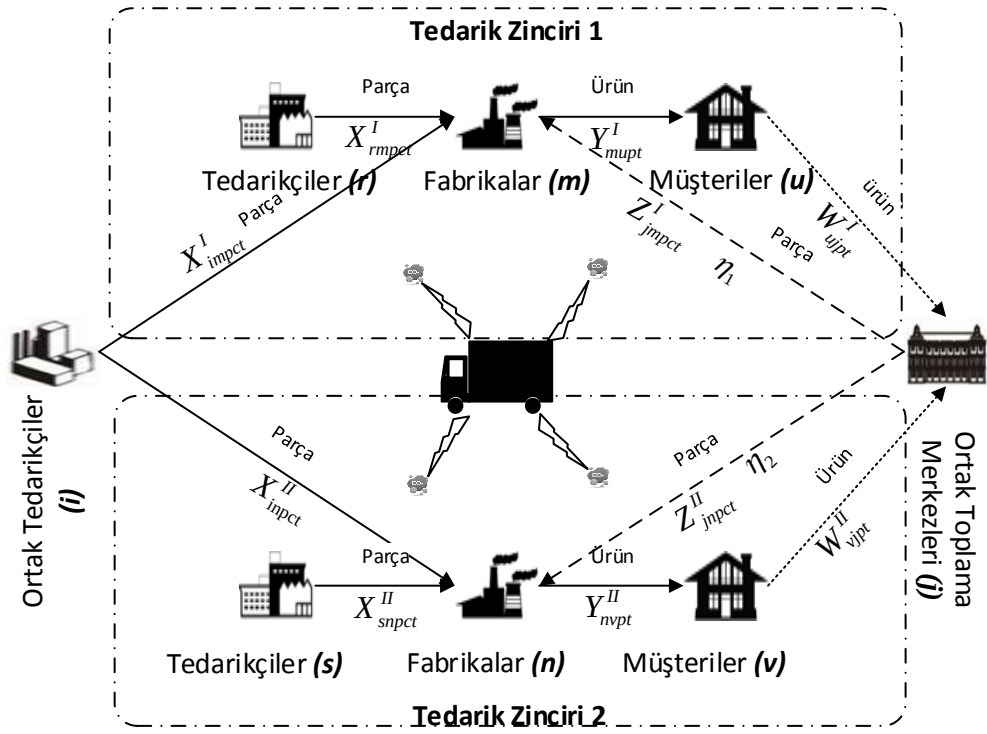


Şekil 4.2. CO₂-maliyet ilişkisi

Geliştirilen KDTZ ağ tasarımında iki farklı ürün üreten iki farklı tedarik zinciri ele alınmıştır. Akış tedarikçilerden belirli oranlarda ton cinsi üzerinden parça satın alınması ile başlanmakta ve satın alınan parçalar montajlanmak için fabrikalara gönderilmektedir. KDTZ tasarımlarından farklı olarak fabrikalar ürünleri oluşturmak için gerekli olan parçaları kendisine ait tedarikçilerden veya ortak tedarikçilerden satın alabilmektedir.

KV yukarıdaki bilgiler ışığında, toplam taşıma seçeneklerinden kaynaklı fırsat, taşıma, satın alma, tesis açma, stok ve CO₂ salınımı maliyetlerini en küçüklenmek istemektedir. Problem ile ilgili diğer varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ Müşteri talepleri her bir dönem için kesin olup, tümüyle karşılanmaktadır.
- ✓ İleri ve tersine ağdaki tüm tesislerin kapasiteleri sabit ve kesindir.
- ✓ Tüm fiyat parametreleri ve tesis açma maliyetleri sabit ve kesindir.
- ✓ Ürün ve parçalar ton üzerinden işlenmektedir.
- ✓ Yeniden üretilen parçalar/ürünler ile yeni ürünler arasında bir fark yoktur.
- ✓ Tedarikçiler, fabrikalar ve toplama merkezleri farklı KV'lerdir.



Şekil 4.3. Model 2'e ait KDTZ yapısı

Yukarıdaki bilgiler ışığında geliştirilen karma tam sayılı matematiksel modele ilişkin formülasyon aşağıda verilmiştir.

İndisler

i	Ortak tedarikçiler kümesi,
r	TZ1 için tedarikçiler kümesi,
s	TZ2 için tedarikçiler kümesi,
m	TZ1 için fabrikalar kümesi,
n	TZ2 için fabrikalar kümesi,
u	TZ1 için müşteriler kümesi,
v	TZ2 için müşteriler kümesi,
j	Ortak toplama merkezleri kümesi,
c	Parçalar kümesi,
p	Taşıma seçenekleri kümesi,
t	Periyot kümesi;

Parametreler

- CO_2^p p 'nci taşıttan açığa çıkan CO_2 miktarı (gr/km),
- C_{CO_2} CO_2 birim salınım maliyeti (\$/gr),
- L_{rmpct}^I TZ1 için t döneminde r tedarikçisinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile c parçası gönderildiği takdirde oluşabilecek fırsat kaybı değeri (saat),
- L_{snpct}^{II} TZ2 için t döneminde s tedarikçisinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile c parçası gönderildiği takdirde oluşabilecek fırsat kaybı değeri (saat),
- LO_{impct}^I TZ1 için t döneminde i ortak tedarikçisinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile c parçası gönderildiği takdirde oluşabilecek fırsat kaybı değeri (saat),
- LO_{inpct}^{II} TZ2 için t döneminde i ortak tedarikçisinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile c parçası gönderildiği takdirde oluşabilecek fırsat kaybı değeri (saat),
- π Tedarikçilerden fabrikalara parça gönderilirken meydana gelen gecikmelerin birim fırsat maliyeti (\$/ton.saate),
- Δ_{rmpct}^I TZ1 için t döneminde r tedarikçisinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile parça c 'yi ulaştırma süresi (saat),
- Δ_{snpct}^{II} TZ2 için t döneminde s tedarikçisinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile parça c 'yi ulaştırma süresi (saat),
- Δ_{impct}^I TZ1 için t döneminde i ortak tedarikçisinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile parça c 'yi ulaştırma süresi (saat),
- Δ_{inpct}^{II} TZ2 için t döneminde i ortak tedarikçisinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile parça c 'yi ulaştırma süresi (saat),
- $L_{rmpct}^I = \Delta_{rmpct}^I - \min(\Delta_{rmpct}^I),$
- $L_{snpct}^{II} = \Delta_{snpct}^{II} - \min(\Delta_{snpct}^{II}),$
- $LO_{impct}^I = \Delta_{impct}^I - \min(\Delta_{impct}^I),$
- $LO_{inpct}^{II} = \Delta_{inpct}^{II} - \min(\Delta_{inpct}^{II}),$
- d_{rm} TZ1 için r tedarikçisi ile m fabrikası arasındaki uzaklık (km),
- d_{sn} TZ2 için s tedarikçisi ile n fabrikası arasındaki uzaklık (km),
- d_{im} TZ1 için i ortak tedarikçisi ile m fabrikası arasındaki uzaklık (km),
- d_{in} TZ2 için i ortak tedarikçisi ile n fabrikası arasındaki uzaklık (km),
- d_{mu} TZ1 için m fabrikası ile u müşterisi arasındaki uzaklık (km),
- d_{nv} TZ2 için n fabrikası ile v müşterisi arasındaki uzaklık (km),

d_{uj}	TZ1 için u müşterisi ile j ortak toplama merkezi arasındaki uzaklık (km),
d_{vj}	TZ2 için v müşterisi ile j ortak toplama merkezi arasındaki uzaklık (km),
d_{jm}	TZ1 için j ortak toplama merkezi ile m fabrikası arasındaki uzaklık (km),
d_{jn}	TZ2 için j ortak toplama merkezi ile n fabrikası arasındaki uzaklık (km),
a_{rct}^I	TZ1 için t döneminde r tedarikçisinin parça c kapasitesi (ton),
a_{sct}^{II}	TZ2 için t döneminde s tedarikçisinin parça c kapasitesi (ton),
a_{ict}	t döneminde i ortak tedarikçisinin parça c kapasitesi (ton),
b_{mct}^I	TZ1 için t döneminde m fabrikasının parça c kapasitesi (ton),
b_{nct}^{II}	TZ2 için t döneminde n fabrikasının parça c kapasitesi (ton),
ca_{jt}	t döneminde j ortak toplama merkezinin kapasitesi (ton),
de_{ut}^I	TZ1 için t döneminde u müşterisinin talebi (ton),
de_{vt}^{II}	TZ2 için t döneminde v müşterisinin talebi (ton),
p_{rc}	TZ1 için r tedarikçisinden parça c 'yi satın alma maliyeti (\$/ton),
p_{sc}	TZ2 için s tedarikçisinden parça c 'yi satın alma maliyeti (\$/ton),
p_{ic}	i ortak tedarikçisinde parça c 'nin satın alma maliyeti/satış fiyatı (Sıfır parça) (\$/ton),
e_{jc}	Ortak toplama merkezi için j toplama merkezindeki parça c 'nin satın alma maliyeti/ satış fiyatı (Çıkma parça) (\$/ton),
hcp_{mct}^I	TZ1 için t döneminde m fabrikasında parça c 'yi stokta tutma maliyeti (\$/ton),
hcp_{nct}^{II}	TZ2 için t döneminde n fabrikasında parça c 'yi stokta tutma maliyeti (\$/ton),
α_{mt}^I	TZ1 için fabrika m 'nin dönem t 'deki sabit işletme maliyeti (\$),
α_{nt}^{II}	TZ2 için fabrika n 'nin dönem t 'deki sabit işletme maliyeti (\$),
α_{jt}	Ortak toplama merkezi j 'nin dönem t 'deki sabit işletme maliyeti (\$),
r_c	Bir ürün içindeki parça c 'nin ağırlık oranı,
η_1	TZ1 için ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen ürün yüzdesi,
η_2	TZ2 için ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen ürün yüzdesi,
λ_1	TZ1 için stokta tutulacak ürün yüzdesi,
λ_2	TZ2 için stokta tutulacak ürün yüzdesi,
$Nopat$	Vergiden sonra kalan net karın yüzdesi,
utc_p	p 'nci taşıt için km başına taşıma maliyeti (\$/ton.km);

Karar Değişkenleri

X_{rmpct}^I TZ1 için t döneminde r tedarikçisinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile taşınan parça c miktarı (ton),

X_{snpct}^{II} TZ2 için t döneminde s tedarikçisinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile taşınan parça c miktarı (ton),

X_{impct}^I TZ1 için t döneminde i ortak tedarikçisinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile taşınan parça c miktarı (ton),

X_{inpct}^{II} TZ2 için t döneminde i ortak tedarikçisinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile taşınan parça c miktarı (ton),

Y_{mupt}^I TZ1 için t döneminde m fabrikasından u müşterisine p 'nci taşıt ile taşınan ürün miktarı (ton),

Y_{nvpt}^{II} TZ2 için t döneminde n fabrikasından v müşterisine p 'nci taşıt ile taşınan ürün miktarı (ton),

W_{ujpt}^I TZ1 için t döneminde u müşterisinden j ortak toplama merkezine p 'nci taşıt ile taşınan ürün miktarı (ton),

W_{vjpt}^{II} TZ2 için t döneminde v müşterisinden j ortak toplama merkezine p 'nci taşıt ile taşınan ürün miktarı (ton),

Z_{jmpct}^I TZ1 için t döneminde j ortak toplama merkezinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile taşınan parça c miktarı (ton),

Z_{jnpct}^{II} TZ2 için t döneminde j ortak toplama merkezinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile taşınan parça c miktarı (ton),

E_{rmpct}^I TZ1 için t döneminde r tedarikçisinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile taşınan c 'nci parça taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,

E_{snpct}^{II} TZ2 için t döneminde s tedarikçisinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile c 'nci parça taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,

K_{impct}^I TZ1 için t döneminde i ortak tedarikçisinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile c 'nci parça taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,

K_{inpct}^{II} TZ2 için t döneminde i ortak tedarikçisinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile c 'nci parça taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,

F_{mupt}^I TZ1 için t döneminde m fabrikasından u müşterisine p 'nci taşıt ile ürün taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,

- F_{nvpt}^{II} TZ2 için t döneminde n fabrikasından v müşterisine p 'nci taşıt ile ürün taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,
- G_{ujpt}^I TZ1 için t döneminde u müşterisinden j ortak toplama merkezine p 'nci taşıt ile ürün taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,
- G_{vjpt}^{II} TZ2 için t döneminde v müşterisinden j ortak toplama merkezine p 'nci taşıt ile ürün taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,
- H_{jmpct}^I TZ1 için t döneminde j ortak toplama merkezinden m fabrikasına p 'nci taşıt ile c 'nci parça taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,
- H_{jnpt}^{II} TZ2 için t döneminde j ortak toplama merkezinden n fabrikasına p 'nci taşıt ile c 'nci parça taşınması gerçekleşirse 1; aksi halde 0,
- Q_{mt}^I TZ1 için eğer fabrika m dönem t de açılırsa 1, aksi halde 0,
- Q_{nt}^{II} TZ2 için eğer fabrika n dönem t de açılırsa 1, aksi halde 0,
- QC_{jt} Eğer ortak toplama merkezi j dönem t de açılırsa 1, aksi halde 0,
- $Cinv_{mct}^I$ TZ1 için t döneminde m fabrikasında stokta tutulan parça c miktarı (ton),
- $Cinv_{nct}^{II}$ TZ2 için t döneminde n fabrikasında stokta tutulan parça c miktarı (ton).

Tedarik Zinciri 1 (Fabrikalar) $\rightarrow$ Karar Verici 1 (KV1)

$Min Z_1 =$

$$\{\sum_p utc_p \cdot [\sum_r \sum_m \sum_c \sum_t X_{rmpct}^I \cdot d_{rm} + \sum_i \sum_m \sum_c \sum_t X_{impct}^I \cdot d_{im} + \sum_m \sum_u \sum_t Y_{mupt}^I \cdot d_{mu} + \sum_j \sum_m \sum_c \sum_t Z_{jmpct}^I \cdot d_{jm}]\} + \quad (4.44)$$

$$C_{CO_2} \cdot [\sum_r \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t CO_2^p \cdot d_{rm} \cdot E_{rmpct}^I + \sum_i \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t CO_2^p \cdot d_{im} \cdot K_{impct}^I + \sum_m \sum_u \sum_p \sum_t CO_2^p \cdot d_{mu} \cdot F_{mupt}^I + \sum_j \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t CO_2^p \cdot d_{jm} \cdot H_{jmpct}^I] + \quad (4.45)$$

$$[\sum_r \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t X_{rmpct}^I \cdot L_{rmpct}^I \cdot \pi + \sum_i \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t X_{impct}^I \cdot LO_{impct}^I \cdot \pi] \quad (4.46)$$

$$\sum_r \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t X_{rmpct}^I \cdot p_{rc} + \sum_i \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t X_{impct}^I \cdot p_{ic} + \sum_j \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t Z_{jmpct}^I \cdot e_{jc} \quad (4.47)$$

$$\sum_m \sum_t Q_{mt}^I \cdot \alpha_{mt}^I + \quad (4.48)$$

$$\sum_m \sum_c \sum_t Cinv_{mct}^I \cdot hcp_{mct}^I \quad (4.49)$$

Tedarik Zinciri 2 (Fabrikalar) → Karar Verici 2 (KV2)

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_2 = \{ & \sum_p \text{utc}_p \cdot [\sum_s \sum_n \sum_c \sum_t X_{snpt}^{II} \cdot d_{sn} + \sum_i \sum_n \sum_c \sum_t X_{inpt}^{II} \cdot d_{in} + \\ & \sum_n \sum_v \sum_t Y_{nvpt}^{II} \cdot d_{nv} + \sum_j \sum_n \sum_c \sum_t Z_{jnpt}^{II} \cdot d_{jn}] \} \end{aligned} \quad (4.50)$$

$$\begin{aligned} & C_{CO_2} \cdot [\sum_s \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t CO_2^p \cdot d_{sn} \cdot E_{snpt}^{II} + \\ & \sum_i \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t CO_2^p \cdot d_{in} \cdot K_{inpt}^{II} + \\ & \sum_n \sum_v \sum_p \sum_t CO_2^p \cdot d_{nv} \cdot F_{nvpt}^{II} + \sum_j \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t CO_2^p \cdot d_{jn} \cdot H_{jnpt}^{II}] + \end{aligned} \quad (4.51)$$

$$[\sum_s \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t X_{snpt}^{II} \cdot L_{snpt}^{II} \cdot \pi + \sum_i \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t X_{inpt}^{II} \cdot LO_{inpt}^{II} \cdot \pi] \quad (4.52)$$

$$\begin{aligned} & \sum_s \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t X_{snpt}^{II} \cdot p_{sc} + \sum_i \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t X_{inpt}^{II} \cdot p_{ic} + \sum_j \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t Z_{jnpt}^{II} \cdot e_{jc} \\ & \sum_n \sum_t Q_{nt}^{II} \cdot \alpha_{nt}^{II} + \end{aligned} \quad (4.53)$$

$$\sum_n \sum_c \sum_{t \in T} \text{cinv}_{nct}^{II} \cdot \text{hcp}_{nct}^{II} \quad (4.54)$$

$$\sum_n \sum_c \sum_{t \in T} \text{cinv}_{nct}^{II} \cdot \text{hcp}_{nct}^{II} \quad (4.55)$$

Ortak Tedarikçiler → Karar Verici 3 (KV3)

$$\text{Max } Z_3 = \sum_i \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t X_{impct}^I \cdot p_{ic} + \sum_i \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t X_{inpt}^{II} \cdot p_{ic} \quad (4.56)$$

Ortak Toplama Merkezleri → Karar Verici 4 (KV4)

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_4 = & (\sum_j \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t Z_{jmpct}^I \cdot e_{jc} + \sum_j \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t Z_{jnpt}^{II} \cdot e_{jc}) - \sum_p \text{utc}_p \cdot \\ & (\sum_u \sum_j \sum_p \sum_t W_{ujpt}^I \cdot d_{uj} + \sum_v \sum_j \sum_p \sum_t W_{vjpt}^{II} \cdot d_{vj}) - \sum_j \sum_t QC_{jt} \cdot \alpha_{jt} \end{aligned} \quad (4.57)$$

Lojistik Firması → Karar Verici 5

$$\begin{aligned} & \text{utc}_p \cdot \\ & [\sum_r \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t X_{rmpct}^I \cdot d_{rm} + \sum_i \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t X_{impct}^I \cdot d_{im} + \sum_m \sum_u \sum_p \sum_t Y_{mupt}^I \cdot d_{mu} + \\ & \sum_j \sum_m \sum_p \sum_c \sum_t Z_{jmpct}^I \cdot d_{jm}] \rightarrow DMC_1 \end{aligned} \quad (4.58)$$

$$\begin{aligned} & \text{utc}_p \cdot \\ & [\sum_s \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t X_{snpt}^{II} \cdot d_{sn} + \sum_i \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t X_{inpt}^{II} \cdot d_{in} + \sum_n \sum_v \sum_p \sum_t Y_{nvpt}^{II} \cdot d_{nv} + \\ & \sum_j \sum_n \sum_p \sum_c \sum_t Z_{jnpt}^{II} \cdot d_{jn}] \rightarrow DMC_2 \end{aligned} \quad (4.59)$$

olsun.

$$\text{Max } Z_5 = \text{Nopat} \cdot [DMC_1 + DMC_2] \quad (4.60)$$

Kısıtlar

$$\sum_m \sum_p X_{rmpct}^I \leq a_{rct}^I \quad \forall_{r,c,t} \quad (4.61)$$

$$\sum_n \sum_p X_{snpct}^{II} \leq a_{sct}^{II} \quad \forall_{s,c,t} \quad (4.62)$$

$$\sum_m \sum_p X_{impct}^I + \sum_n \sum_p X_{inpct}^{II} \leq a_{ict}^I \quad \forall_{i,c,t} \quad (4.63)$$

$$r_c \sum_u \sum_p Y_{mupt}^I \leq b_{mct}^I \cdot Q_{mt}^I \quad \forall_{m,c,t} \quad (4.64)$$

$$r_c \sum_v \sum_p Y_{nvpt}^{II} \leq b_{nct}^{II} \cdot Q_{nt}^{II} \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.65)$$

$$\sum_m \sum_p Y_{mupt}^I \geq de_{ut}^I \quad \forall_{u,t} \quad (4.66)$$

$$\sum_n \sum_p Y_{nvpt}^{II} \geq de_{vt}^{II} \quad \forall_{v,t} \quad (4.67)$$

$$\sum_u \sum_p W_{ujpt}^I + \sum_v \sum_p W_{vjpt}^{II} \leq ca_{jt} Q C_{jt} \quad \forall_{j,t} \quad (4.68)$$

$$\sum_m \sum_p Y_{mupt}^I - \sum_j \sum_p W_{ujp(t+1)}^I = 0 \quad \forall_{u,t} \quad (4.69)$$

$$\sum_n \sum_p Y_{nvpt}^{II} - \sum_j \sum_p W_{vjp(t+1)}^{II} = 0 \quad \forall_{v,t} \quad (4.70)$$

$$r_c(\eta_1 \sum_u W_{ujpt}^I) - \sum_m \sum_c Z_{jmpct}^I = 0 \quad \forall_{j,p,c,t} \quad (4.71)$$

$$r_c(\eta_2 \sum_v W_{vjpt}^{II}) - \sum_n \sum_c Z_{jnpct}^{II} = 0 \quad \forall_{j,p,c,t} \quad (4.72)$$

$$Cinv_{mct(t-1)}^I + \sum_i \sum_p X_{impct}^I + \sum_r \sum_p X_{rmpct}^I + \sum_j Z_{jmpct}^I - r_c(\sum_u Y_{mupt}^I) = Cinv_{mct}^I \quad \forall_{m,c,t} \quad (4.73)$$

$$Cinv_{nct(t-1)}^{II} + \sum_i \sum_p X_{inpct}^{II} + \sum_s \sum_p X_{snpct}^{II} + \sum_j Z_{jnpct}^{II} - r_c(\sum_v Y_{nvpt}^{II}) = Cinv_{nct}^{II} \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.74)$$

$$Cinv_{mct}^I \geq \sum_u \lambda_1 \cdot de_{ut}^I \quad \forall_{m,c,t} \quad (4.75)$$

$$Cinv_{nct}^{II} \geq \sum_v \lambda_2 \cdot de_{vt}^{II} \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.76)$$

$$Cinv_{mct}^I \leq b_{mct}^I \quad \forall_{m,c,t} \quad (4.77)$$

$$Cinv_{nct}^{II} \leq b_{nct}^{II} \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.78)$$

$$X_{rmpct}^I - M \cdot E_{rmpct}^I \leq 0 \quad \forall_{r,m,p,c,t} \quad (4.79)$$

$$X_{rmpct}^I - M \cdot E_{rmpct}^I \geq 1 - M \quad \forall_{r,m,p,c,t} \quad (4.80)$$

$$X_{snpct}^{II} - M \cdot E_{snpct}^{II} \leq 0 \quad \forall_{s,n,p,c,t} \quad (4.81)$$

$$X_{snpct}^{II} - M \cdot E_{snpct}^{II} \geq 1 - M \quad \forall_{s,n,p,c,t} \quad (4.82)$$

$$X_{impct}^I - M \cdot K_{impct}^I \leq 0 \quad \forall_{i,m,p,c,t} \quad (4.83)$$

$$X_{impct}^I - M \cdot K_{impct}^I \geq 1 - M \quad \forall_{i,m,p,c,t} \quad (4.84)$$

$$X_{inpct}^{II} - M \cdot K_{inpct}^{II} \leq 0 \quad \forall_{i,n,p,c,t} \quad (4.85)$$

$$X_{inpct}^{II} - M \cdot K_{inpct}^{II} \geq 1 - M \quad \forall_{i,n,p,c,t} \quad (4.86)$$

$$Y_{mupt}^I - M.F_{mupt}^I \leq 0 \quad \forall_{m,u,p,t} \quad (4.87)$$

$$Y_{mupt}^I - M.F_{mupt}^I \geq 1 - M \quad \forall_{m,u,p,t} \quad (4.88)$$

$$Y_{nvpt}^{II} - M.F_{nvpt}^{II} \leq 0 \quad \forall_{n,v,p,t} \quad (4.89)$$

$$Y_{nvpt}^{II} - M.F_{nvpt}^{II} \geq 1 - M \quad \forall_{n,v,p,t} \quad (4.90)$$

$$W_{ujpt}^I - M.G_{ujpt}^I \leq 0 \quad \forall_{u,j,p,t} \quad (4.91)$$

$$W_{ujpt}^I - M.G_{ujpt}^I \geq 1 - M \quad \forall_{u,j,p,t} \quad (4.92)$$

$$W_{vjpt}^{II} - M.G_{vjpt}^{II} \leq 0 \quad \forall_{v,j,p,t} \quad (4.93)$$

$$W_{vjpt}^{II} - M.G_{vjpt}^{II} \geq 1 - M \quad \forall_{v,j,p,t} \quad (4.94)$$

$$Z_{jmpct}^I - M.H_{jmpct}^I \leq 0 \quad \forall_{j,m,p,c,t} \quad (4.95)$$

$$Z_{jmpct}^I - M.H_{jmpct}^I \geq 1 - M \quad \forall_{j,m,p,c,t} \quad (4.96)$$

$$Z_{jnpct}^{II} - M.H_{jnpct}^{II} \leq 0 \quad \forall_{j,n,p,c,t} \quad (4.97)$$

$$Z_{jnpct}^{II} - M.H_{jnpct}^{II} \geq 1 - M \quad \forall_{j,n,p,c,t} \quad (4.98)$$

$$X_{rmpct}^I \geq 0 \quad \forall_{r,m,p,c,t} \quad (4.99)$$

$$X_{snpct}^{II} \geq 0 \quad \forall_{s,n,p,c,t} \quad (4.100)$$

$$X_{impct}^I \geq 0 \quad \forall_{i,m,p,c,t} \quad (4.101)$$

$$X_{inpct}^{II} \geq 0 \quad \forall_{i,n,p,c,t} \quad (4.102)$$

$$Y_{mupt}^I \geq 0 \quad \forall_{m,u,p,t} \quad (4.103)$$

$$Y_{nvpt}^{II} \geq 0 \quad \forall_{n,v,p,t} \quad (4.104)$$

$$W_{ujpt}^I \geq 0 \quad \forall_{u,j,p,t} \quad (4.105)$$

$$W_{vjpt}^{II} \geq 0 \quad \forall_{v,j,p,t} \quad (4.106)$$

$$Z_{jmpct}^I \geq 0 \quad \forall_{j,m,p,t} \quad (4.107)$$

$$Z_{jnpct}^{II} \geq 0 \quad \forall_{j,n,p,t} \quad (4.108)$$

$$Cinv_{mct}^I \geq 0 \quad \forall_{m,c,t} \quad (4.109)$$

$$Cinv_{nct}^{II} \geq 0 \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.110)$$

$$E_{rmpct}^1 = \{0,1\} \quad \forall_{r,m,p,c,t} \quad (4.111)$$

$$E_{snpct}^2 = \{0,1\} \quad \forall_{s,n,p,c,t} \quad (4.112)$$

$$K_{impct}^1 = \{0,1\} \quad \forall_{i,m,p,c,t} \quad (4.113)$$

$$K_{inpct}^2 = \{0,1\} \quad \forall_{i,n,p,c,t} \quad (4.114)$$

$$F_{mupt}^1 = \{0,1\} \quad \forall_{m,u,p,t} \quad (4.115)$$

$$F_{nvpt}^2 = \{0,1\} \quad \forall_{n,v,p,t} \quad (4.116)$$

$$G_{ujpt}^1 = \{0,1\} \quad \forall_{u,j,p,t} \quad (4.117)$$

$$G_{vjpt}^2 = \{0,1\} \quad \forall_{v,j,p,t} \quad (4.118)$$

$$H_{jmpt}^1 = \{0,1\} \quad \forall_{j,m,p,t} \quad (4.119)$$

$$H_{jnpt}^2 = \{0,1\} \quad \forall_{j,n,p,t} \quad (4.120)$$

$$Q_{mt}^1 = \{0,1\} \quad \forall_{m,t} \quad (4.121)$$

$$Q_{nt}^2 = \{0,1\} \quad \forall_{n,t} \quad (4.122)$$

TZ1'deki fabrikalar KV1 olarak değerlendirilmiştir. KV1 için amaç fonksiyonu 6 kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım (4.44) 4 adet taşıma şekline ait taşıma maliyetlerini, ikinci kısım (4.45) taşımanın gerçekleştiği yollarda açığa çıkan CO_2 maliyetlerini, üçüncü kısım (4.46) tedarikçiler ile fabrikalar arasındaki taşıma seçeneklerinin seçiminden oluşabilecek fırsat kayıplarının maliyetini, dördüncü kısım (4.47) satın alma maliyetlerini, beşinci kısım (4.48) sabit işletme maliyetlerini, altıncı kısım (4.49) ise o dönemde fabrikada bulunan stok maliyetini ifade etmektedir.

KV2 olarak TZ2'de yer alan fabrikalar kabul edilmiş ve aynı amaçlar KV2 içinde geçerli olarak kabul edilmiştir. KV3 sadece parçaların satılmasından kaynaklı karını maksimize etmek istemektedir. KV4 ise parça satışından gelen gelirden taşıma ve sabit işletme maliyetinin çıkarılması ile karını maksimize etmek istemektedir.

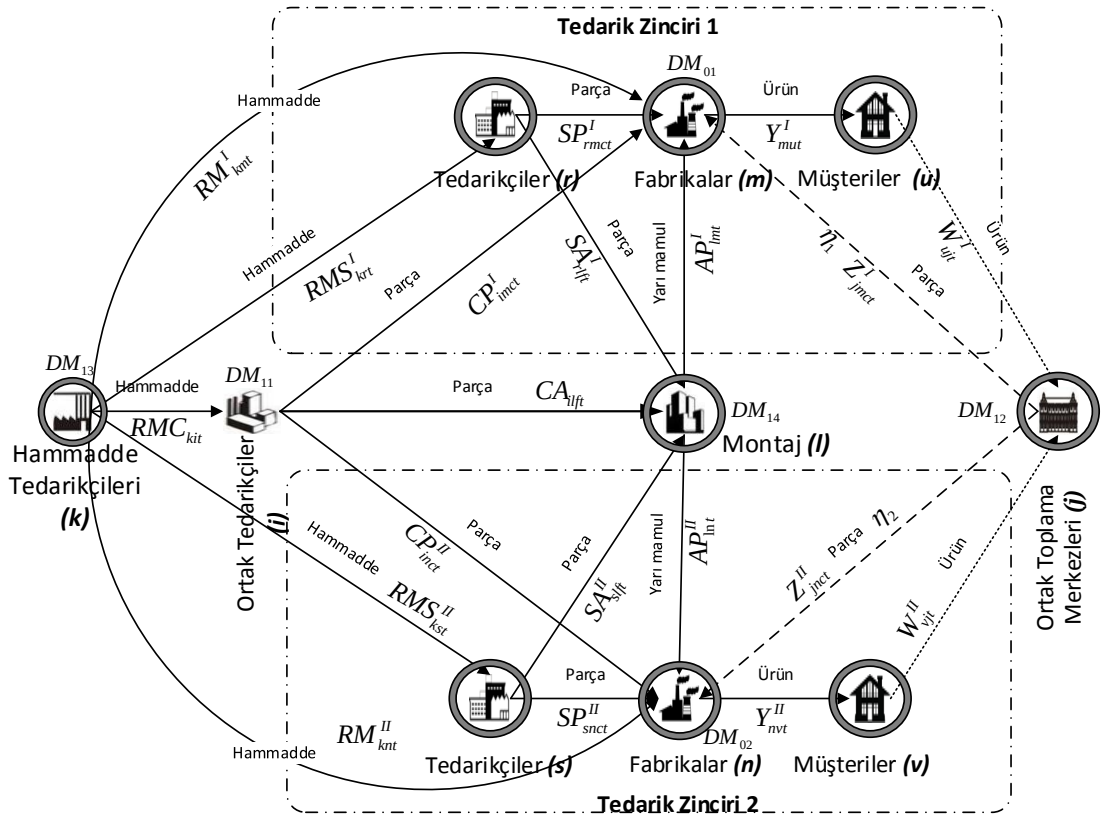
Bunlardan farklı olarak ağdaki tüm taşıma faaliyetlerinden sorumlu lojistik firması karını maksimize etmek istemektedir. Lojistik firması, kazancının belirli bir kısmını vergi olarak ödemektedir, kalan miktarı ise maksimize etmek istemektedir.

Kısıt (4.61) TZ1 için kendi tedarikçilerinden fabrikalara taşınan parça miktarının ilgili tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağını; Kısıt (4.62) TZ2 için kendi tedarikçilerinden fabrikalara taşınan parça miktarının ilgili tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağını; Kısıt (4.63) ortak tedarikçilerden fabrikalara taşınan parça miktarının ortak tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağını ifade etmektedir. Kısıt (4.64), TZ1'de fabrikalardan müşterilere taşınan ürün miktarının ilgili fabrikanın kapasitesinden fazla olamayacağını; Kısıt (4.65), TZ2'de fabrikalardan müşterilere taşınan ürün miktarının ilgili fabrikanın kapasitesinden fazla olamayacağını; Kısıt (4.66), TZ1'de müşterilerin ürüne olan taleplerini; Kısıt (4.67), TZ2'de müşterilerin ürüne olan taleplerini göstermektedir. Kısıt (4.68), hem TZ1'den hem de TZ2'den ortak toplama merkezine taşınan ürünlerin ortak toplama merkezinin kapasitesinden fazla olamayacağını ifade etmektedir. Kısıt (4.69) ile (4.70) sırasıyla TZ1 ve TZ2 için ürün

denge kısıtıdır. Kısıt (4.71) ile (4.72) sırasıyla TZ1 ve TZ2’de geri dönen ürünler için denge kısıtıdır. Kısıt (4.73) ile (4.74) TZ1 ve TZ2’de stokta tutulan parça miktarlarını hesap etmektedir. Stokta belli oranlarda parça tutulmasını sağlayan (emniyet stoğu) kısıtlar ise (4.75) ve (4.76) numaralı kısıtlardır. Kısıt (4.77) ile (4.78) sırasıyla TZ1 ve TZ2 için stokta tutulan parça miktarının ilgili fabrikaların kapasitelerinden fazla olamayacağını ifade etmektedir. Kısıt (4.79) – (4.98) ise (M çok büyük bir sayı olmak kaydıyla) üç farklı taşıt için eğer o taşıtta bir taşıma gerçekleşirse ilgili değişkenlerin 1, aksi halde 0 değeri almasını sağlamaktadır. Kısıt (4.99) - (4.122) işaret kısıtlarını göstermektedir.

4.3. Esnek Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı İçin Ortak Kaynaklar İle Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli - Model 3

Bu bölümde, Model 1’de ele alınan ortak kaynaklar içeren KDTZ ağ tasarımı modeli farklı KV’lerin davranışlarını ele alabilmek amacıyla genişletilmiştir. Ağdaki akış tedarikçilerde kullanılmak üzere ortak hammadde tedarikçilerinden belirli oranlarda ton cinsi üzerinden hammadde satın alınması ile başlamaktadır. Hammadde tedarikçileri ortak tedarikçilere, TZ1 ve TZ2’de yer alan tedarikçilere, TZ1 ve TZ2’de yer alan fabrikalara hammadde temin etmektedir. Tedarikçiler tarafından işlenerek kullanılabilir parçalara dönüştürülen hammaddeler daha sonra fabrikalarda ve montaj merkezlerinde kullanılmak üzere tedarikçilere ve montaj merkezlerine ulaştırılmaktadır. Tedarikçiler iki farklı parça üretimi yapmaktadır. Fabrikaların nihai ürünü oluşturabilmesi için farklı parçalar ve montaj merkezlerinin yarı mamulü oluşturabilmesi için farklı parçalar üretmektedir. Nihai ürün hammadde merkezlerinden hammadde, tedarikçilerden parça ve montaj merkezlerinden yarı mamul alınarak oluşturulmaktadır. Fabrikalarda montajlanarak nihai ürünlere dönüştürülen parçalar müşterilere gönderilmektedir. Müşterilerden belli oranlarda ürün kullanıldıktan sonra toplanmakta ve bir sonraki dönemde kullanılmak üzere fabrikalara yollanmaktadır. Model ile ilgili diğer bilgiler ilk modelde olduğu gibi ele alınmıştır. Ele alınan modelin ağ yapısı aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:



Şekil 4.4. Model 3'e ait KDTZ yapısı

İndisler

K	Ham madde tedarikçileri kümesi $k \in K$,
I	Ortak tedarikçiler kümesi $i \in I$,
R	TZ1 için tedarikçiler kümesi $r \in R$,
S	TZ2 için tedarikçiler kümesi $s \in S$,
M	TZ1 için fabrikalar kümesi $m \in M$,
N	TZ2 için fabrikalar kümesi $n \in N$,
U	TZ1 için müşteriler kümesi $u \in U$,
V	TZ2 için müşteriler kümesi $v \in V$,
J	Ortak toplama merkezleri kümesi $j \in J$,
L	Montaj merkezleri kümesi
C	Nihai ürün içerisindeki parçalar kümesi $c \in C$,
F	Yarı mamul içerisindeki parçalar kümesi $f \in F$,
T	Periyot kümesi $t \in T$.

Parametreler

Uzaklıklar ve birim taşıma maliyeti

d_{km}	TZ1 için 'k' ham madde tedarikçisi ile 'm' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{kn}	TZ2 için 'k' ham madde tedarikçisi ile 'n' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{kr}	TZ1 için 'k' ham madde tedarikçisi ile 'r' tedarikçisi arasındaki uzaklık (km)
d_{ks}	TZ2 için 'k' ham madde tedarikçisi ile 's' tedarikçisi arasındaki uzaklık (km)
d_{ki}	Ham madde tedarikçisi 'k' ile ortak tedarikçi 'i' arasındaki uzaklık (km)
d_{rl}	TZ1 için 'r' tedarikçisi ile 'l' montaj merkezi arasındaki uzaklık (km)
d_{sl}	TZ2 için 's' tedarikçisi ile 'l' montaj merkezi arasındaki uzaklık (km)
d_{il}	Ortak tedarikçi 'i' ile montaj merkezi 'l' arasındaki uzaklık (km)
d_{rm}	TZ1 için 'r' tedarikçisi ile 'm' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{sn}	TZ2 için 's' tedarikçisi ile 'n' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{im}	TZ1 için 'i' ortak tedarikçisi ile 'm' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{in}	TZ2 için 'i' ortak tedarikçisi ile 'n' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{lm}	TZ1 için montaj merkezi 'l' ile 'm' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{ln}	TZ2 için montaj merkezi 'l' ile 'n' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{mu}	TZ1 için 'm' fabrikası ile 'u' müşterisi arasındaki uzaklık (km)
d_{nv}	TZ2 için 'n' fabrikası ile 'v' müşterisi arasındaki uzaklık (km)
d_{uj}	TZ1 için 'u' müşterisi ile 'j' ortak toplama merkezi arasındaki uzaklık (km)
d_{vj}	TZ2 için 'v' müşterisi ile 'j' ortak toplama merkezi arasındaki uzaklık (km)
d_{jm}	TZ1 için 'j' ortak toplama merkezi ile 'm' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
d_{jn}	TZ2 için 'j' ortak toplama merkezi ile 'n' fabrikası arasındaki uzaklık (km)
utc	km başına taşıma maliyeti ((\$/ton).km)

Kapasiteler

as_{kt}	't' döneminde ham madde tedarikçisi 'k' nın ham madde kapasitesi (ton)
a_{rct}^I	TZ1 için 't' döneminde 'r' tedarikçisinin parça 'c' kapasitesi (ton)
a_{sct}^{II}	TZ2 için 't' döneminde 's' tedarikçisinin parça 'c' kapasitesi (ton)
a_{ict}	't' döneminde 'i' ortak tedarikçisinin parça 'c' kapasitesi (ton)
a_{rft}^I	TZ1 için 't' döneminde 'r' tedarikçisinin parça 'f' kapasitesi (ton)

a_{sft}^{II}	TZ2 için 't' döneminde 's' tedarikçisinin parça 'f' kapasitesi (ton)
a_{ift}	't' döneminde 'i' ortak tedarikçisinin parça 'f' kapasitesi (ton)
b_{mct}^I	TZ1 için 't' döneminde 'm' fabrikasının parça 'c' kapasitesi (ton)
b_{nct}^{II}	TZ2 için 't' döneminde 'n' fabrikasının parça 'c' kapasitesi (ton)
aa_{lt}	't' döneminde montaj merkezinin yarı mamul kapasitesi (ton)
ca_{jt}	't' döneminde 'j' ortak toplama merkezinin kapasitesi (ton)

Talepler

de_{ut}^I	TZ1 için 't' döneminde 'u' müşterisinin talebi (ton)
de_{vt}^{II}	TZ2 için 't' döneminde 'v' müşterisinin talebi (ton)

Sabit işletme maliyetleri

α_{mt}^I	TZ1 için fabrika 'm' nin dönem 't' deki sabit işletme maliyeti (\$)
α_{nt}^{II}	TZ2 için fabrika 'n' nin dönem 't' deki sabit işletme maliyeti (\$)
α_{jt}	Ortak toplama merkezi 'j' nin dönem 't' deki sabit işletme maliyeti (\$)

Satın alma maliyetler/satış fiyatları

p_{rc}	TZ1 için 'r' tedarikçisinden parça 'c' yi satın alma maliyeti (\$/ton)
p_{sc}	TZ2 için 's' tedarikçisinden parça 'c' yi satın alma maliyeti (\$/ton)
p_{ic}	'i' ortak tedarikçisinden parça 'c' nin satın alma maliyeti/satış fiyatı (Sıfır parça) (\$/ton)
p_{rf}	TZ1 için 'r' tedarikçisinden yarı mamul için parça 'f' yi satın alma maliyeti (\$/ton)
p_{sf}	TZ2 için 's' tedarikçisinden yarı mamul için parça 'f' yi alma maliyeti (\$/ton)
p_{if}	'i' ortak tedarikçisinden yarı mamul için parça 'f' yi satın alma maliyeti/satış fiyatı (Sıfır parça) (\$/ton)
p_k	Ham madde tedarikçisi 'k' dan ham madde satın alma maliyeti/satış fiyatı (\$/ton)
e_{jc}	Ortak toplama merkezi 'j' den parça c'nin satın alma maliyeti/ satış fiyatı (\$/ton)
e_l	Montaj merkezi 'l' den yarı mamul satın alma maliyeti/ satış fiyatı (\$/ton)

Stokta tutma maliyetleri

hcp_{mct}^I TZ1 için 't' döneminde 'm' fabrikasında parça 'c' yi stokta tutma maliyeti (\$/ton)

hcp_{nct}^{II} TZ2 için 't' döneminde 'n' fabrikasında parça 'c' yi stokta tutma maliyeti (\$/ton)

Oranlar ve yüzdeler

r Bir ürün içindeki yarı mamul oranı

r_c Bir ürün içindeki parça 'c' nin ağırlık oranı

r' Bir ürün içindeki ham maddenin ağırlık oranı

ro_c Bir ton çelik sacın içindeki parça 'c' nin ağırlık oranı

ro_f Bir ton çelik sacın içindeki parça 'f' nin ağırlık oranı

rf_f Bir yarı mamulün içindeki parça 'f' nin ağırlık oranı

η_1 TZ1 için ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen ürün yüzdesi

η_2 TZ2 için ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen ürün yüzdesi

Karar Değişkenleri

Hammadde tedarikçisinin çıkan lojistikleri

RM_{kmt}^I TZ1 için 't' döneminde 'k' ham madde tedarikçisinden 'm' fabrikasına taşınan ham madde miktarı (ton)

RM_{knt}^{II} TZ2 için 't' döneminde 'k' ham madde tedarikçisinden 'n' fabrikasına taşınan ham madde miktarı (ton)

RMS_{krt}^I TZ1 için 't' döneminde 'k' ham madde tedarikçisinden 'r' tedarikçisine taşınan ham madde miktarı (ton)

RMS_{kst}^{II} TZ2 için 't' döneminde 'k' ham madde tedarikçisinden 's' tedarikçisine taşınan ham madde miktarı (ton)

RMC_{kit} 't' döneminde 'k' ham madde tedarikçisinden 'i' ortak tedarikçisine taşınan ham madde miktarı (ton)

Ortak tedarikçilerin çıkan lojistikleri

CP_{imct}^I TZ1 için 't' döneminde 'i' ortak tedarikçisinden 'm' fabrikasına taşınan parça 'c' miktarı (ton)

CP_{inct}^{II} TZ2 için 't' döneminde 'i' ortak tedarikçisinden 'n' fabrikasına taşınan parça 'c' miktarı (ton)

CA_{ilft} 't' döneminde 'i' ortak tedarikçisinden 'l' montaj merkezine taşınan parça 'f' miktarı (ton)

Tedarikçilerin çıkan lojistikleri

SP_{rmct}^I TZ1 için 't' döneminde 'r' tedarikçisinden 'm' fabrikasına taşınan parça 'c' miktarı (ton)

SP_{snct}^{II} TZ2 için 't' döneminde 's' tedarikçisinden 'n' fabrikasına taşınan parça 'c' miktarı (ton)

SA_{rlft}^I TZ1 için 't' döneminde 'r' tedarikçisinden 'l' montaj merkezine taşınan parça 'f' miktarı (ton)

SA_{slft}^{II} TZ2 için 't' döneminde 's' tedarikçisinden 'l' montaj merkezine taşınan parça 'f' miktarı (ton)

Montaj merkezlerinin çıkan lojistikleri

AP_{lmt}^I TZ1 için 't' döneminde 'l' montaj merkezinden 'm' fabrikasına taşınan yarı mamul miktarı (ton)

AP_{lnt}^{II} TZ2 için 't' döneminde 'l' montaj merkezinden 'n' fabrikasına taşınan yarı mamul miktarı (ton)

Fabrikaların çıkan lojistikleri

Y_{mut}^I TZ1 için 't' döneminde 'm' fabrikasından 'u' müşterisine taşınan ürün miktarı (ton)

Y_{nvt}^{II} TZ2 için 't' döneminde 'n' fabrikasından 'v' müşterisine taşınan ürün miktarı (ton)

Müşterilerin çıkan lojistikleri

W_{ujt}^I TZ1 için 't' döneminde 'u' müşterisinden 'j' ortak toplama merkezine taşınan ürün miktarı (ton)

W_{vjt}^{II} TZ2 için 't' döneminde 'v' müşterisinden 'j' ortak toplama merkezine taşınan ürün miktarı (ton)

Ortak toplama merkezlerinin çıkan lojistikleri

Z_{jmt}^I TZ1 için 't' döneminde 'j' ortak toplama merkezinden 'm' fabrikasına taşınan parça 'c' miktarı (ton)

Z_{jnt}^{II} TZ2 için 't' döneminde 'j' ortak toplama merkezinden 'n' fabrikasına taşınan parça 'c' miktarı (ton)

Sabit işletme maliyetleri değişkenleri

Q_{mt}^I TZ1 için eğer fabrika 'm' dönem 't' de açılırsa 1, aksi halde 0

Q_{nt}^{II} TZ2 için eğer fabrika 'n' dönem 't' de açılırsa 1, aksi halde 0

QC_{jt} Eğer ortak toplama merkezi 'j' dönem 't' de açılırsa 1, aksi halde 0

Stokta tutma maliyetleri değişkenleri

$C_{inv_{mct}}^I$ TZ1 için 't' döneminde 'm' fabrikasında stokta tutulan parça 'c' miktarı (ton)

$C_{inv_{nct}}^{II}$ TZ2 için 't' döneminde 'n' fabrikasında stokta tutulan parça 'c' miktarı (ton)

Amaç fonksiyonları

Çok seviyeli KDTZ modelinin amaç fonksiyonları aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir. Ele alınan modelde altı farklı KV olduğu varsayılmıştır ve KV'lere göre amaç fonksiyonları farklılık göstermektedir.

TZ1'deki fabrikaların amaç fonksiyonu (DM_{01})

Amaç fonksiyonu 1 (Z_1) TZ1'deki fabrikalar için oluşturulmuştur. Ayrıca TZ1'deki fabrikalar Stackelberg oyununun birinci üst seviye KV'sidir. KV için amaç

fonksiyonu dört parçadan oluşmaktadır ve DM_{01} için amaç fonksiyonu aşağıdaki biçimde oluşturulmuştur:

$$\text{Min } Z_1 = TC_1 + PC_1 + FFC_1 + IHC_1 \quad (4.123)$$

Tesisler arasındaki taşıma maliyeti tesisler arasındaki uzaklık ile birim taşıma maliyeti çarpılarak hesaplanır:

$$\begin{aligned} TC_1 = & \\ & utc \cdot [\sum_k \sum_m \sum_t RM_{kmt}^I \cdot d_{km} + \sum_r \sum_m \sum_c \sum_t SP_{rmct}^I \cdot d_{rm} + \sum_i \sum_m \sum_c \sum_t CP_{imct}^I \cdot \\ & d_{im} + \sum_m \sum_u \sum_t Y_{mut}^I \cdot d_{mu} + \sum_j \sum_m \sum_c \sum_t Z_{jmct}^I \cdot d_{jm} + \sum_l \sum_m \sum_t AP_{lmt}^I \cdot d_{lm}] \end{aligned} \quad (4.124)$$

Hammadde, orijinal (sıfır parça), ikinci el parça ve yarı-mamul ürünün satın alınma maliyeti aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$\begin{aligned} PC_1 = & [(\sum_r \sum_m \sum_c \sum_t SP_{rmct}^I \cdot p_{rc} + \sum_i \sum_m \sum_c \sum_t CP_{imct}^I \cdot p_{ic}) + \sum_j \sum_m \sum_c \sum_t Z_{jmct}^I \cdot \\ & e_{jc} + \sum_k \sum_m \sum_t RM_{kmt}^I \cdot p_k + \sum_l \sum_m \sum_t AP_{lmt}^I \cdot e_l] \end{aligned} \quad (4.125)$$

Fabrika 'm' nin sabit açılış maliyeti aşağıdaki gibi hesap edilmektedir:

$$FFC_1 = \sum_m \sum_t Q_{mt}^I \cdot \alpha_{mt}^I \quad (4.126)$$

'm.' fabrikada 'c.' parçanın stokta tutulma maliyeti aşağıdaki gibi hesap edilmektedir:

$$IHC_1 = \sum_m \sum_c \sum_t Cinv_{mct}^I \cdot hcp_{mct}^I \quad (4.127)$$

TZ2'deki fabrikaların amaç fonksiyonu (DM_{02})

Amaç fonksiyonu 2 (Z_2) TZ2'deki fabrikalar için oluşturulmuştur. Ayrıca TZ2'deki fabrikalar Stackelberg oyununun ikinci üst seviye KV'sidir. KV için amaç fonksiyonu dört parçadan oluşmaktadır ve DM_{01} 'e benzer olarak amaç fonksiyonu aşağıdaki biçimde oluşturulmuştur:

$$\text{Min } Z_2 = TC_2 + PC_2 + FFC_2 + IHC_2 \quad (4.128)$$

$$\begin{aligned}
TC_2 = & utc \cdot (\sum_k \sum_n \sum_t RM_{knt}^{II} \cdot d_{kn} + \sum_s \sum_n \sum_c \sum_t SP_{snct}^{II} \cdot d_{sn} + \sum_i \sum_n \sum_c \sum_t CP_{inct}^{II} \cdot \\
& d_{in} + \sum_n \sum_v \sum_t Y_{nvt}^{II} \cdot d_{nv} + \sum_j \sum_n \sum_c \sum_t Z_{jnct}^{II} \cdot d_{jn} + \sum_l \sum_n \sum_t AP_{lnt}^{II} \cdot d_{ln}) \\
PC_2 = & [(\sum_s \sum_n \sum_c \sum_t SP_{snct}^{II} \cdot p_{sc} + \sum_i \sum_n \sum_c \sum_t CP_{inct}^{II} \cdot p_{ic}) + \sum_j \sum_n \sum_c \sum_t Z_{jnct}^{II} \cdot e_{jc} + \\
& \sum_k \sum_n \sum_t RM_{knt}^{II} \cdot p_k + \sum_l \sum_n \sum_t AP_{lnt}^{II} \cdot e_l] \quad (4.129)
\end{aligned}$$

$$FFC_2 = \sum_n \sum_t Q_{nt}^{II} \cdot \alpha_{nt}^{II} \quad (4.130)$$

$$IHC_2 = \sum_n \sum_c \sum_t Cinv_{nct}^{II} \cdot hcp_{nct}^{II} \quad (4.131)$$

Ortak tedarikçilerin amaç fonksiyonu (DM₁₁)

Ortak tedarikçiler Stackelberg oyununun birinci alt seviye KV'sidir. Amaç fonksiyonu toplam karı maksimize edecek şekilde, Toplam Gelir ve Taşıma Maliyeti'nden oluşmaktadır. Bu nedenle amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Maks Z_3 = TR_3 - TC_3 \quad (4.132)$$

Ortak tedarikçilerin toplam geliri aşağıdaki gibi hesap edilmektedir:

$$\begin{aligned}
TR_3 = & (\sum_i \sum_m \sum_c \sum_t CP_{imct}^I \cdot p_{ic} + \sum_i \sum_n \sum_c \sum_t CP_{inct}^{II} \cdot p_{ic} + \sum_i \sum_l \sum_c \sum_t CA_{ilft} \cdot \\
& p_{if}) - \sum_k \sum_i \sum_t RM_{kit} \cdot p_k \quad (4.133)
\end{aligned}$$

Ortak tedarikçiler ve ham madde tedarikçileri arasındaki taşıma maliyeti aşağıdaki gibi hesap edilmektedir:

$$TC_3 = utc \cdot (\sum_k \sum_i \sum_t RM_{kit} \cdot d_{ki}) \quad (4.134)$$

Ortak toplama merkezlerinin amaç fonksiyonu (DM₁₂)

Ortak toplama merkezleri Stackelberg oyununun ikinci alt seviye KV'sidir. Amaç fonksiyonu üç parçadan oluşmaktadır ve toplam karın maksimize edilmesi şeklindedir.

$$Max Z_4 = TR_4 - TC_4 - FFC_4 \quad (4.135)$$

Ortak toplama merkezlerinin toplam geliri aşağıdaki gibi hesap edilmektedir:

$$TR_4 = (\sum_j \sum_m \sum_c \sum_{t \in T} Z_{jmct}^I \cdot e_{jc} + \sum_j \sum_n \sum_c \sum_t Z_{jnct}^{II} \cdot e_{jc}) \quad (4.136)$$

Ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki taşıma maliyeti aşağıdaki gibi hesap edilmektedir:

$$TC_4 = utc \cdot (\sum_u \sum_j \sum_t W_{ujt}^I \cdot d_{uj} + \sum_v \sum_j \sum_t W_{vjt}^{II} \cdot d_{vj}) \quad (4.137)$$

Ortak toplama merkezi 'j'nin sabit açılış maliyeti aşağıdaki gibi hesap edilmektedir:

$$FFC_4 = \sum_j \sum_t QC_{jt} \cdot \alpha_{jt} \quad (4.138)$$

Ham madde merkezlerinin amaç fonksiyonu (DM₁₃)

Ham madde merkezleri Stackelberg oyununun üçüncü alt seviye KV'sidir ve amaç fonksiyonu ham maddenin satışından elde edilecek gelirin maksimize edilmesinden oluşmaktadır.

$$Maks Z_5 = (\sum_k \sum_r \sum_t RMS_{krt}^I \cdot p_k + \sum_k \sum_s \sum_t RMS_{kst}^{II} \cdot p_k + \sum_k \sum_i \sum_t RMC_{kit} \cdot p_k + \sum_k \sum_m \sum_t RM_{kmt}^I \cdot p_k + \sum_k \sum_n \sum_t RM_{knt}^{II} \cdot p_k) \quad (4.139)$$

Montaj merkezlerinin amaç fonksiyonu (DM₁₄)

Montaj merkezleri Stackelberg oyununun dördüncü alt seviye KV'sidir ve amaç fonksiyonu toplam karı maksimize etmektir.

$$Maks Z_6 = TR_6 - TC_6 \quad (4.140)$$

Montaj merkezlerinin toplam geliri aşağıdaki gibi hesap edilmektedir.

$$TR_6 = (\sum_l \sum_m \sum_t AP_{lmt}^I \cdot e_l + \sum_l \sum_n \sum_t AP_{lnt}^{II} \cdot e_l) - (\sum_r \sum_l \sum_f \sum_t SA_{rlft}^I \cdot p_{rf} + \sum_s \sum_l \sum_f \sum_t SA_{slft}^{II} \cdot p_{sf} + \sum_i \sum_l \sum_c \sum_t CA_{ilft} \cdot p_{if}) \quad (4.141)$$

Montaj merkezleri ve tedarikçiler arasındaki taşıma maliyeti aşağıdaki gibi hesap edilmektedir.

$$TC_6 = utc \cdot (\sum_r \sum_l \sum_f \sum_t SA_{rlft}^I \cdot d_{rl} + \sum_s \sum_l \sum_f \sum_t SA_{slft}^{II} \cdot d_{sl} + \sum_i \sum_l \sum_c \sum_t CA_{ilft} \cdot d_{il}) \quad (4.142)$$

Kısıtlar

Kapasite kısıtları

Ham madde tedarikçilerinden her iki tedarik zincirindeki tedarikçilere, fabrikalara ve ortak tedarikçilere gönderilen hammadde miktarı herhangi bir dönem için bu ham madde tedarikçilerinin kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır. .

$$\sum_m RM_{kmt}^I + \sum_n RM_{knt}^{II} + \sum_r RMS_{krt}^I + \sum_s RMS_{kst}^{II} + \sum_i RMC_{kit} \leq as_{kt} \quad \forall_{k,t} \quad (4.143)$$

TZ1'deki tedarikçilerden fabrikalara taşınan parça 'c' miktarı herhangi bir dönem için bu tedarikçilerin parça 'c' kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$\sum_m SP_{rmt}^I \leq a_{rct}^I \quad \forall_{r,c,t} \quad (4.144)$$

TZ1'deki tedarikçilerden montaj merkezlerine taşınan parça 'f' miktarı herhangi bir dönem için bu tedarikçilerin parça 'f' kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$\sum_l SA_{rlft}^I \leq a_{rft}^I \quad \forall_{r,f,t} \quad (4.145)$$

TZ2'deki tedarikçilerden fabrikalara taşınan parça 'c' miktarı herhangi bir dönem için bu tedarikçilerin parça 'c' kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$\sum_n SP_{snt}^{II} \leq a_{sct}^{II} \quad \forall_{s,f,t} \quad (4.146)$$

TZ2'deki tedarikçilerden montaj merkezlerine taşınan parça 'f' miktarı herhangi bir dönem için bu tedarikçilerin parça 'f' kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$\sum_l SA_{slft}^{II} \leq a_{sft}^{II} \quad \forall_{s,f,t} \quad (4.147)$$

Ortak tedarikçilerden fabrikalara taşınan parça 'c' miktarı herhangi bir dönem için bu tedarikçilerin parça 'c' kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$\sum_m CP_{imct}^I + \sum_n CP_{inct}^{II} \leq a_{ict} \quad \forall_{i,c,t} \quad (4.148)$$

Ortak tedarikçilerden fabrikalara taşınan parça 'f' miktarı herhangi bir dönem için bu tedarikçilerin parça 'f' kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$\sum_l CA_{ilft} \leq a_{ift} \quad \forall_{i,f,t} \quad (4.149)$$

Montaj merkezlerinden fabrikalara taşınan yarı mamul ürün miktarı herhangi bir dönem için bu montaj merkezlerinin yarı mamul ürün kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$\sum_m AP_{lmt}^I + \sum_n AP_{lnt}^{II} \leq aa_{lt} \quad \forall_{l,t} \quad (4.150)$$

TZ1'deki fabrikalardan müşterilere taşınan ürün miktarı herhangi bir dönem için bu fabrikaların parça 'c' kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$r_c \sum_u Y_{mut}^I \leq b_{mct}^I Q_{mt}^I \quad \forall_{m,c,t} \quad (4.151)$$

TZ2'deki fabrikalardan müşterilere taşınan ürün miktarı herhangi bir dönem için bu fabrikaların parça 'c' kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$r_c \sum_{v \in V} Y_{nvt}^{II} \leq b_{nct}^{II} Q_{nt}^{II} \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.152)$$

Müşterilerden toplanan ürünlerin miktarı herhangi bir dönem için ortak toplama merkezlerinin kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$\sum_u W_{ujt}^I + \sum_v W_{vjt}^{II} \leq ca_{jt} QC_{jt} \quad \forall_{j,t} \quad (4.153)$$

Talep Kısıtları

Her iki tedarik zincirinde müşterilerin talepleri tam olarak sağlanmalı ve müşterilere yollanan toplam ürün miktarı en az müşterilerin talepleri kadar olmalıdır.

$$\sum_m Y_{mut}^I \geq de_{ut}^I \quad \forall_{u,t} \quad (4.154)$$

$$\sum_n Y_{nvt}^{II} \geq de_{vt}^{II} \quad \forall_{v,t} \quad (4.155)$$

Denge Kısıtları (Kirchoff Kanunu)

Kirchoff korunum eşitliklerinin prensibine göre KDTZ ağ tasarımı, bir düğüme gelen akım miktarı o düğümden çıkan akım miktarına eşit olmak zorundadır.

Eşitlik (4.156) ve (4.157) TZ1 için tedarikçi 'r'de hem parça 'c' hem de parça 'f' miktarının dengesini sağlamaktadır.

$$\sum_c \sum_k ro_c RMS_{krt}^I - \sum_m \sum_c SP_{rmct}^I = 0 \quad \forall_{r,t} \quad (4.156)$$

$$\sum_f \sum_k ro_f RMS_{krt}^I - \sum_l \sum_f SA_{rlft}^I = 0 \quad \forall_{r,t} \quad (4.157)$$

Eşitlik (4.158) ve (4.159) TZ2 için tedarikçi 's'de hem parça 'c' hem de parça 'f' miktarının dengesini sağlamaktadır.

$$\sum_c \sum_k ro_c RMS_{kst}^{II} - \sum_n \sum_c SP_{snct}^{II} = 0 \quad \forall_{s,t} \quad (4.158)$$

$$\sum_f \sum_k ro_f RMS_{kst}^{II} - \sum_l \sum_f SA_{slft}^{II} = 0 \quad \forall_{s,t} \quad (4.159)$$

Eşitlik (4.160) ve (4.161) Ortak tedarikçi için tedarikçi 'i'de hem parça 'c' hem de parça 'f' miktarının dengesini sağlamaktadır.

$$\sum_c \sum_k ro_c RMC_{kit} - (\sum_m \sum_c CP_{imct}^I + \sum_n \sum_c CP_{inct}^{II}) = 0 \quad \forall_{i,t} \quad (4.160)$$

$$\sum_f \sum_k ro_f RMC_{kit} - \sum_l \sum_f CA_{ilft} = 0 \quad \forall_{i,t} \quad (4.161)$$

Eşitlik (4.162) Montaj merkezi 'l'de parça 'f' miktarının dengesini sağlamaktadır.

$$\sum_r SA_{rlft}^I + \sum_i CA_{ilft} + \sum_s SA_{slft}^{II} - rf_f(\sum_m AP_{lmt}^I + \sum_n AP_{lnt}^{II}) = 0 \quad \forall_{l,f,t} \quad (4.162)$$

Eşitlik (4.163) ve (4.164) her iki tedarik zincirinde müşterilerden bir dönem kullanıldıktan sonra toplanan kullanılmış ürünlerin dengesini sağlamaktadır.

$$\sum_m Y_{mut}^I - \sum_j W_{uj(t+1)}^I = 0 \quad \forall_{u,t} \quad (4.163)$$

$$\sum_n Y_{nvt}^{II} - \sum_j W_{vj(t+1)}^{II} = 0 \quad \forall_{v,t} \quad (4.164)$$

Eşitlik (4.165) ve (4.166) her iki tedarik zincirinde ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen parça 'c' dengesini sağlamaktadır.

$$r_c(\eta_1 \sum_u W_{ujt}^I) - \sum_m Z_{jmct}^I = 0 \quad \forall_{j,c,t} \quad (4.165)$$

$$r_c(\eta_2 \sum_v W_{vjt}^{II}) - \sum_n Z_{jnct}^{II} = 0 \quad \forall_{j,c,t} \quad (4.166)$$

Eşitlik (4.167) ve (4.168) her iki tedarik zincirinde fabrika 'm' ve fabrika 'n' de yarı mamul ürün dengesini sağlamaktadır.

$$\sum_l AP_{lmt}^I - r \sum_u Y_{mut}^I = 0 \quad \forall_{m,t} \quad (4.167)$$

$$\sum_l AP_{lnt}^{II} - r \sum_v Y_{nvt}^{II} = 0 \quad \forall_{n,t} \quad (4.168)$$

Eşitlik (4.169) ve (4.170) her iki tedarik zincirinde fabrika 'm' ve fabrika 'n' de ham madde dengesini sağlamaktadır.

$$\sum_k RM_{kmt}^I - r' \sum_u Y_{mut}^I = 0 \quad \forall_{m,t} \quad (4.169)$$

$$\sum_k RM_{knt}^{II} - r' \sum_v Y_{nvt}^{II} = 0 \quad \forall_{n,t} \quad (4.170)$$

Stok Kısıtları

Eşitlik (4.171) ve (4.172) her iki tedarik zincirinde fabrika 'm' ve fabrika 'n' de stokta tutulan parça 'c' miktarını hesaplamaktadır.

$$Cinv_{mc(t-1)}^I + \sum_r SP_{rmct}^I + \sum_i CP_{imct}^I + \sum_j Z_{jmct}^I - r_c \sum_u Y_{mut}^I = Cinv_{mct}^I \forall_{m,c,t} \quad (4.171)$$

$$Cinv_{nc(t-1)}^{II} + \sum_s SP_{snct}^{II} + \sum_i CP_{inct}^{II} + \sum_j Z_{jnct}^{II} - r_c \sum_v Y_{nvt}^{II} = Cinv_{nct}^{II} \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.172)$$

Eşitlik (4.173) ve (4.174) her iki tedarik zincirinde fabrika ‘ m ’ ve fabrika ‘ n ’ de stokta tutulan parça ‘ c ’ miktarı bu fabrikaların parça ‘ c ’ kapasitesine eşit veya düşük olmalıdır.

$$Cinv_{mct}^I \leq b_{mct}^I \quad \forall_{m,c,t} \quad (4.173)$$

$$Cinv_{nct}^{II} \leq b_{nct}^{II} \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.174)$$

Negatif Olmama Kısıtları

Aşağıdaki eşitlikler karar değişkenlerinin negatif değer almasını önleyen pozitiflik kısıtlarıdır.

$$X_{rmct}^I \geq 0 \quad \forall_{r,m,c,t} \quad (4.175)$$

$$X_{snct}^{II} \geq 0 \quad \forall_{s,n,c,t} \quad (4.176)$$

$$X_{imct}^I \geq 0 \quad \forall_{i,m,c,t} \quad (4.177)$$

$$X_{inct}^{II} \geq 0 \quad \forall_{i,n,c,t} \quad (4.178)$$

$$Y_{mut}^I \geq 0 \quad \forall_{m,u,t} \quad (4.179)$$

$$Y_{nvt}^{II} \geq 0 \quad \forall_{n,v,t} \quad (4.180)$$

$$W_{ujt}^I \geq 0 \quad \forall_{u,j,t} \quad (4.181)$$

$$W_{vjt}^{II} \geq 0 \quad \forall_{v,j,t} \quad (4.182)$$

$$Z_{jmct}^I \geq 0 \quad \forall_{j,m,c,t} \quad (4.183)$$

$$Z_{jnct}^{II} \geq 0 \quad \forall_{j,n,c,t} \quad (4.184)$$

$$Cinv_{mct}^I \geq 0 \quad \forall_{m,c,t} \quad (4.185)$$

$$Cinv_{nct}^{II} \geq 0 \quad \forall_{n,c,t} \quad (4.186)$$

Tam sayı Değişken Kısıtları

Aşağıdaki eşitlikler ilgili karar değişkenlerinin tam sayı değer almasını sağlayan kısıtlarıdır.

$$Q_{mt}^I = \{0,1\} \quad \forall_{m,t} \quad (4.187)$$

$$Q_{nt}^{II} = \{0,1\} \quad \forall_{n,t} \quad (4.188)$$

$$QC_{jt} = \{0,1\} \quad \forall_{j,t} \quad (4.189)$$

5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE DAYALI YENİ ETKİLEŞİMLİ BULANIK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında geliştirilen Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yaklaşımları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Önerilen ilk yöntem, ÇKKV yöntemlerinden elde edilen ağırlıklar ile Zimmermann (1978) yaklaşımında KV'lerin tatmin seviyelerinin maksimize edilmesi ile oluşturulmuştur. Önerilen ikinci EBP yaklaşımı, hiyerarşik yapıya sahip, üst seviye KV(ler)'nin kararına göre alt seviye KV'lerin tatmin seviyelerinin maksimizasyon yapılmasına dayanmaktadır. Üçüncü yaklaşımda ise KV'ler arasındaki işbirliğini ele alabilmek amacıyla KV'lerin tatmin seviyeleri elde edildikten sonra, tatmin seviyeleri denge oranı sağlanana kadar algoritmanın devam edebilmesi sağlanmıştır.

5.1. Önerilen Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı I (Ağırlıklı Zimmermann Yöntemi - EBP I)

Bu bölümde ağırlıklı Zimmermann yöntemi olarak adlandırılan yeni bir EBP yaklaşımı açıklanmıştır. Bu yaklaşımda, Stackelberg oyununda üst seviye KV'ler alt seviye KV'lerin ağırlıklarını herhangi bir ÇKKV yaklaşımından, örneğin AHP, TOPSIS, VIKOR vb. elde ederek bu ağırlıkları amaç fonksiyonunda kullanmaktadır. Önerilen yaklaşımda amaç, KV'lere ait tatmin seviye değerlerinin minimumlarını elde edilen ağırlıklar ile maksimize etmektir. Amaç fonksiyonunda, üst seviye KV 1 tam ağırlığa, alt seviye KV'ler ise ÇKKV yöntemlerinden ağırlığa sahiptir ve bu değerler ile KV'lerin tatmin seviyeleri maksimize edilir.

Eğer üst seviyede birden fazla KV varsa, KV'lerin görüşlerini toplayabilmek için birden fazla karşılaştırma matrisi olacaktır. Örneğin, bir şirketin yönetim kurulundaki üyelerinin alt seviye birimler hakkında farklı yorumları vardır. Bu gibi durumlarda, bireysel karşılaştırma matrisleri elde edildikten sonra KV'lerin yargılarına ilişkin değerlendirmelerin geometrik ortalaması alınır. Daha sonra önerilen ağırlıklı Zimmermann yöntemini uygulayabiliriz.

Eğer üst seviye KV'ler elde edilen tatmin seviyelerinden memnun kalırsa algoritma sona erer. Aksi halde, karşılaştırma matrisleri yeniden düzenlenir. Önerilen yöntemin adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Farklı uzmanlar ile alt seviye KV'lerin göreceli ağırlıkları BAHF yöntemi ile belirlenir. Buradaki uzmanlar, bir şirketin yönetim kurulu üyeleri olabilirler. İkili karşılaştırma matrislerinden yararlanarak alt seviye KV'lerin göreceli önemleri (ağırlıkları) belirlenir. İkili karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{a}_{1j} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{i1} & \cdots & 1 & \cdots & \tilde{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{nj} & \cdots & 1 & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{a}_{1j} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{i1} & \cdots & 1 & \cdots & \tilde{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{n1} & 1/\tilde{a}_{nj} & \cdots & 1 & \end{bmatrix}$$

Alt seviye KV'lerin ağırlıkları w_i ($i = 1, \dots, n$) karşılaştırma matrisinden yararlanılarak hesap edilir.

Adım 2: KV'lerin üyelik fonksiyonları ödünleşme tablosundan yararlanılarak aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1, Z_0(x) \leq Z_0^L \\ \frac{Z_0^U - Z_0(x)}{Z_0^U - Z_0^L}, & Z_0^L \leq Z_0(x) \leq Z_0^U, \text{ minimizasyon için} \\ 0, Z_0(x) \geq Z_0^U \end{cases} \quad (5.1)$$

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1, Z_0(x) \geq Z_0^U \\ \frac{Z_0(x) - Z_0^L}{Z_0^U - Z_0^L}, & Z_0^L \leq Z_0(x) \leq Z_0^U, \text{ for maximization} \\ 0, Z_0(x) \leq Z_0^L \end{cases} \quad (5.2)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, Z_i(x) \geq Z_i^U \\ \frac{Z_i(x) - Z_i^L}{Z_i^U - Z_i^L}, & Z_i^L \leq Z_i(x) \leq Z_i^U, \forall_i \text{ maksimizasyon için} \\ 0, Z_i(x) \leq Z_i^L \end{cases} \quad (5.3)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, Z_i(x) \leq Z_i^L \\ \frac{Z_i^U - Z_i(x)}{Z_i^U - Z_i^L}, & Z_i^L \leq Z_i(x) \leq Z_i^U, \forall_i \text{ minimizasyon için} \\ 0, Z_i(x) \geq Z_i^U \end{cases} \quad (5.4)$$

Adım 3: Zimmermann (1978) yaklaşımına göre, bütün KV'ler ortak bir tatmin seviyesine göre kendi tatmin seviyelerini maksimize ederler. EBP I ile, bütün KV'ler kendi tatmin seviyelerini bir ÇKKV ile belirlenen bireysel ağırlıkları ile maksimize ederler. EBP I için, aşağıdaki ek (tamamlayıcı) amaç fonksiyonu optimize edilir:

$$\text{Max } \alpha_0 + w_1 \cdot \alpha_1 + w_2 \cdot \alpha_2 + \cdots + w_m \cdot \alpha_m$$

$$\alpha_0 \leq \mu_0(x)$$

$$\begin{aligned}
\alpha_i &\leq \mu_i(x) \\
Ax_j &\leq b \\
x_j &\geq 0
\end{aligned} \tag{5.5}$$

i tane alt seviye KV olduğu kabul edilmiştir ($DM_1, DM_2, \dots, DM_m$).

Z_0 : Üst seviye KV(ler)'nin amaç fonksiyonu

Z_i : i . alt seviye KV(ler)'nin amaç fonksiyonu

w_i : i . alt seviye KV(ler)'nin amaç fonksiyonunun ağırlığı

α_0 : Üst seviye KV(ler)'nin tatmin seviyesi

α_i : i . alt seviye KV(ler)'nin tatmin seviyesi

Adım 4: Eşitlik (5.5) çözülerek KV'lerin tatmin seviyeleri elde edilir. Eğer üst seviye KV çözümlerden memnun kalmazsa Adım 1'e geri dönülür.

5.2. Önerilen Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı II (EBP II)

Önerilen EBP II yaklaşımının amacı, Selim ve Özkarahan (2008), Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımlarında ele alınan amaç fonksiyonlardaki ağırlıkları ÇKKV yöntemleri ile belirlemektir. Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımının genel formülasyonu

$$\begin{aligned}
\text{Max } & \gamma\lambda + (1 - \gamma) \sum_g w_g \lambda_g \\
& \mu_g(x) \geq \lambda + \lambda_g \\
& \lambda, \lambda_g, \gamma \in [0,1] \quad \forall g \in G, \forall x \in X
\end{aligned} \tag{5.6}$$

şeklindedir. Burada, w_g g . amaç fonksiyonunun ağırlığını göstermektedir ve çeşitli ÇKKV yöntemleri ile belirlenebilmektedir. EBP II yaklaşımı ile bu ağırlıklar farklı ÇKKV yöntemleri ile elde edilerek, hangi ÇKKV yönteminin yaklaşımlar üzerinde etkisi olduğu belirlenmeye çalışılacaktır.

Literatürde ağırlıkları belirlemek için birçok yöntem önerilmiştir. Bu tez çalışmasında Entropy yöntemi, CRITIC (The Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) yöntem ve Ortalama Ağırlık (Mean Weight, OA) ve bu yöntemlerin TOPSIS yöntemi ile entegrasyonundan oluşan Entropy - TOPSIS, CRITIC - TOPSIS ve OA – TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

5.2.1. Entropy yöntemi

Entropy yöntemi bir belirsizlik ölçüsüdür ve olasılık teorisi kullanılarak formüle edilir. Entropy yöntemi ile ağırlıkları hesaplayabilmek için öncelikle karar matrisinin normalize edilmesi gerekir:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (5.7)$$

Burada i alternatif sayısını, j ise kriter sayısını göstermektedir. Sonuç olarak, normalize edilmiş karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \dots & p_{nm} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Karar bilgisinin miktarı, (5.8)'deki bilgi miktarı ve her bir kriter için entropy ölçüsü e_j aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.9)$$

burada $k = 1/\ln(m)$ şeklinde bulunur.

P matrisi ve e_j 'den yararlanılarak her bir kriterin ağırlığı

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^m (1 - e_{ij})} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.10)$$

eşitliğinden elde edilir (Deng ve ark., 2000; Zardari ve ark., 2014).

5.2.1. CRITIC yöntemi

Bu yöntem, kriterler arasındaki karşıtlıkları tespit etmek için Diakoulaki ve ark. (1995) tarafından geliştirilmiştir. Öncelikle normalize edilmiş karar matrisi (p_{ij}) kullanılarak, korelasyon matrisi (r_{ij}) elde edilir. Korelasyon matrisinin elemanları l_{ij} olmak üzere, j . kriter tarafından oluşturulan çatışma ölçüsü:

$$\sum_{i=1}^m 1 - l_{ij} \quad (5.11)$$

eşitliğinden elde edilir ve her bir kriterin ağırlığı:

$$C_j = \sigma_j \sum_{i=1}^m (1 - l_{ij}) \quad (5.12)$$

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{i=1}^m C_i} \quad (5.13)$$

olarak hesaplanır (Diakoulaki ve ark., 1995; Zardari ve ark., 2014).

5.3. Önerilen Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı III (EBP III)

Önerilen üçüncü EBP yaklaşımı, KV'lerin tatmin seviyelerinin maksimizasyon yapılmasına dayanmaktadır. Önerilen yöntemde, hem üst seviye KV'lerin alt seviye KV'leri değerlendirmesinde, hem de her KV'nin kendi amaçlarını değerlendirmesi aşamasında bir ÇKKV yöntemi kullanılmaktadır. Birden fazla üst seviye KV'nin olduğu durumlarda KV'lerin yargıları geometrik ortalama yöntemi ile birleştirilir. Önerilen yöntem ile KV'lerin görüşleri modele yansıtılmış böylelikle dilsel değerlendirmelerin modelde yer alması sağlanmıştır.

Aşağıda önerilen yöntemin adımları açıklanmıştır:

Adım 1: Üst seviye KV(ler) diğer KV'lerin kendi açısından önem sırası ve ağırlığını herhangi bir ÇKKV yöntemi ile belirler. Üst seviye KV'ye göre diğer KV'lerin önemi ikili karşılaştırma matrisi ile belirlenir. İkili karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{a}_{1j} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{i1} & \cdots & 1 & \cdots & \tilde{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{nj} & \cdots & 1 & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{a}_{1j} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{i1} & \cdots & 1 & \cdots & \tilde{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{n1} & 1/\tilde{a}_{nj} & \cdots & 1 & \end{bmatrix}$$

İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak ağırlık vektörü (w_j) elde edilir. Burada w_j alt seviyedeki KV'ler için AHP'den bulunan ağırlıklara eşittir. Birden fazla KV'nin ağırlıklarını toplamak için geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır.

Adım 2: Her bir KV kendi farklı amaçlarını bir ÇKKV yöntemi ile değerlendirir. Elde edilen bireysel ağırlıklara göre, her KV kendi amacını aşağıdaki şekilde optimize eder:

$$\text{Min } Z_{0i} = w_{0i1} \cdot x_1 + w_{0i2} \cdot x_2 + \cdots + w_{0il} \cdot x_m$$

$$\text{Min } Z_{1j} = w_{1j1} \cdot x_1 + w_{1j2} \cdot x_2 + \cdots + w_{1jl} \cdot x_n \quad (5.14)$$

Üst seviyede i KV'nin $(DM_1, DM_2, \dots, DM_m)$ ve alt seviyede j KV'nin $(DM_1, DM_2, \dots, DM_n)$ yer aldığı varsayılmıştır. Üst seviye KV'lerin amaçları $[Z_{0i}]$, alt seviye KV'lerin amaçları $[Z_{1j}]$ ve her bir KV'nin l tane amacı olduğu kabul edilmiştir.

w_{0il} : i . Üst seviye KV'nin l . amacının ağırlığı

w_{1jl} : j . Alt seviye KV'nin l . amacının ağırlığı

Adım 3: Ağırlıklı toplam (weighted sum) yöntemine göre çözülen bireysel amaç fonksiyonları kullanılarak her bir KV için en iyi değerlerini de gösteren pay-off table elde edilir, yani ödünleşme tablosu oluşturulur.

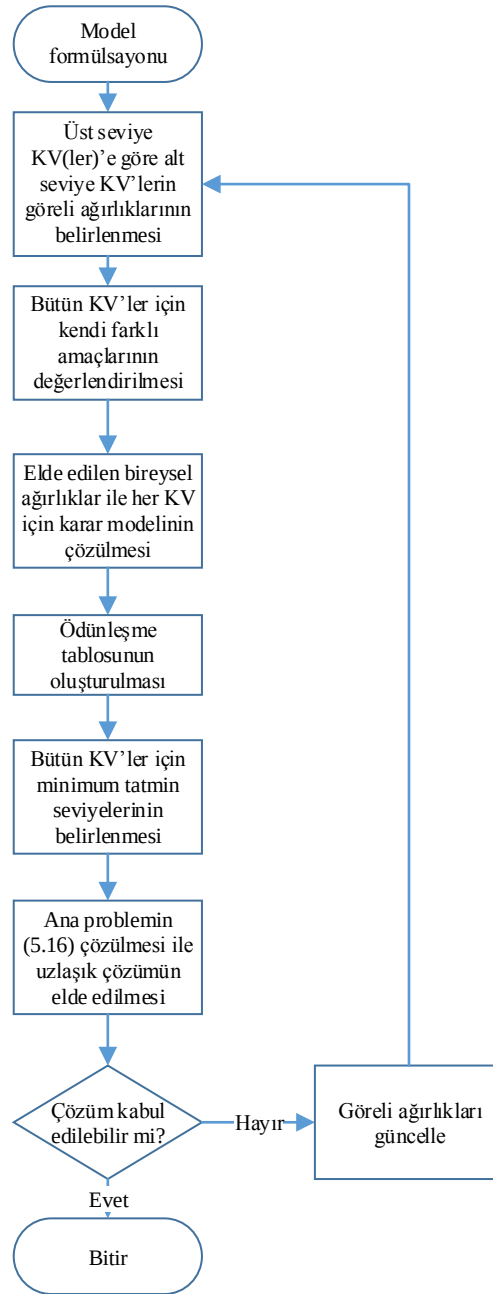
Adım 4: Üst seviye KV kendisi için bir minimum tatmin seviyesi (δ_0) ve buradan yola çıkarak alt seviye KV'lerin minimum tatmin seviyelerini belirler:

$$\Gamma_{1j}^L = w_j \cdot \delta_0 \quad (5.15)$$

Adım 5: Aşağıdaki problem çözülür ve her KV için tatmin seviyeleri elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{i=1}^m \mu_{0i}(Z_{0i}) + \sum_{j=1}^n w_j \cdot \mu_{1j}(Z_{1j}) \\ & \mu_{0i}(Z_{0i}) \geq \delta_0 \\ & \mu_{1j}(Z_{1j}) \geq \Gamma_{1j}^L \\ & Ax \leq b \end{aligned} \quad (5.16)$$

Önerilen EBP-III yönteminin akış şeması Şekil 5.1'de verilmiştir:



Şekil 5.1. Önerilen EBP-III yaklaşımının işlem adımları

5.4. Önerilen Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı IV (EBP IV)

Karar vericiler arasındaki işbirliğini ele alabilmek amacıyla üçüncü yönteme bir denge oranı eklenerek algoritma geliştirilmiştir. Üst seviye KV(ler), alt seviye KV'ler arasında bir sınır belirleyerek KV'ler arasındaki tatmin seviyelerin oranına bakılır. Eğer tatmin seviyelerinin denge oranı belirlenen sınırlar dâhilinde ise algoritma durdurulur aksi halde denge oranı sağlanana kadar algoritmaya devam edilir. Önerilen algoritma aşağıda ayrıntılı bir biçimde verilmiştir:

Üst seviye KV'ler ile alt seviye KV'lerin göreceli ağırlıklarının belirlenmesi

Adım 1: Üst seviye KV(ler) diğer KV'lerin kendi açısından önem sırası ve ağırlığını herhangi bir ÇKKV yöntemi ile belirler. Üst seviye KV'ye göre diğer KV'lerin önemi ikili karşılaştırma matrisi ile belirlenir. İkili karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{a}_{1j} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{i1} & \cdots & 1 & \cdots & \tilde{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{nj} & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{a}_{1j} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{i1} & \cdots & 1 & \cdots & \tilde{a}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{n1} & 1/\tilde{a}_{nj} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak ağırlık vektörü (w_j) elde edilir. Burada w_j alt seviyedeki KV'ler için AHP'den bulunan ağırlıklara eşittir. Birden fazla KV'nin ağırlıklarını toplamak için geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır.

Bireysel amaç fonksiyonlarının ağırlıklarının değerlendirilmesi

Adım 2: Her bir KV kendi farklı amaçlarını bir ÇKKV yöntemi ile değerlendirir. Elde edilen bireysel ağırlıklara göre, her KV kendi amacını aşağıdaki şekilde optimize eder:

$$\text{Min } Z_{0i} = w_{0i1} \cdot x_1 + w_{0i2} \cdot x_2 + \cdots + w_{0il} \cdot x_m$$

$$\text{Min } Z_{1j} = w_{1j1} \cdot x_1 + w_{1j2} \cdot x_2 + \cdots + w_{1jl} \cdot x_n \quad (5.17)$$

Üst seviyede i KV'nin $(DM_1, DM_2, \dots, DM_m)$ ve alt seviyede j KV'nin $(DM_1, DM_2, \dots, DM_n)$ yer aldığı varsayılmıştır. Üst seviye KV'lerin amaçları $[Z_{0i}]$, alt seviye KV'lerin amaçları $[Z_{1j}]$ ve her bir KV'nin l tane amacı olduğu kabul edilmiştir.

w_{0il} : i . Üst seviye KV'nin l . amacının ağırlığı

w_{1jl} : j . Alt seviye KV'nin l . amacının ağırlığı

Ödünleşme tablosunun elde edilmesi

Adım 3: Ağırlıklı toplam (weighted sum) yöntemine göre çözülen bireysel amaç fonksiyonları kullanılarak her bir KV için en iyi değerlerini de gösteren pay-off table elde edilir, yani ödünleşme tablosu oluşturulur.

Minimum tatmin seviyelerinin belirlenmesi

Adım 4: Üst seviye KV kendisi için bir minimum tatmin seviyesi (δ_0) ve buradan yola çıkarak alt seviye KV'lerin minimum tatmin seviyelerini belirler:

$$\Gamma_{1j}^L = w_j \cdot \delta_0 \quad (5.18)$$

Ana problemin çözülmesi

Adım 5: Aşağıdaki problem çözülür ve her KV için tatmin seviyeleri elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{i=1}^m \mu_{0i}(Z_{0i}) + \sum_{j=1}^n w_j \cdot \mu_{1j}(Z_{1j}) \\ & \mu_{0i}(Z_{0i}) \geq \delta_0 \\ & \mu_{1j}(Z_{1j}) \geq \Gamma_{1j}^L \\ & Ax \leq b \end{aligned} \quad (5.19)$$

Üst seviye ve alt seviye KV'ler arasındaki etkileşim

Adım 6: Üst seviye KV, üst seviye KV(ler) ve alt seviye KV'ler arasındaki tatmin seviyelerinin dengesi (Δ_j) için alt ve üst sınır olan $[\Delta_L, \Delta_U]$ değerlerini belirler. KV'ler için tatmin seviyelerinin oranı aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$\Delta_j = \frac{\mu_{1j}(Z_{1j})}{\min(\mu_{0i}(Z_{0i}))} \quad (5.20)$$

Oran hesaplandıktan sonra aşağıdaki şartların uygunluğu incelenir:

- i) Eğer $\Delta_j \in [\Delta_L, \Delta_U]$, uzlaşık bir çözüm elde edilmiştir ve algoritma sona erer.
- ii) Eğer $\Delta_j \leq \Delta_L$, j . alt seviye KV'nin minimum tatmin seviyesi aşağıdaki eşitliğe göre güncellenir.

$$\Gamma_{1j}^L = \frac{w_j \cdot \delta_0}{\Delta_U} \quad (5.21)$$

iii) Eğer $\Delta_j > \Delta_L$, **j.** alt seviye KV'nin minimum tatmin seviyesi aşağıdaki eşitliğe göre güncellenir.

$$\Gamma_{1j}^L = w_j \cdot \delta_0 \cdot \Delta_U \quad (5.22)$$

Durdurma koşulları

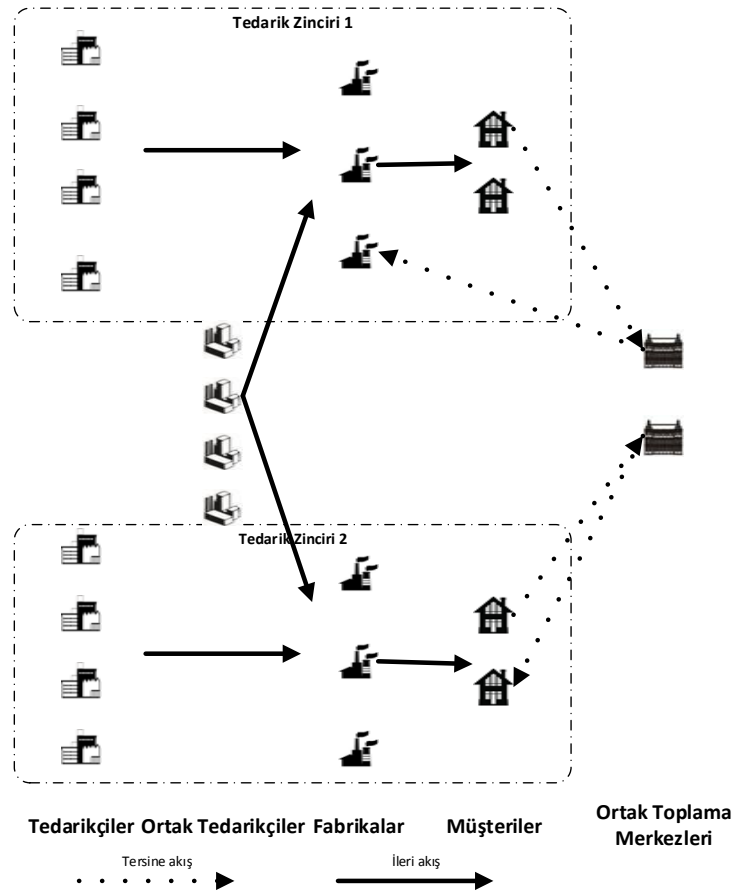
Üst seviye KV(ler) alt seviye KV'lerin tatmin seviyelerinin ikinci veya üçüncü koşul sağlanana kadar günceller ve algoritma üst seviye KV(ler) uzlaşık çözümü elde edene kadar devam eder.

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, beşinci bölümde önerilen etkileşimli bulanık programlama yaklaşımlarının analizi GAMS paket programı ile yapılmış ve modellerin uygulanabilirliği test edilmiştir. Parametre değerlerindeki değişimlerin modeller üzerindeki etkisi senaryo analizleri ile test edilmiş ve çeşitli öneriler KV'lere sunulmuştur.

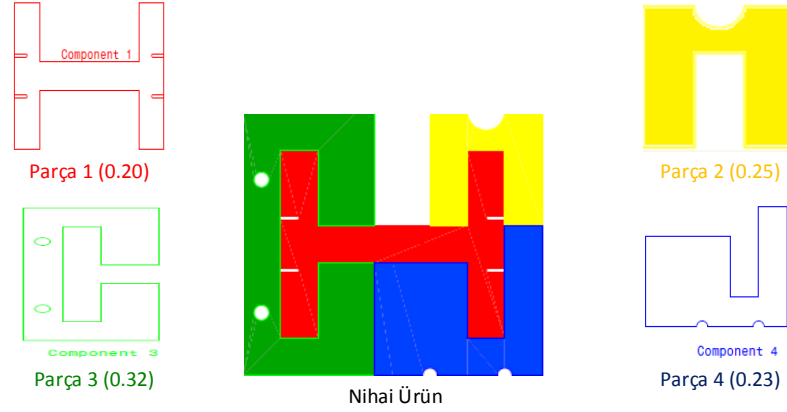
6.1. Model 1'e Ait Sayısal Örnek

Geliştirilen ortak KDTZ ağ tasarımının geçerliliğini sınamak için 4 ortak tedarikçi, TZ1 ve TZ2'de 4 tedarikçi, TZ1 ve TZ2'de 3 üretici, TZ1 ve TZ2'de 2 müşteri ve 2 ortak toplama merkezinden oluşan bir tasarım ele alınmıştır ve Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Model 1'e ait sayısal örnekteki ağ yapısı

Tedarikçiler, fabrikalarda montajlanmak üzere ağırlık oranlarında parçalar sevk etmekte ve ele alınan nihai ürünün 4 parçadan oluştuğu varsayılmaktadır. Bu parçalara ilişkin ağırlık oranları Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Nihai ürüne ait ürün ağacı

Nihai ürün olarak ele alınan ürün, ton cinsinden hesaplanmış ve nihai ürünü oluşturan parçalarda ton cinsinden ele alınmıştır. Üreticilerde belirtilen oranlarda parçaların montajlanması sonucu nihai ürünler elde edilmekte, bu ürünler üreticiler tarafından müşterilere (nihai kullanıcı) ulaştırılmaktadır. Müşterilerden her dönem kullanılmış ürünler toplama merkezlerince toplanmaktadır. Toplama merkezlerince toplanan bu ürünler bir sonraki dönemde üreticilerin parça ihtiyacını karşılamak üzere üreticilere çıkma parça olarak iletilmektedir.

Birim taşıma maliyeti (utc) ton-km başına 1.25 cent, ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen ürün yüzdesi TZ1 ve TZ2 için 0.15 olarak ele alınmıştır. Üreticilerde stokta parça kalmasını sağlamak için, TZ1 için dönemdeki müşteri taleplerinin $\lambda_1 = 0.20$ 'si ve TZ2 için ise dönemdeki müşteri taleplerinin $\lambda_2 = 0.18$ 'i oranında parça tutulduğu kabul edilmiştir.

Örneğe ilişkin diğer veriler Çizelge 6.1 - 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. TZ1 için üreticiler ile kendi tedarikçileri, ortak tedarikçiler, ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Üretici 1	Üretici 2	Üretici3
Tedarikçi 1	141	282	204
Tedarikçi 2	283	131	265
Tedarikçi 3	290	274	121
Tedarikçi 4	169	285	104
Ortak tedarikçi 1	265	378	217
Ortak tedarikçi 2	364	273	247
Ortak tedarikçi 3	281	120	196
Ortak tedarikçi 4	384	186	162
Ortak toplama merkezi 1	420	155	341
Ortak toplama merkezi 2	177	52	114
Müşteri 1	64	135	52
Müşteri 2	89	80	103

Çizelge 6.2. TZ1 için ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Müşteri 1	Müşteri 2
Ortak toplama merkezi 1	89	76
Ortak toplama merkezi 2	52	169

Çizelge 6.3. TZ2 için üreticiler ile kendi tedarikçileri, ortak tedarikçiler, ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Üretici 1	Üretici 2	Üretici3
Tedarikçi 1	251	205	211
Tedarikçi 2	169	190	187
Tedarikçi 3	222	280	295
Tedarikçi 4	280	207	271
Ortak tedarikçi 1	317	289	285
Ortak tedarikçi 2	297	148	266
Ortak tedarikçi 3	227	263	339
Ortak tedarikçi 4	262	341	311
Ortak toplama merkezi 1	71	152	106
Ortak toplama merkezi 2	191	275	340
Müşteri 1	144	73	129
Müşteri 2	101	62	103

Çizelge 6.4. TZ2 için ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Müşteri 1	Müşteri 2
Ortak toplama merkezi 1	69	151
Ortak toplama merkezi 2	53	111

Çizelge 6.5. TZ1 için üreticiler, kendi tedarikçileri ve ortak tedarikçilerin kapasiteleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Üretici 1	Parça 1	578	284	557
	Parça 2	615	616	300
	Parça 3	477	549	281
	Parça 4	312	370	686
Üretici 2	Parça 1	381	303	496
	Parça 2	509	280	368
	Parça 3	629	388	436
	Parça 4	394	403	570
Üretici 3	Parça 1	374	296	255
	Parça 2	528	403	390
	Parça 3	396	542	713
	Parça 4	427	461	256
Tedarikçi 1	Parça 1	679	526	842
	Parça 2	969	675	564
	Parça 3	533	552	874
	Parça 4	775	926	665
Tedarikçi 2	Parça 1	810	563	610
	Parça 2	818	580	621
	Parça 3	955	886	834
	Parça 4	691	845	562
Tedarikçi 3	Parça 1	686	875	952
	Parça 2	612	572	709
	Parça 3	573	558	941
	Parça 4	884	864	992
Tedarikçi 4	Parça 1	670	943	718
	Parça 2	594	689	540
	Parça 3	578	874	749
	Parça 4	643	865	567
Ortak Tedarikçi 1	Parça 1	1494	1970	1170
	Parça 2	1328	1544	1138
	Parça 3	1538	863	1272
	Parça 4	520	1283	1679
Ortak Tedarikçi 2	Parça 1	882	1741	1073
	Parça 2	971	1556	1975
	Parça 3	1940	554	656
	Parça 4	942	571	1877
Ortak Tedarikçi 3	Parça 1	592	1151	908
	Parça 2	1578	891	1724
	Parça 3	801	1390	837
	Parça 4	1724	1493	1550
Ortak Tedarikçi 4	Parça 1	744	1965	965
	Parça 2	1475	1383	1550
	Parça 3	1320	1681	520
	Parça 4	550	1853	1217

Çizelge 6.6. TZ2 için kendi tedarikçileri, üreticiler ve ortak toplama merkezlerinin kapasiteleri (km)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Tedarikçi 1	Parça 1	704	714	514
	Parça 2	825	617	947
	Parça 3	700	581	947
	Parça 4	723	974	996
Tedarikçi 2	Parça 1	668	888	999
	Parça 2	770	550	826
	Parça 3	829	799	999
	Parça 4	774	746	688
Tedarikçi 3	Parça 1	934	536	592
	Parça 2	573	517	897
	Parça 3	945	781	545
	Parça 4	758	508	503
Tedarikçi 4	Parça 1	766	616	931
	Parça 2	770	662	509
	Parça 3	771	789	729
	Parça 4	599	583	655
Üretici 1	Parça 1	558	536	363
	Parça 2	383	549	483
	Parça 3	725	250	370
	Parça 4	383	437	507
Üretici 2	Parça 1	308	462	408
	Parça 2	575	628	503
	Parça 3	750	315	256
	Parça 4	281	337	607
Üretici 3	Parça 1	629	569	268
	Parça 2	575	570	343
	Parça 3	461	707	573
	Parça 4	729	403	626
Ortak toplama merkezi 1		493	584	999
Ortak toplama merkezi 2		917	689	384

Çizelge 6.7. TZ1 ve TZ2 için müşteri talepleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
TZ1	Müşteri 1	76	210	130
	Müşteri 2	245	216	97
TZ2	Müşteri 1	243	105	147
	Müşteri 2	115	154	166

Çizelge 6.8. TZ1, TZ2 ve ortak tedarikçiler için parçaları satın alma maliyetleri/satış fiyatları (\$)

		TZ1	TZ2	Ortak Tedarikçi
Parça 1	Tedarikçi 1	2565	7792	1076
	Tedarikçi 2	3634	1040	2262
	Tedarikçi 3	5242	8734	1170
	Tedarikçi 4	1460	2507	5544
Parça 2	Tedarikçi 1	4813	8114	7243
	Tedarikçi 2	7976	4755	3191
	Tedarikçi 3	668	288	2090
	Tedarikçi 4	5726	5918	3672
Parça 3	Tedarikçi 1	2271	1573	2929
	Tedarikçi 2	8668	5928	5547
	Tedarikçi 3	7275	7304	1876
	Tedarikçi 4	6248	8079	844
Parça 4	Tedarikçi 1	7804	1556	3599
	Tedarikçi 2	1067	9757	2232
	Tedarikçi 3	5086	435	3481
	Tedarikçi 4	5840	3827	3529

Çizelge 6.9. TZ1, TZ2'deki üreticiler ve ortak toplama merkezleri için sabit işletme maliyetleri (\$)

	Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Üretici 1	65000	75000	68000
TZ1 Üretici 2	57000	45000	85000
Üretici3	50000	17000	60000
Üretici 1	90000	37000	60000
TZ2 Üretici 2	65000	86000	35000
Üretici3	67000	85000	70000
Ortak toplama merkezi 1	75000	23000	70000
Ortak toplama merkezi 2	50000	77000	65000

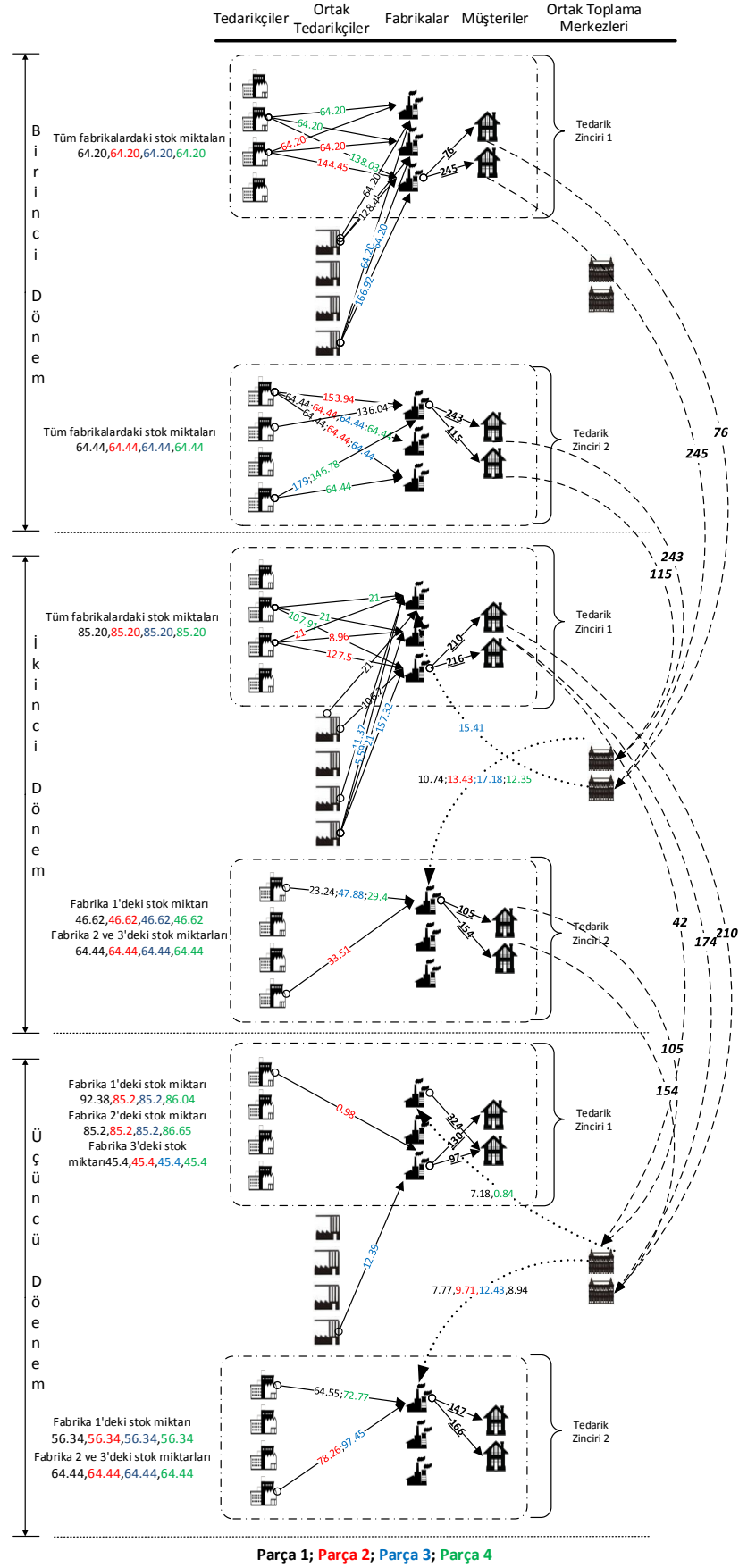
Çizelge 6.10. Ortak toplama merkezleri için parçaları satın alma maliyetleri/satış fiyatları (\$)

	Parça 1	Parça 2	Parça 3	Parça 4
Ortak toplama merkezi 1	2465	5018	5903	1633
Ortak toplama merkezi 2	2525	7375	4488	770

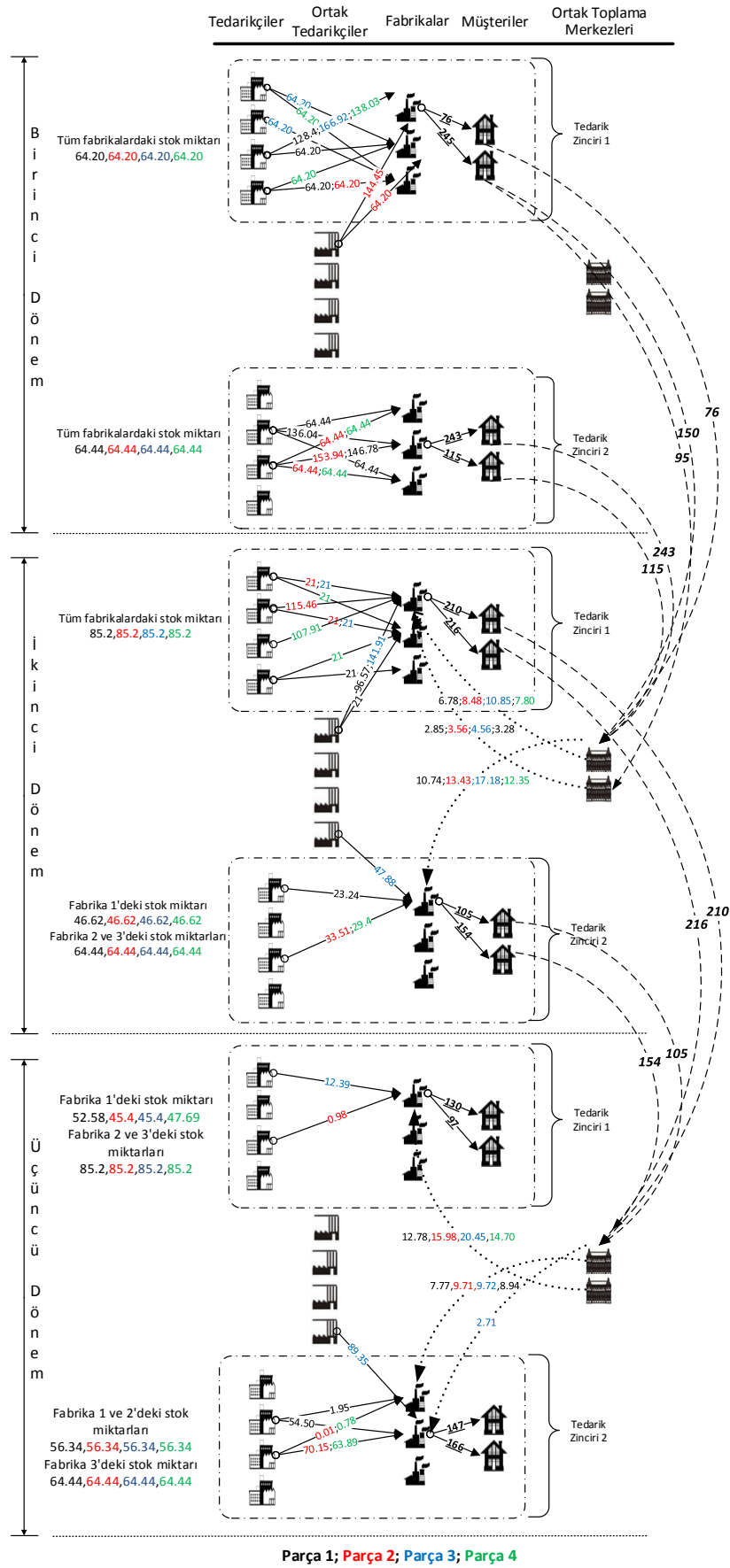
Çizelge 6.11. TZ1 ve TZ2 için parçaları stokta tutma maliyetleri (\$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3	
TZ1	Üretici 1	Parça 1	526	270	364
		Parça 2	358	525	408
		Parça 3	939	100	365
		Parça 4	332	182	448
	Üretici 2	Parça 1	602	293	966
		Parça 2	511	818	543
		Parça 3	209	479	232
		Parça 4	850	864	667
	Üretici 3	Parça 1	800	622	842
		Parça 2	973	964	147
		Parça 3	394	373	157
		Parça 4	560	622	740
TZ2	Üretici 1	Parça 1	819	698	591
		Parça 2	282	206	753
		Parça 3	985	170	806
		Parça 4	367	447	466
	Üretici 2	Parça 1	245	350	385
		Parça 2	106	772	641
		Parça 3	380	145	913
		Parça 4	415	963	757
	Üretici 3	Parça 1	153	890	615
		Parça 2	327	513	503
		Parça 3	889	517	241
		Parça 4	166	147	525

Yukarıdaki veriler ışığında, geliştirilen Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP) modeli (4.1)-(4.43) eşitlikleri ile 2.67 GHz işlemcili ve 3GB RAM'e sahip bilgisayarda GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programı ile farklı KV'ler için çözülmüştür. KV1 ve KV2'nin amaçlarının optimum yapılmasına ait optimal dağıtım planları Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.3. KV1 için dönemlere ilişkin optimal dağıtım ağı



Şekil 6.4. KV2 için dönemlere ilişkin optimal dağıtım ağı

Şekil 6.3'e göre, TZ1 için: birinci dönemde 539.28 ton parça kendi tedarikçilerinden alınırken, 552.12 ton parça ortak tedarikçilerden satın alınmıştır. Alınan toplam 1091.4 ton parça 321 ton ürün üretiminde kullanılmıştır. Bu ürünler bir dönem kullanıldıktan sonra, ikinci ortak toplama merkezine gönderilmiştir. Şekil 6.3 incelendiğinde, TZ2 için: 259 ton birim üretilirken, birinci fabrikada dört parçanın her birinden 46.62 ton, ikinci ve üçüncü fabrikada ise yine dört parçadan 64.44 ton stokta tutulduğu gözükmemektedir. KV2 için aynı sonuçlar karşılaştırılırsa, Şekil 6.4'de, TZ1 için: birinci dönemde 1091.4 ton parça 321 ton ürün üretiminde kullanılmıştır. Aynı miktarda ürün üretilirken kendi tedarikçisinden alınan parça miktarı artmış ancak ortak tedarikçiye hiçbir parça alınmamıştır. Şekil 6.4'e bakıldığında TZ2 için: 259 ton ürün birinci ortak toplama merkezine gönderilirken, birinci ortak toplama merkezinden toplamda 36.14 ton parça birinci fabrikasına ikinci el parça olarak gönderilmiştir.

6.1.1. Model 1'in Zimmermann (1978) yaklaşımı ile çözümü

Zimmermann (1978)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı için ilk önce her bir amaç tek başına çözülerek amaçlara ilişkin ödünleşme tablosu elde edilir. Çizelge 6.12, GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programına göre, her bir amacın tek başına optimize edildiği ve diğer amaçların o şartlar altında aldıkları değerleri göstermektedir.

Çizelge 6.12. Model 1'e ilişkin ödünleşme tablosu

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
$\min Z_1$	4118349.99 (Z_1^1)	11082521.55	847452.36	421643.70
$\min Z_2$	12441503.42	3226638.69 (Z_2^1)	2429085.29	450659.86
$\max Z_3$	56681998.58	61747740.94	95892308.59 (Z_3^1)	1002435.53
$\max Z_4$	16780863.98	14198741.20	4501151.95	1159113.03 (Z_4^0)
<i>En kötü değerler</i>	<i>56681998.58</i> (Z_1^0)	<i>61747740.94</i> (Z_2^0)	<i>847452.36</i> (Z_3^0)	<i>421643.7</i> (Z_4^0)

Çizelge 6.12'de koyu ile ifade edilen değerler, her bir amacın en iyi olduğu Z_G^1 değerlerini göstermektedir. Yine aynı şekilde sütun değerlerinde ise her bir amacın en kötü değerleri olan Z_G^0 değerleri ise italik olarak gösterilmiştir. Yani Z_1 , Z_2 , Z_3 ve Z_4 değerleri aynı şartlar altında daima bu sınırlar arasında yer alacaktır. Bu sınırlar dâhilinde her bir amaca ait üyelik fonksiyonları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\mu_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 1, & Z_1(x) \leq 4118349.99 \\ \frac{56681998.58 - Z_1(x)}{56681998.58 - 4118349.99}, & 4118349.99 \leq Z_1(x) \leq 56681998.58 \\ 0, & Z_1(x) \geq 56681998.58 \end{cases} \quad (6.1)$$

$$\mu_2(Z_2(x)) = \begin{cases} 1, & Z_2(x) \leq 3226638.69 \\ \frac{61747740.94 - Z_2(x)}{61747740.94 - 3226638.69}, & 3226638.69 \leq Z_2(x) \leq 61747740.94 \\ 0, & Z_2(x) \geq 61747740.94 \end{cases} \quad (6.2)$$

$$\mu_3(Z_3(x)) = \begin{cases} 1, & Z_3(x) \geq 95892308.59 \\ \frac{Z_3(x) - 847452.36}{95892308.59 - 847452.36}, & 847452.36 \leq Z_3(x) \leq 95892308.59 \\ 0, & Z_3(x) \leq 847452.36 \end{cases} \quad (6.3)$$

$$\mu_4(Z_4(x)) = \begin{cases} 1, & Z_4(x) \geq 1159113.03 \\ \frac{Z_4(x) - 421643.7}{1159113.03 - 421643.7}, & 421643.7 \leq Z_4(x) \leq 1159113.03 \\ 0, & Z_4(x) \leq 421643.7 \end{cases} \quad (6.4)$$

Yukarıda elde edilen üyelik fonksiyonları ve α tatmin seviyesi değişkeninin modele eklenmesi ile bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi tek amaçlı KDP modeline dönüşür.

Max α

$$\alpha \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{56681998.58 - Z_1(x)}{56681998.58 - 4118349.99}$$

$$\alpha \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{61747740.94 - Z_2(x)}{61747740.94 - 3226638.69}$$

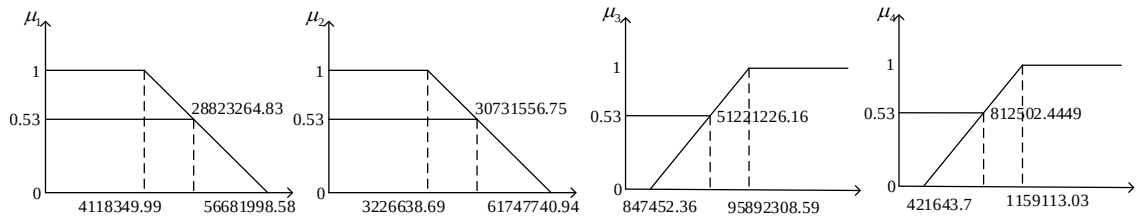
$$\alpha \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) - 847452.36}{95892308.59 - 847452.36}$$

$$\alpha \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) - 421643.7}{1159113.03 - 421643.7}$$

Kısıtlar (4.11) - (4.43)

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6.5)$$

Yukarıda verilen tek amaçlı KDP problemi GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve elde edilen optimal sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi $\alpha = 0.53$ ve olarak bulunmuştur. Şekil 6.5 optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerlerini göstermektedir. Bu sonuçlara göre birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü amaçlar ortak tatmin seviyesi olan 0.53'e eşit çıkmaktadır.



Şekil 6.5. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

6.1.2. Model 1'in 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 KDP modeline dönüştürülür. Burada, $w_1 = 0.25, w_2 = 0.25, w_3 = 0.25$ ve $w_4 = 0.25$ alınmıştır.

$$\text{Max } \gamma\lambda + (1 - \gamma)[0.25\lambda_1 + 0.25\lambda_2 + 0.25\lambda_3 + 0.25\lambda_4]$$

$$\lambda + \lambda_1 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{56681998.58 - Z_1(x)}{56681998.58 - 4118349.99}$$

$$\lambda + \lambda_2 \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{61747740.94 - Z_2(x)}{61747740.94 - 3226638.69}$$

$$\lambda + \lambda_3 \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) - 847452.36}{95892308.59 - 847452.36}$$

$$\lambda + \lambda_4 \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) - 421643.7}{1159113.03 - 421643.7}$$

Kısıtlar (4.11) - (4.43)

$$\gamma, \lambda, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \in [0,1] \quad (6.6)$$

Yukarıda verilen tek amaçlı KDP problemi GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve elde edilen optimal sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi $\lambda = 0.53$ olarak bulunmuştur. Her bir tatmin seviyesi de 0.53 olarak bulunmuştur. $\gamma = 1$ alınması ile Zimmermann (1978) yaklaşımı ile aynı sonuçlar elde edileceği açıktır.

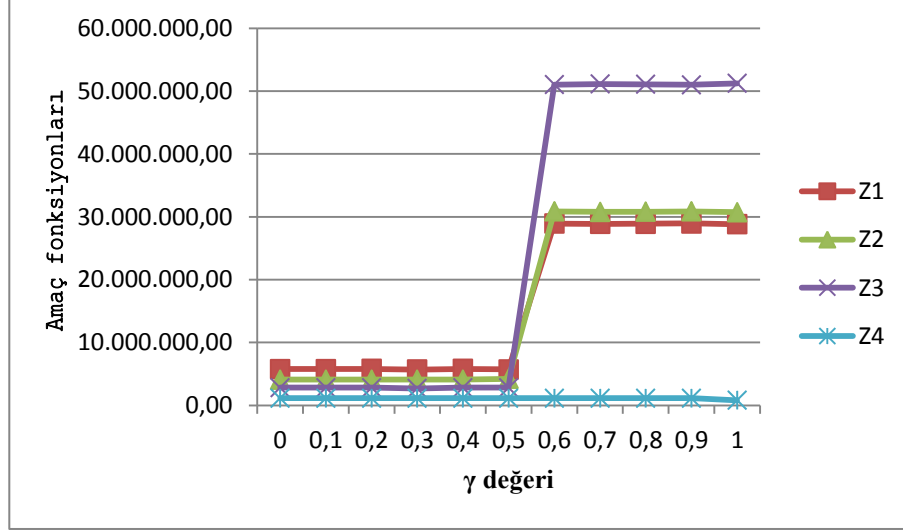
4.1.2.1. γ değerinin etkisi

γ değerinin model üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla, γ değeri $[0,1]$ aralığında 0.1 artırılmış ve Çizelge 6.13'te verilen sonuçlar elde edilmiştir.

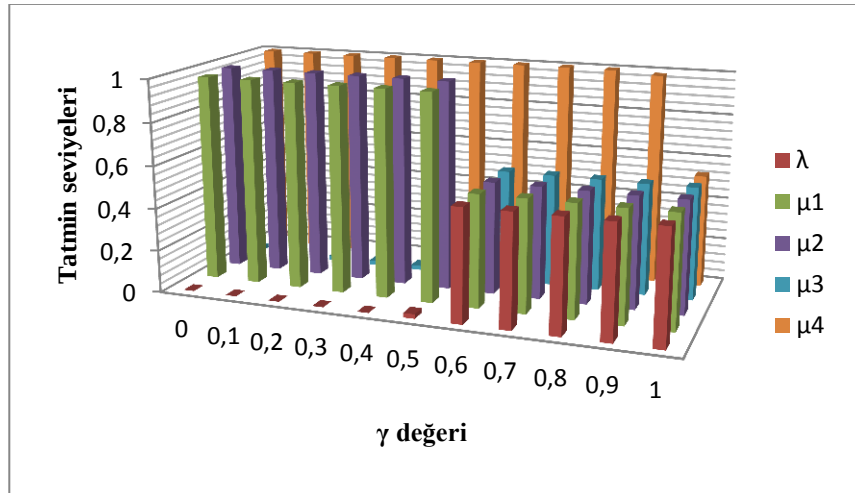
Çizelge 6.13. Farklı γ değerleri altında elde edilen sonuçlar

γ	λ	$Z_1(\$)$	$Z_2(\$)$	$Z_3(\$)$	$Z_4(\$)$	$\mu_1(Z_1(x))$	$\mu_2(Z_2(x))$	$\mu_3(Z_3(x))$	$\mu_4(Z_4(x))$	CPU(s)
0	0	5787347.94	4106628.60	2819955.07	1159062.72	0.97	0.98	0.02	1	45
0.1	0	5787347.94	4106908.05	2819955.07	1159062.72	0.97	0.98	0.02	1	44
0.2	0	5794666.74	4106628.60	2825989.87	1159062.72	0.97	0.98	0.02	1	34
0.3	0	5715732.84	4106908.05	2691811.87	1159062.72	0.97	0.98	0.02	1	34
0.4	0	5796821.11	4108232.40	2825989.87	1159062.72	0.97	0.98	0.02	1	27
0.5	0.021	5725727.40	4229871.08	2827623.82	1159062.72	0.97	0.98	0.02	1	25

0.6	0.528	28930146.65	30850552.33	51027963.94	1159113.03	0.53	0.53	0.53	1	33
0.7	0.529	28873709.84	30787719.09	51130012.20	1159113.03	0.53	0.53	0.53	1	41
0.8	0.529	28901111.07	30818225.92	51080465.68	1159062.72	0.53	0.53	0.53	1	34
0.9	0.528	28950529.53	30873245.36	50991107.91	1148633.03	0.528	0.528	0.528	0.986	31
1	0.53	28814311.20	30721588.33	51237415.99	812628.06	0.53	0.53	0.53	0.53	23



Şekil 6.6. Farklı γ değerlerinin KV'lerin amaç fonksiyonu üzerine etkisi



Şekil 6.7. Farklı γ değerlerinin KV'lerin tatmin seviyeleri üzerine etkisi

Şekil 6.6'da verilen amaç fonksiyonu grafiği incelendiğinde, $\gamma = 0.5$ değerinden sonra amaç fonksiyonunda bir artış olduğu gözükmemektedir. $\gamma = 0$ değerinde amaç fonksiyonu değeri KV1 için 5787347.94\$ iken $\gamma = 1$ değerinde bu değer 28814311.20 olmuştur. Yani, KV1 için amaç fonksiyonunda %25'lik bir artış meydana gelmiştir. Amaç fonksiyonundaki bu artış, KV1'in tatmin seviyesinde yaklaşık %45'lik bir azalışa neden olmuştur. KV4 için ise tatmin seviyesindeki yaklaşık %50'lik azalma amaç

fonksiyonunda %29'luk bir azalmaya sebep olmuştur. Çözüm süreleri incelendiğinde, λ değerinin artması ile gerekli çözüm süresi azalmıştır. Bu durumun en önemli sebebi λ değerinin artması ile minimum tatmin seviyesine toplam amaç fonksiyonu değerinden daha fazla önem verilmesidir. Bundan dolayı λ değeri yükseldikçe toplam amaç fonksiyonu gerekli düzeyde minimize edilmemektedir.

6.1.3. Model 1'in Torabi ve Hassini (2008)'in etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü

Zimmermann (1978) çözümünde tanımlanan üyelik fonksiyonları ve ortak tatmin seviyesi λ kullanılarak problem aşağıdaki şekilde tek amaçlı KDP modeline dönüştürülür. Burada, $w_1 = 0.25, w_2 = 0.25, w_3 = 0.25$ ve $w_4 = 0.25$ alınmıştır.

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \gamma\lambda + (1 - \gamma)[0.25.\mu_1(Z_1(x)) + 0.25.\mu_2(Z_2(x)) + 0.25.\mu_3(Z_3(x)) \\
 & + 0.25.\mu_4(Z_4(x))] \\
 \lambda \leq \mu_1(Z_1(x)) = & \frac{56681998.58 - Z_1(x)}{56681998.58 - 4118349.99} \\
 \lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = & \frac{61747740.94 - Z_2(x)}{61747740.94 - 3226638.69} \\
 \lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = & \frac{Z_3(x) - 847452.36}{95892308.59 - 847452.36} \\
 \lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = & \frac{Z_4(x) - 421643.7}{1159113.03 - 421643.7} \\
 \text{Kısıtlar (4.11) - (4.43)} \\
 \gamma, \lambda \in [0,1] & \tag{6.7}
 \end{aligned}$$

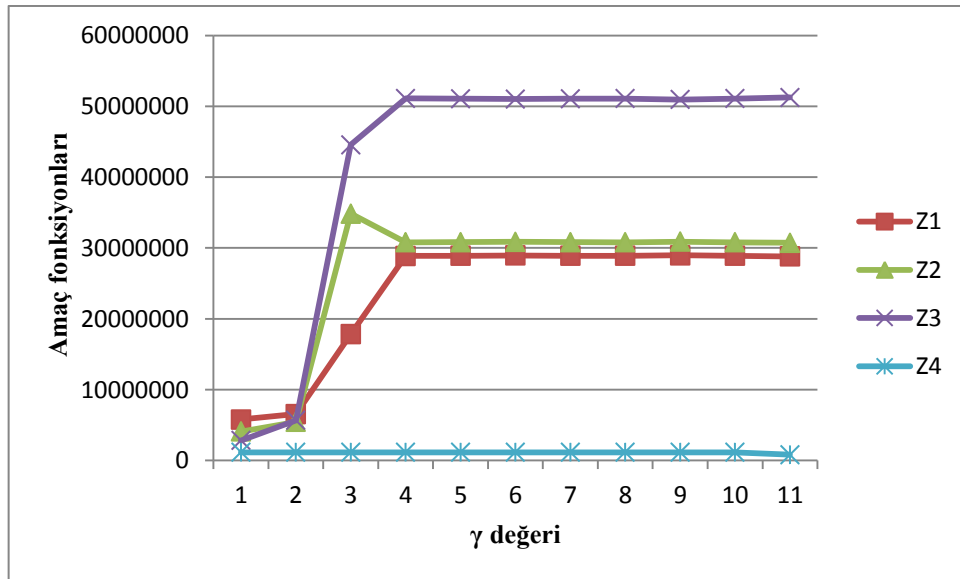
Yukarıda verilen tek amaçlı KDP problemi GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve elde edilen optimal sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi $\lambda = 0.53$ olarak bulunmuştur. Her bir tatmin seviyesi de 0.53 olarak bulunmuştur. $\gamma = 1$ alınması ile Zimmermann (1978) yaklaşımı ile aynı sonuçlar elde edileceği açıktır.

4.1.3.1. γ değerinin etkisi

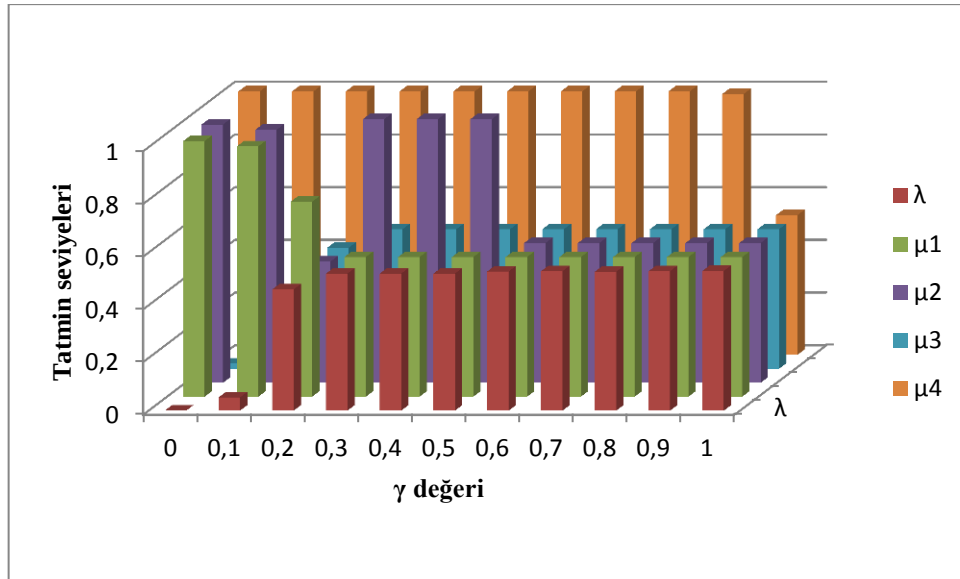
γ değerinin model üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla, γ değeri [0,1] aralığında 0.1 artırılmış ve Çizelge 6.14’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.14. Farklı γ değerleri altında elde edilen sonuçlar

γ	λ	$Z_1(\$)$	$Z_2(\$)$	$Z_3(\$)$	$Z_4(\$)$	$\mu_1(Z_1(x))$	$\mu_2(Z_2(x))$	$\mu_3(Z_3(x))$	$\mu_4(Z_4(x))$	CPU(s)
0	0	5787347.94	4106628.60	2819955.07	1159062.72	0.97	0.98	0.02	1	23
0.1	0.05	6565148.34	5460517.93	5679017.08	1159062.72	0.95	0.96	0.05	1	27
0.2	0.46	17840680.09	34835604.26	44555791.11	1159113.03	0.74	0.46	0.46	1	34
0.3	0.52	28884843.83	30800114.98	51109879.87	1159113.03	0.53	0.53	0.53	1	37
0.4	0.52	28907513.74	30825354.26	51068888.45	1159113.03	0.53	0.53	0.53	1	27
0.5	0.52	28936616.88	30857755.89	51016264.56	1159113.03	0.53	0.53	0.53	1	28
0.6	0.528	28911348.85	30829624.03	51061953.86	1159113.03	0.53	0.53	0.53	1	30
0.7	0.529	28891526.51	30807555.06	51097796.34	1159113.03	0.53	0.53	0.53	1	19
0.8	0.527	28966421.15	30890938.11	50962372.89	1159113.03	0.53	0.53	0.53	1	27
0.9	0.529	28893687.30	30809960.75	51093889.23	1148633.03	0.53	0.53	0.53	0.99	31
1	0.53	28814311.20	30721588.33	51237415.99	812628.06	0.53	0.53	0.53	0.53	22



Şekil 6.8. Farklı γ değerlerinin KV'lerin amaç fonksiyonu üzerine etkisi



Şekil 6.9. Farklı γ değerlerinin KV'lerin tatmin seviyeleri üzerine etkisi

Çizelge 6.14'deki verilere göre, Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımının, Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımına göre KV'lerin tatmin seviyeleri ve daha düşük çözüm süreleri iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımı γ değerine çok duyarlı değildir ve 0.5'den küçük γ değerlerinde dengeli çözümler ürettiği görülmektedir. 0.4 – 1 arasındaki γ değerleri için amaç fonksiyonu değerlerinin hemen hemen aynı olduğu Şekil 4.12'den görülmektedir. Şekil 6.8'e göre 0.4 – 1 arasındaki γ değerleri için uzlaşık çözüm $\mu_4(Z_4(x)) > \mu_1(Z_1(x)) = \mu_2(Z_2(x)) = \mu_3(Z_3(x))$ şeklinde elde edilmiştir.

6.1.4. Model 1'in Sakawa ve Nishizaki (2002b)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü

Bu alt kesimde Model 1'in çözümü KV'ler arasındaki işbirliğini ele alabilmek amacıyla Sakawa ve Nishizaki (2002b)'in EBP yaklaşımı ile ele alınmıştır. Sakawa ve Nishizaki (2002b) yaklaşımı için üst seviyede iki KV; TZ1'de yer alan fabrikalar ve TZ2'de yer alan fabrikalar, alt seviyede iki KV; ortak tedarikçiler ve ortak toplama merkezleri olduğu kabul edilmiştir.

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

Zimmermann (1978) sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi 0.53 olarak bulunmuştur. KV'lerin memnuniyet seviyeleri de $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \alpha$ olarak bulunmuştur.

Elde edilen tatmin seviyelerinin üst seviyedeki, KV'ler tarafından kabul edilmediğini varsayalım. Bu durumda, üst seviye KV kendi memnuniyet seviyesi için bir alt sınır oluşturmaktadır. $\tilde{\delta}$ ile gösterilen bu değer her iki üst seviye KV tarafından 0.80 olarak alınır ise problem (6.5) aşağıdaki gibi olur,

Max α

$$\tilde{\delta} = 0.80 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{56681998.58 - Z_1(x)}{56681998.58 - 4118349.99}$$

$$\tilde{\delta} = 0.80 \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{61747740.94 - Z_2(x)}{61747740.94 - 3226638.69}$$

$$\alpha \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) - 847452.36}{95892308.59 - 847452.36}$$

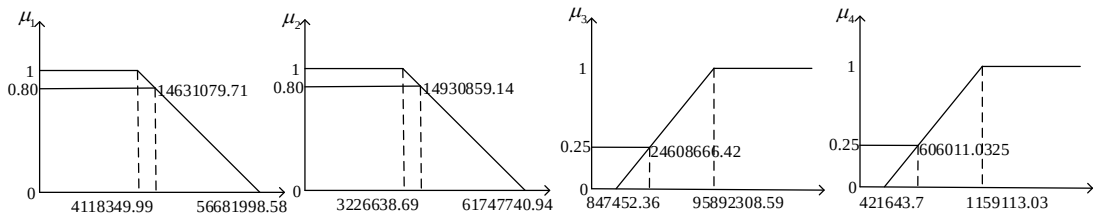
$$\alpha \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) - 421643.7}{1159113.03 - 421643.7}$$

Kısıtlar (4.11) - (4.43)

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

(6.8)

Problem (6.8) sonucunda elde edilen üyelik fonksiyonu değerleri sırasıyla Şekil 6.10' da verilmiştir.



Şekil 6.10. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

Şekil 6.10'a göre üst seviye KV'lerin tatmin seviyesi bir önceki değer olan 0.53' den alt sınır olarak belirlediği 0.80 değerine yükselmiştir. Fakat üst seviye KV'lerin tatmin seviyelerindeki bu artış alt seviye KV'lerin tatmin seviyelerinde düşüşe neden olmuştur. Alt seviye KV'lerin tatmin seviyeleri % 47 oranında azalmıştır. Üst seviye KV'lerin iki seviye arasındaki tatmin oranını $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.6, 0.7]$ olarak belirlediğini varsayalım. Eşitlik (3.14) yardımıyla mevcut Δ değeri:

$$\Delta = \frac{\min(0.25, 0.25)}{0.80} = \frac{0.25}{0.80} = 0.3125 \text{ olarak bulunur.}$$

Elde edilen Δ değeri açıkça görülmektedir ki üst seviye KV'nin belirlemiş olduğu alt ve üst sınırlar ($0.6 \leq \Delta \leq 0.7$) arasında yer almamaktadır $\Delta < \Delta_L$ olduğundan üst seviye KV'ler minimum tatmin seviyesi yani $\tilde{\delta}'$ yi azaltarak Δ değerini günceller. $\tilde{\delta}$ ile gösterilen bu değer her iki üst seviye KV tarafından 0.65 olarak alınır ise problem (6.8) aşağıdaki gibi olur:

Max α

$$\tilde{\delta} = 0.65 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{56681998.58 - Z_1(x)}{56681998.58 - 4118349.99}$$

$$\tilde{\delta} = 0.65 \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{61747740.94 - Z_2(x)}{61747740.94 - 3226638.69}$$

$$\alpha \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) - 847452.36}{95892308.59 - 847452.36}$$

$$\alpha \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) - 421643.7}{1159113.03 - 421643.7}$$

Kısıtlar (4.11) - (4.43)

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6.9)$$

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

$\Delta = \frac{\min(0.41, 0.41)}{0.65} = \frac{0.41}{0.65} = 0.6307$ olarak bulunur. Bu oran üst seviye KV'lerin belirlemiş olduğu sınırlar arasında yer almaktadır. Bu noktada EBP yönteminin ilk aşaması biter.

Ancak, elde edilen son çözümde üst seviye KV ve alt seviye KV'lerin tatmin seviyeleri arasında yaklaşık %35'lik bir fark bulunmaktadır. Bu sonuç EBP'nin isteyeceği bir durum olmadığı için her bir alt seviye KV'nin tatmin denge seviyesi ayrı ayrı hesaplanarak ikinci aşamaya geçilir.

$$\Delta_3 = \frac{\mu_3}{\mu_1} = \frac{0.41}{0.65} = 0.63; \Delta_4 = \frac{\mu_4}{\mu_1} = \frac{0.44}{0.65} = 0.63; \text{ olarak bulunur.}$$

Üst seviye KV'ler, ortak tedarikçiler için tatmin denge oranı için $[\Delta_L^{31} = 0.6, \Delta_U^{31} = 0.7]$, ortak toplama merkezlerinin tatmin denge oranı için ise $[\Delta_L^{41} = 0.5, \Delta_U^{41} = 0.6]$ sınırlarını belirlemiş olsun. Bu durumda üçüncü seviye KV'nin bireysel tatmin denge oranı belirtilen sınırlar içerisinde olurken ($\Delta_{31} \in [0.6, 0.7]$), dördüncü seviye KV'nin tatmin denge oranı belirtilen sınırlar dışında ($\Delta_{41} \notin [0.5, 0.6]$) kalır. Yani $\Delta_3 > \Delta_U^{41}$ olduğundan üst seviye KV birinci lojistik firması için minimum bir tatmin seviyesi ($\bar{\delta}_j$) belirler. Bu değer üst seviye KV'nin minimum tatmin seviyesi $\bar{\delta}_j$ ile tatmin oranı üst

sınırının Δ_U^{41} çarpılması ile hesaplanır. Dolayısıyla $\bar{\delta}_j = \tilde{\delta} \times \Delta_U^{41} = 0.65 \times 0.6 = 0.39$ olur. Bu durumda problem (6.9),

Max α

$$\tilde{\delta} = 0.65 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{56681998.58 - Z_1(x)}{56681998.58 - 4118349.99}$$

$$\tilde{\delta} = 0.65 \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{61747740.94 - Z_2(x)}{61747740.94 - 3226638.69}$$

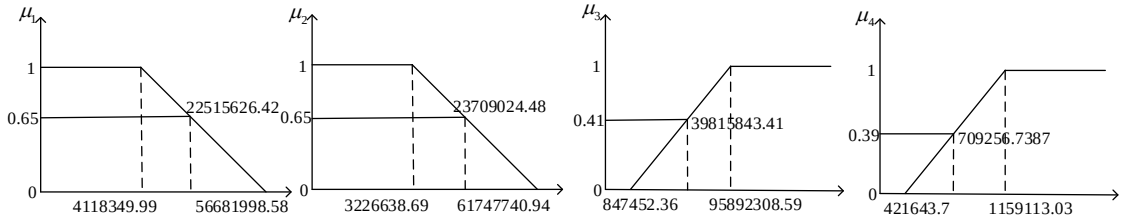
$$\alpha \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) - 847452.36}{95892308.59 - 847452.36}$$

$$\bar{\delta}_j = 0.39 \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) - 421643.7}{1159113.03 - 421643.7}$$

Kısıtlar (4.11) - (4.43)

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6.10)$$

Problem (6.10) sonucunda elde edilen üyelik fonksiyonu değerleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 6.11. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

Şekil 6.11'e göre ise üst seviye KV'lerin tatmin seviyesi bir önceki çözümle aynı kalırken, ortak toplama merkezlerinin tatmin seviyesi 0.39 oranına çekilmiştir.. Bu yeni tatmin seviyelerine göre alt seviye KV'lerin yeni tatmin denge oranları,

$$\Delta_3 = \frac{\mu_3}{\mu_1} = \frac{0.41}{0.65} = 0.63; \Delta_4 = \frac{\mu_4}{\mu_1} = \frac{0.39}{0.65} = 0.60; \text{ olarak bulunur.}$$

Açıkça görülmektedir ki yeni tatmin denge oranları belirlenen alt ve üst sınırlar arasında yer almaktadır. Üst seviye KV'lerin bu yeni durumdan memnun olduğunu varsayarsak yöntemin ikinci aşaması da sonlandırılır. Sonuç olarak TZ1 ve TZ2'deki fabrikalar, ortak tedarikçiler ve ortak toplama merkezleri için tatmin seviyeleri sırasıyla %65, %65, %41 ve %39 olur.

6.1.5. Model 1'in önerilen etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı I ile çözümü (ağırlıklı Zimmermann yöntemi ile çözüm)

Model 1'in önerilen birinci EBP yaklaşımına ait çözüm adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Önerilen yöntem ile alt seviye KV'lerin göreceli ağırlıklarını elde edebilmek için Buckley (1985)'in BAHP yöntemi (Geometrik Ortalama Yöntemi) kullanılmıştır. Farklı uzmanların dilsel değerlendirmelerini birleştirebilmek için değerlendirmelerin geometrik ortalamaları alınmış ve dilsel değerlendirmeler için aşağıdaki dilsel değerlendirme ölçeği kullanılmıştır:

Çizelge 6.15. Değerlendirmeler için dilsel değerler ve bulanık sayı karşılıkları

Dilsel Değişken	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit derecede önem	(1, 1, 1)	(1/1, 1/1, 1/1)
Orta derecede önem	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1/1)
Kuvvetli derecede önem	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok kuvvetli derecede önem	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Mutlak derecede önem	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)
Ara değerler	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)
	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)

Çizelge 6.16 üç farklı yönetim kurulu üyesine göre alt seviye KV'lerin dilsel değerlendirmelerini göstermektedir.

Çizelge 6.16. Alt seviye KV'lerin dilsel değerlendirmeleri ve toplanmış ağırlıklar

	DM_3	DM_4
1. Yönetim kurulu üyesi		
DM_3	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)
DM_4	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)
2 Yönetim kurulu üyesi		
DM_3	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)
DM_4	(0.14, 0.2, 0.33)	(1, 1, 1)
3. Yönetim kurulu üyesi		
DM_3	(1, 1, 1)	(0.2, 0.25, 0.33)
DM_4	(3,4,5)	(1, 1, 1)
Yönetim kurulu üyelerinin toplanmış değerlendirmeleri		
DM_3	(1, 1, 1)	(0.84, 1.55, 2.26)
DM_4	(0.44, 0.64, 1.18)	(1, 1, 1)

Alt seviye KV'lerin ağırlıkları bu ikili karşılaştırma matrisini kullanarak elde edilmiş ve Çizelge 6.16'dan ağırlıklar (0.63801, 0.4452) olarak elde edilmiştir.

Adım 2: Ödünleşme tablosu ve KV'lere ait üyelik fonksiyonu değerleri elde edilir, bu sonuçlar Bölüm 6.1.1'de verilmiştir.

Adım 3: Birinci adımda bulunan ağırlık değerleri kullanılarak aşağıdaki ek amaç fonksiyonu çözülür:

$$Max (\alpha_0 + 0.5889 \cdot \alpha_3 + 0.4110 \cdot \alpha_4)$$

$$\alpha_0 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{56681998.58 - Z_1(x)}{56681998.58 - 4118349.99}$$

$$\alpha_0 \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{61747740.94 - Z_2(x)}{61747740.94 - 3226638.69}$$

$$\alpha_3 \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) - 847452.36}{95892308.59 - 847452.36}$$

$$\alpha_4 \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) - 421643.7}{1159113.03 - 421643.7}$$

Kısıtlar (4.11) - (4.43)

$$0 \leq \alpha_0, \alpha_3, \alpha_4 \leq 1 \quad (6.11)$$

KV'lerin tatmin seviyeleri eşitlik (6.11)'in çözülmesi ile sırasıyla (0.96, 0.96, 0.04, 1) elde edilir. Üst seviye KV'lerin tatmin seviyeleri önerilen yöntem ile 0.53'ten 0.96'ya yükselmiştir. Fakat bu artış üçüncü alt seviye KV'nin tatmin seviyesinde %92'lik düşüşe neden olmuştur.

6.1.6. Model 1'in önerilen etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı II ile çözümü

Önerilen EBP II yaklaşımı ile öncelikle Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımında verilen ağırlıklar bulunmuştur. Karar matrisi olarak Çizelge 6.17'de verilen ödünleşme tablosu ele alınmış ve ağırlıklar bu tabloya göre hesaplanmıştır:

Çizelge 6.17. Model 1'e ilişkin karar matrisi (ödünleşme tablosu)

$$D = \begin{bmatrix} 4118349.99 & 11082522.55 & 847452.36 & 421643.70 \\ 12441503.42 & 3226639.69 & 2429085.29 & 450659.86 \\ 56681998.58 & 61747741.94 & 95892309.59 & 1002436.53 \\ 16780863.98 & 14198741.20 & 4501152.95 & 1159113.03 \end{bmatrix}$$

Entropy Yöntemi ile ağırlıkların bulunması:

Entropy yöntemi ile ağırlıkların bulunması için, Çizelge 6.17’de verilen ödünleşme tablosu karar matrisi olarak alınmış ve normalize edilerek normalize karar matrisi elde edilmiştir:

$$R = \begin{bmatrix} 0.0457 & 0.1227 & 0.0081 & 0.1385 \\ 0.1382 & 0.0357 & 0.0234 & 0.1485 \\ 0.6296 & 0.6841 & 0.9249 & 0.3304 \\ 0.1864 & 0.1573 & 0.0434 & 0.3820 \end{bmatrix}$$

Her bir amaç fonksiyonu için entropy ölçüsü (e_j),

$$e_j = (0.7350, 0.6688, 0.2420, 0.9312)$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler Eşitlik (5.10)’da yerine konarak $W = (0.1862, 0.2327, 0.5327, 0.0482)$ ağırlıkları elde edilmiştir.

CRITIC Yöntemi ile ağırlıkların bulunması:

Çizelge 6.17’de verilen ödünleşme tablosu kullanılarak, amaç fonksiyonları arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon matrisi aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0.986 & 0.956 & 0.889 \\ 0.986 & 1 & 0.971 & 0.857 \\ 0.956 & 0.971 & 1 & 0.727 \\ 0.889 & 0.857 & 0.727 & 1 \end{bmatrix}$$

Bu değerlerden yararlanılarak çatışma ölçüsü değerleri aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$(0.169, 0.186, 0.346, 0.527)$$

Bu değerler kullanılarak $W = (0.1906, 0.2193, 0.5724, 0.0174)$ ağırlıkları elde edilir.

CRITIC - TOPSIS yöntemi ile ağırlıkların bulunması:

CRITIC - TOPSIS yöntemi kullanarak amaç fonksiyonlarına ilişkin ağırlıkların bulunmasına ait adımlar aşağıda belirtilmiştir.

Adım 1: Karar matrisi (D) oluşturulur.

Adım 2: Normalize edilmiş karar matrisi (R) oluşturulur.

$$R = \begin{bmatrix} 0.0680 & 0.1720 & 0.0088 & 0.2552 \\ 0.2054 & 0.0501 & 0.0252 & 0.2727 \\ 0.9361 & 0.9587 & 0.9985 & 0.6067 \\ 0.2771 & 0.2204 & 0.0468 & 0.7016 \end{bmatrix}$$

R matrisinde örneğin r_{11} değeri,

$$r_{11} = \frac{4118349,99}{\sqrt{4118349.99^2 + 1244150.42^2 + 56681998.58^2 + 16780863.8^2}} = 0.0680$$

şeklinde bulunabilir. Benzer şekilde diğer r_{ij} değerleri hesaplanarak R matrisi tamamlanmıştır.

Adım 3: Ağırlıklı standart karar matrisi (V) oluşturulur. Bunun için R matrisinin sütunlarındaki değerler ilgili amaç fonksiyonunun ağırlık değerleri ile çarpılarak V matrisinin sütunları hesaplanır. Buradaki ağırlıklar, Entropy yönteminden bulunan ağırlıklar olarak ele alınmıştır. R matrisi (0.1906,0.2193,0.5724,0.1748) ağırlıkları ile çarpılarak aşağıdaki V matrisi elde edilmiştir.

$$V = \begin{bmatrix} 0.0129 & 0.0377 & 0.0050 & 0.0044 \\ 0.0391 & 0.0109 & 0.0144 & 0.0047 \\ 0.1784 & 0.2103 & 0.5716 & 0.0106 \\ 0.0528 & 0.0483 & 0.0268 & 0.0122 \end{bmatrix}$$

Adım 4: Pozitif ideal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözüm kümeleri oluşturulur. A^* kümesi için: V matrisinin her bir sütunundaki en küçük değer, A^- kümesi için V matrisinin her bir sütunundaki en büyük değer ilk iki amaç fonksiyonu için seçilir. A^* kümesi için: V matrisinin her bir sütunundaki en büyük değer, A^- kümesi için V matrisinin her bir sütunundaki en küçük değer son iki amaç fonksiyonu için seçilir ve aşağıdaki değerler elde edilir.

$$A^* = \left\{ \max_i v_{i1}, \max_i v_{i2}, \max_i v_{i3}, \max_i v_{i4} \right\} = \{0.0129, 0.0109, 0.5716, 0.0122\}$$

$$A^- = \left\{ \min_i v_{i1}, \min_i v_{i2}, \min_i v_{i3}, \min_i v_{i4} \right\} = \{0.1784, 0.2103, 0.0050, 0.0044\}$$

Adım 5: Her bir alternatif için pozitif ideal çözüme uzaklıklar: $d_i^* = (0.5672, 0.5578, 0.2590, 0.5475)$ ve $d_i^- = (0.2391, 0.2433, 0.5666, 0.2062)$ olarak elde edilmiştir. Örneğin birinci amaç fonksiyonu için hesaplamalar şu şekildedir,

$$d_1^* = \sqrt{(0.0129-0.0129)^2 + (0.0377-0.0109)^2 + (0.0050-0.5716)^2 + (0.0044-0.0122)^2} = 0.5672$$

$$d_1^- = \sqrt{(0.0129-0.1784)^2 + (0.0377-0.2103)^2 + (0.0050-0.0050)^2 + (0.0044-0.0044)^2} = 0.2391$$

Adım 6: Alternatiflere ilişkin ideal çözüme göreli yakınlık değerleri,

$$CC_1 = \frac{0.2391}{0.2391+0.5672} = 0.2965; \quad CC_2 = \frac{0.2433}{0.2433+0.5578} = 0.3037$$

$$CC_3 = \frac{0.5666}{0.5666+0.2590} = 0.6862; \quad CC_4 = \frac{0.2062}{0.2062+0.5475} = 0.2736$$

olarak hesaplanmıştır. Bu değerler normalize edilerek $W = (0.1900, 0.1946, 0.4398, 0.1753)$ ağırlıkları elde edilir.

Çizelge 6.17’de verilen ödünleşme tablosu kullanılarak Entropy, CRITIC ve OA yöntemleri ile ağırlıklar bulunmuş daha sonra da bu ağırlıklar TOPSIS yöntemin de kullanılarak altı farklı ağırlık elde edilmiştir. Bu yöntemlerde ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulurken Entropy, CRITIC ve OA yöntemlerinden elde edilen ağırlıklar kullanılarak TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.

Çizelge 6.17’de verilen ödünleşme tablosu kullanılarak ele alınan yöntemlere göre hesaplanan ağırlıklar Çizelge 6.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.18. Farklı yöntemler ile elde edilen ağırlıklar

	Entropy	CRITIC	OA	OA-TOPSIS	Entropy -TOPSIS	CRITIC -TOPSIS
<i>min Z₁</i>	0.1862	0.1906	0.25	0.2566	0.1973	0.1900
<i>min Z₂</i>	0.2327	0.2193	0.25	0.2583	0.2037	0.1946
<i>max Z₃</i>	0.5327	0.5724	0.25	0.2254	0.4149	0.4398
<i>max Z₄</i>	0.0483	0.0174	0.25	0.2595	0.1840	0.1753

Çizelge 6.18’de verilen ağırlıklar Bölüm 6.1.2’de çözümü verilen Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımında kullanılmış ve Çizelge 6.19 ve Çizelge 6.20’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.19. Farklı ağırlıklar ile elde edilen amaç fonksiyonu değerleri

$\gamma=0.6$	Z1	Z2	Z3	Z4
OA	28.930.146,65	30.850.552,33	51.027.963,94	1.159.113,03
Entropy	28.938.020,65	30.859.318,75	51.013.726,29	1.139.320,63
CRITIC	28.886.485,80	30.801.943,06	51.106.910,87	1.159.034,28
OA - TOPSIS	29.138.775,53	31.082.826,78	50.650.724,10	1.159.103,03
Entropy - TOPSIS	29.029.462,17	30.961.124,07	50.848.382,99	1.159.113,03
CRITIC - TOPSIS	28.857.523,20	30.769.697,89	51.159.280,66	1.159.162,72

Çizelge 6.19’a göre en iyi amaç fonksiyonu değerleri CRITIC – TOPSIS yönteminde elde edilmiştir. Birinci KV’nin amacı toplam maliyetini minimum

yapmaktır ve bunu CRITIC – TOPSIS yönteminin kullanılmasında $Min Z_1 = 28.857.523,20$ değeri ile elde etmiştir.

Çizelge 6.20. Farklı ağırlıklar ile elde edilen tatmin seviyesi değerleri

$\gamma=0.6$	λ	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
OA	0.528	0.528	0.528	0.528	1,00
Entropy	0.528	0.528	0.528	0.528	0.973
CRITIC	0.529	0.529	0.529	0.529	0.99
OA - TOPSIS	0.524	0.524	0.524	0.524	1.00
Entropy - TOPSIS	0.526	0.526	0.526	0.526	1.00
CRITIC - TOPSIS	0.529	0.529	0.529	0.529	1.00

Aynı durum Çizelge 6.20'e bakıldığında KV'lerin tatmin seviyelerine en yüksek CRITIC – TOPSIS yönteminde ulaşılmıştır. En düşük tatmin seviyelerine ise OA – TOPSIS yönteminde ulaşılmıştır.

Çizelge 6.18'de verilen ağırlıklar aynı zamanda Bölüm 6.1.3'de çözümü verilen Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımında kullanılmış, Çizelge 6.21 ve Çizelge 6.22'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.21. Farklı ağırlıklar ile elde edilen amaç fonksiyonu değerleri

$\gamma=0.6$	Z1	Z2	Z3	Z4
OA	28911348.85	30829624.03	51061953.86	1159113.03
Entropy	28884799.71	30800065.87	51109959.64	1148063.03
CRITIC	28875937.92	30790199.69	51125983.42	1145710.53
OA - TOPSIS	28897616.17	30814334.92	51086785.10	1159113.03
Entropy - TOPSIS	28899169.41	30816064.20	51083976.55	1159113.03
CRITIC - TOPSIS	28891631.94	30807672.44	51097605.71	1159113.03

Çizelge 6.21 incelenecek olursa Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımı için en iyi ağırlıklandırma yönteminin Entropy – TOPSIS yöntemi olduğu görülmektedir.

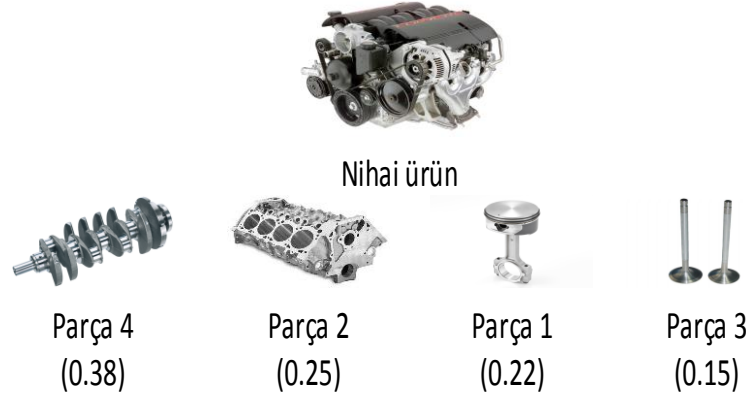
Çizelge 6.22. Farklı ağırlıklar ile elde edilen tatmin seviyesi değerleri

$\gamma=0.6$	λ	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
OA	0.528	0.528	0.528	0.528	1.00
Entropy	0.527	0.527	0.527	0.527	0.984
CRITIC	0.528	0.528	0.528	0.528	0.982
OA - TOPSIS	0.526	0.526	0.526	0.526	0.983
Entropy - TOPSIS	0.529	0.529	0.529	0.529	1.00
CRITIC - TOPSIS	0.528	0.528	0.528	0.528	0.985

Çizelge 6.22’ e göre KV’lerin tatmin seviyelerine en yüksek Entropy – TOPSIS yönteminde ulaşılmıştır. En düşük tatmin seviyelerine ise OA – TOPSIS yönteminde ulaşılmıştır.

6.2. Model 2’ e Ait Sayısal Örnek

Bu bölümde, Bölüm 4.2’ de geliştirilen çevreye duyarlı KDTZ modeline ait sayısal bir örnek ele alınmış, modelin Sakawa ve Nishizaki (2002b)’ nin EBP yaklaşımı ve önerilen EBP III yaklaşımı ile çözümü sunulmuştur. Ele alınan örnekte ileri akış dört ortak tedarikçi, TZ1 ve TZ2’ de dört tedarikçi, üç fabrika, iki müşteriden oluşurken; tersine akış iki ortak toplama merkezinden oluşmaktadır. Tedarikçiler fabrikalara dört parçadan oluşan otomobil parçalarını (Şekil 6.12) sağlamaktadır.



Şekil 6.12. Nihai ürüne ait ürün ağacı

Ele alınan örnekte üç farklı taşıt olduğu kabul edilmiştir. Taşıtların CO_2 salınımları sırasıyla km başına 0.40, 0.10, 0.02 gr’ dır ve taşıtların km başına taşıma maliyetleri 1\$, 2\$, 3\$ olarak kabul edilmiştir. CO_2 birim maliyeti 1\$ olarak alınmıştır. Tedarikçilerden üreticilere parça gönderilirken meydana gelen gecikmelerin birim fırsat maliyeti (π) 0.1, ortak toplama merkezlerinden fabrikalara gönderilen ürün yüzdesi TZ1 ve TZ2 için 0.15 olarak ele alınmıştır. Üreticilerde stokta parça kalmasını sağlamak için, TZ1 için dönemdeki müşteri taleplerinin $\lambda_1 = 0.20$ ’ si ve TZ2 için ise dönemdeki müşteri taleplerinin $\lambda_2 = 0.18$ ’ i oranında parça tutulduğu kabul edilmiştir. Lojistik firmasının amacı için vergiden sonra kalan net karın yüzdesi (*Nopat*) 0.7 olarak kabul edilmiştir.

Örneğe ilişkin diğer veriler Çizelge 6.23 - 6.35’ de verilmiştir tesisler arası mesafeleri, kapasiteleri ve talepleri vermektedir.

Çizelge 6.23. TZ1 için üreticiler ile kendi tedarikçileri, ortak tedarikçiler, ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Üretici 1	Üretici 2	Üretici3
Tedarikçi 1	57	281	226
Tedarikçi 2	108	390	132
Tedarikçi 3	220	480	186
Tedarikçi 4	338	468	300
Ortak tedarikçi 1	296	326	706
Ortak tedarikçi 2	295	260	643
Ortak tedarikçi 3	698	659	333
Ortak tedarikçi 4	393	456	524
Ortak toplama merkezi 1	171	296	200
Ortak toplama merkezi 2	329	304	388
Müşteri 1	144	151	125
Müşteri 2	105	134	145

Çizelge 6.24. TZ1 için ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Müşteri 1	Müşteri 2
Ortak toplama merkezi 1	221	215
Ortak toplama merkezi 2	297	287

Çizelge 6.25. TZ2 için üreticiler ile kendi tedarikçileri, ortak tedarikçiler, ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3
Tedarikçi 1	274	185	231
Tedarikçi 2	420	331	323
Tedarikçi 3	315	321	407
Tedarikçi 4	404	340	234
Ortak tedarikçi 1	532	322	723
Ortak tedarikçi 2	709	309	433
Ortak tedarikçi 3	408	436	299
Ortak tedarikçi 4	499	505	714
Ortak toplama merkezi 1	361	501	365
Ortak toplama merkezi 2	425	493	512
Müşteri 1	143	113	136
Müşteri 2	151	161	131

Çizelge 6.26. TZ2 için ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Müşteri 1	Müşteri 2
Ortak toplama merkezi 1	261	291
Ortak toplama merkezi 2	205	264

Çizelge 6.27. TZ1 için üreticiler, kendi tedarikçileri ve ortak tedarikçilerin kapasiteleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Üretici 1	Parça 1	1647	1254	1119
	Parça 2	686	1149	1463
	Parça 3	1064	1118	852
	Parça 4	1373	993	875
Üretici 2	Parça 1	1384	745	976
	Parça 2	851	669	1586
	Parça 3	1582	1472	599
	Parça 4	1070	1523	1344
Üretici 3	Parça 1	946	798	1025
	Parça 2	1640	1043	1314
	Parça 3	657	740	1311
	Parça 4	1532	1439	1355
Tedarikçi 1	Parça 1	1394	615	520
	Parça 2	794	1311	1017
	Parça 3	533	145	381
	Parça 4	1294	953	709
Tedarikçi 2	Parça 1	546	706	1194
	Parça 2	1101	490	228
	Parça 3	244	963	654
	Parça 4	1394	448	1053
Tedarikçi 3	Parça 1	775	126	961
	Parça 2	206	146	854
	Parça 3	1413	1088	1430
	Parça 4	215	437	827
Tedarikçi 4	Parça 1	303	481	841
	Parça 2	1233	249	247
	Parça 3	600	915	1131
	Parça 4	1075	1394	661
Ortak Tedarikçi 1	Parça 1	1995	1718	2018
	Parça 2	1276	1268	1614
	Parça 3	1452	963	1010
	Parça 4	711	1698	1753
Ortak Tedarikçi 2	Parça 1	668	909	1079
	Parça 2	1941	634	2500
	Parça 3	2156	1872	1119
	Parça 4	1476	1715	854
Ortak Tedarikçi 3	Parça 1	1386	1768	1701
	Parça 2	1345	504	1804
	Parça 3	1535	2036	2130
	Parça 4	1595	995	1069
Ortak Tedarikçi 4	Parça 1	1160	1241	2483
	Parça 2	2147	1128	1799
	Parça 3	808	644	2336
	Parça 4	1236	2063	1966

Çizelge 6.28. TZ2 için kendi tedarikçileri, üreticiler ve ortak toplama merkezlerinin kapasiteleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Tedarikçi 1	Parça 1	1463	552	232
	Parça 2	582	1136	245
	Parça 3	1415	273	357
	Parça 4	1156	1144	391
Tedarikçi 2	Parça 1	959	874	1038
	Parça 2	1064	1429	449
	Parça 3	1041	393	1408
	Parça 4	366	246	726
Tedarikçi 3	Parça 1	214	722	696
	Parça 2	1246	596	580
	Parça 3	762	690	1172
	Parça 4	619	544	485
Tedarikçi 4	Parça 1	838	1110	899
	Parça 2	794	482	1243
	Parça 3	286	1042	1146
	Parça 4	999	752	197
Üretici 1	Parça 1	1096	708	1556
	Parça 2	1478	1010	1399
	Parça 3	1457	1052	663
	Parça 4	1602	917	1018
Üretici 2	Parça 1	1376	642	837
	Parça 2	1402	1426	1581
	Parça 3	1466	710	1333
	Parça 4	1152	1051	849
Üretici 3	Parça 1	1288	755	1017
	Parça 2	567	1166	666
	Parça 3	808	848	1402
	Parça 4	1016	1027	906
Ortak toplama merkezi 1		493	584	999
Ortak toplama merkezi 2		917	689	384

Çizelge 6.29. TZ1 ve TZ2 için müşteri talepleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
TZ1	Müşteri 1	715	522	856
	Müşteri 2	519	911	558
TZ2	Müşteri 1	234	798	538
	Müşteri 2	618	107	334

Çizelge 6.30. TZ1, TZ2 ve ortak tedarikçi için parçaları satın alma maliyetleri/satış fiyatları (\$)

		TZ1	TZ2	Ortak Tedarikçi
Parça 1	Tedarikçi 1	198	159	2239
	Tedarikçi 2	116	54	1562
	Tedarikçi 3	187	3	4516
	Tedarikçi 4	134	4	4935
Parça 2	Tedarikçi 1	36	43	4444
	Tedarikçi 2	107	49	2565
	Tedarikçi 3	194	18	933
	Tedarikçi 4	39	134	3439
Parça 3	Tedarikçi 1	20	98	1514
	Tedarikçi 2	185	41	1633
	Tedarikçi 3	59	174	3207
	Tedarikçi 4	76	79	1071
Parça 4	Tedarikçi 1	117	16	2135
	Tedarikçi 2	73	32	2774
	Tedarikçi 3	21	53	4735
	Tedarikçi 4	107	23	2324

Çizelge 6.31. Ortak toplama merkezleri için parçaları satın alma maliyetleri/satış fiyatları (\$)

	Parça 1	Parça 2	Parça 3	Parça 4
Ortak toplama merkezi 1	4136	2541	2788	6485
Ortak toplama merkezi 2	4935	4528	3138	8235

Çizelge 6.32. TZ1, TZ2'deki üreticiler ve ortak toplama merkezleri için sabit işletme maliyetleri (\$)

	Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Üretici 1	33083	18518	49327
TZ1 Üretici 2	11642	15484	41960
Üretici3	25146	18010	19051
Üretici 1	35498	1736	2459
TZ2 Üretici 2	19953	13301	16365
Üretici3	19439	4005	44461
Ortak toplama merkezi 1	15906	24816	16872
Ortak toplama merkezi 2	31547	33389	17758

Çizelge 6.33. TZ1 ve TZ2 için parçaları stokta tutma maliyetleri (\$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3	
TZ1	Üretici 1	Parça 1	331	156	431
		Parça 2	144	546	582
		Parça 3	170	708	246
		Parça 4	327	626	463
	Üretici 2	Parça 1	645	980	609
		Parça 2	697	230	252
		Parça 3	560	233	132
		Parça 4	836	425	578
	Üretici 3	Parça 1	224	805	293
		Parça 2	381	404	419
		Parça 3	759	319	913
		Parça 4	882	664	694
TZ2	Üretici 1	Parça 1	356	849	209
		Parça 2	741	395	145
		Parça 3	238	318	181
		Parça 4	669	673	796
	Üretici 2	Parça 1	681	464	247
		Parça 2	610	146	320
		Parça 3	665	702	466
		Parça 4	778	565	810
	Üretici 3	Parça 1	878	674	164
		Parça 2	970	610	935
		Parça 3	757	673	468
		Parça 4	680	811	277

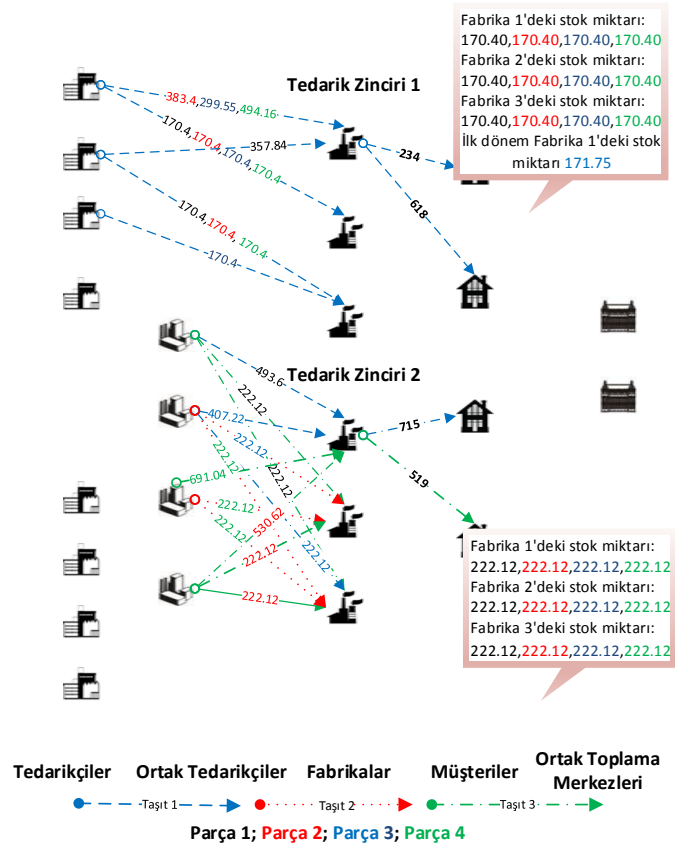
Çizelge 6.34. TZ1 ve TZ2 için taşıma seçeneklerinden kaynaklı fırsat kayıp değerleri (saat)

Tedarikçi	Üretici 1		Üretici 2		Üretici 3	
	Taşıma Seçeneği	Taşıma Seçeneği	Taşıma Seçeneği	Taşıma Seçeneği	Taşıma Seçeneği	Taşıma Seçeneği
1	1	360	Parça 1	360	Parça 1	360
		360	Parça 2	360	Parça 2	360
		360	Parça 3	360	Parça 3	360
		360	Parça 4	360	Parça 4	360
	2	360	Parça 1	312	Parça 1	312
		360	Parça 2	312	Parça 2	312
		360	Parça 3	312	Parça 3	312
		360	Parça 4	312	Parça 4	312
	3	360	Parça 1	192	Parça 1	192
		360	Parça 2	192	Parça 2	192
		360	Parça 3	192	Parça 3	192
		360	Parça 4	192	Parça 4	192
2	1	312	Parça 1	312	Parça 1	312
		312	Parça 2	312	Parça 2	312
		312	Parça 3	312	Parça 3	312
		312	Parça 4	312	Parça 4	312
	2	288	Parça 1	288	Parça 1	288
		288	Parça 2	288	Parça 2	288
		288	Parça 3	288	Parça 3	288
		288	Parça 4	288	Parça 4	288
	3	144	Parça 1	144	Parça 1	144
		144	Parça 2	144	Parça 2	144
		144	Parça 3	144	Parça 3	144
		144	Parça 4	144	Parça 4	144
3	1	264	Parça 1	264	Parça 1	264
		264	Parça 2	264	Parça 2	264
		264	Parça 3	264	Parça 3	264
		264	Parça 4	264	Parça 4	264
	2	264	Parça 1	264	Parça 1	264
		264	Parça 2	264	Parça 2	264
		264	Parça 3	264	Parça 3	264
		264	Parça 4	264	Parça 4	264
	3	96	Parça 1	96	Parça 1	96
		96	Parça 2	96	Parça 2	96
		96	Parça 3	96	Parça 3	96
		96	Parça 4	96	Parça 4	96
4	1	216	Parça 1	216	Parça 1	216
		216	Parça 2	216	Parça 2	216
		216	Parça 3	216	Parça 3	216
		216	Parça 4	216	Parça 4	216
	2	240	Parça 1	240	Parça 1	240
		240	Parça 2	240	Parça 2	240
		240	Parça 3	240	Parça 3	240
		240	Parça 4	240	Parça 4	240
	3	72	Parça 1	72	Parça 1	72
		72	Parça 2	72	Parça 2	72
		72	Parça 3	72	Parça 3	72
		72	Parça 4	72	Parça 4	72

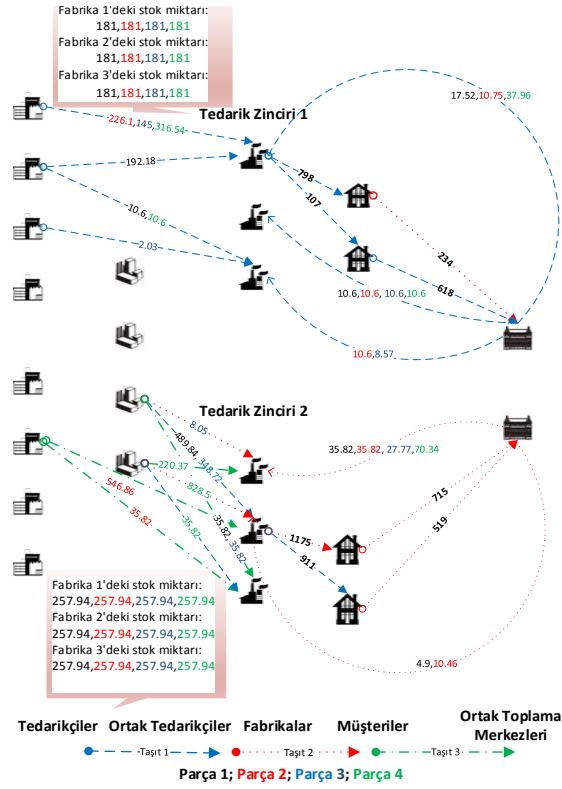
Çizelge 6.35. Ortak tedarikçiler için taşıma seçeneklerinden kaynaklı fırsat kayıp değerleri (saat)

Ortak Tedarikçi	Üretici 1		Üretici 2		Üretici 3		
	Taşıma Seçeneği		Taşıma Seçeneği		Taşıma Seçeneği		
1	1	312	1	Parça 1	312	Parça 1	312
		312		Parça 2	312	Parça 2	312
		312		Parça 3	312	Parça 3	312
		312		Parça 4	312	Parça 4	312
	2	240	2	Parça 1	240	Parça 1	240
		240		Parça 2	240	Parça 2	240
		240		Parça 3	240	Parça 3	240
		240		Parça 4	240	Parça 4	240
	3	120	3	Parça 1	120	Parça 1	120
		120		Parça 2	120	Parça 2	120
		120		Parça 3	120	Parça 3	120
		120		Parça 4	120	Parça 4	120
2	1	288	1	Parça 1	288	Parça 1	288
		288		Parça 2	288	Parça 2	288
		288		Parça 3	288	Parça 3	288
		288		Parça 4	288	Parça 4	288
	2	216	2	Parça 1	216	Parça 1	216
		216		Parça 2	216	Parça 2	216
		216		Parça 3	216	Parça 3	216
		216		Parça 4	216	Parça 4	216
	3	96	3	Parça 1	96	Parça 1	96
		96		Parça 2	96	Parça 2	96
		96		Parça 3	96	Parça 3	96
		96		Parça 4	96	Parça 4	96
3	1	264	1	Parça 1	264	Parça 1	264
		264		Parça 2	264	Parça 2	264
		264		Parça 3	264	Parça 3	264
		264		Parça 4	264	Parça 4	264
	2	192	2	Parça 1	192	Parça 1	192
		192		Parça 2	192	Parça 2	192
		192		Parça 3	192	Parça 3	192
		192		Parça 4	192	Parça 4	192
	3	72	3	Parça 1	72	Parça 1	72
		72		Parça 2	72	Parça 2	72
		72		Parça 3	72	Parça 3	72
		72		Parça 4	72	Parça 4	72
4	1	240	1	Parça 1	240	Parça 1	240
		240		Parça 2	240	Parça 2	240
		240		Parça 3	240	Parça 3	240
		240		Parça 4	240	Parça 4	240
	2	168	2	Parça 1	168	Parça 1	168
		168		Parça 2	168	Parça 2	168
		168		Parça 3	168	Parça 3	168
		168		Parça 4	168	Parça 4	168
	3	48	3	Parça 1	48	Parça 1	48
		48		Parça 2	48	Parça 2	48
		48		Parça 3	48	Parça 3	48
		48		Parça 4	48	Parça 4	48

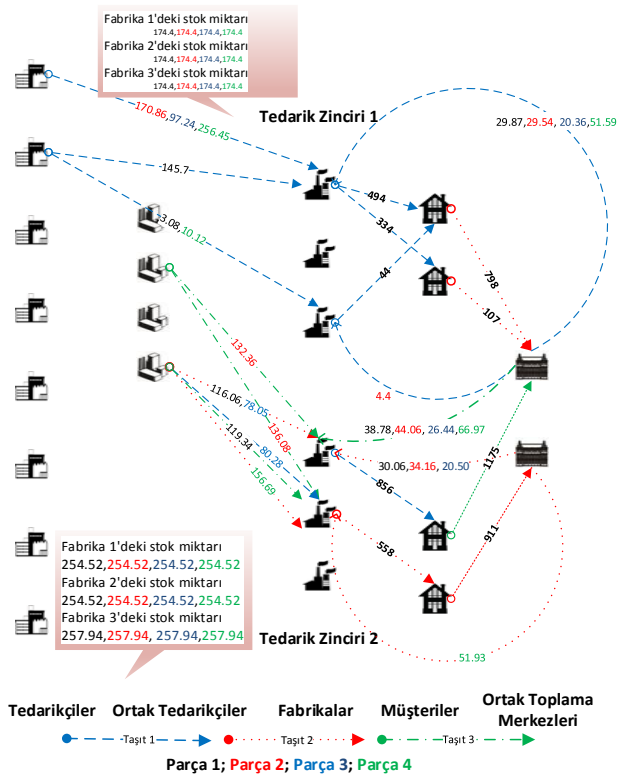
Yukarıda verilen örnek, (4.44) - (4.122) eşitlikleri ile 2.67 GHz işlemcili ve 3GB RAM'e sahip bilgisayarda GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programı ile farklı KV'ler için çözülmüştür. KV1 ve KV2'ye ait optimal dağıtım planları Şekil 6.13 - 6.18'de verilmiştir.



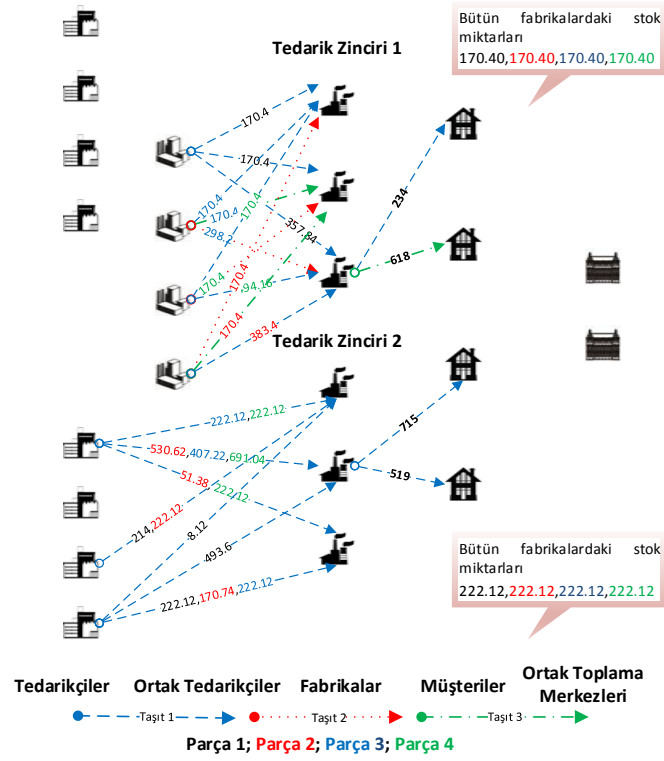
Şekil 6.13. KV1 için birinci döneme ilişkin optimal dağıtım ağı



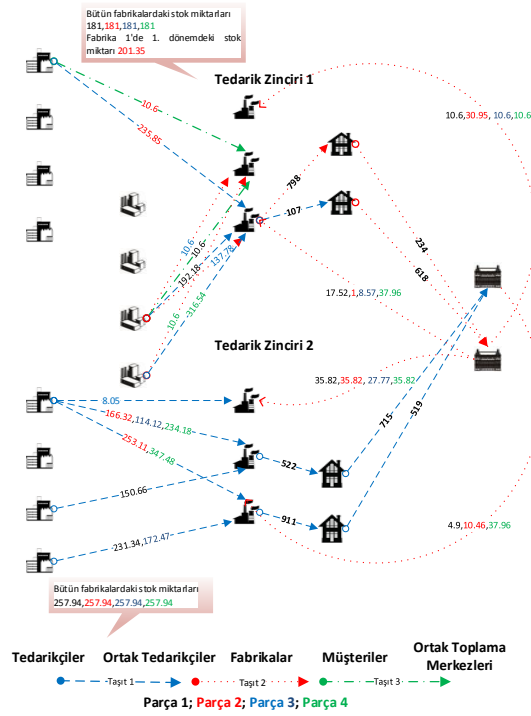
Şekil 6.14. KV1 için ikinci döneme ilişkin optimal dağıtım ağı



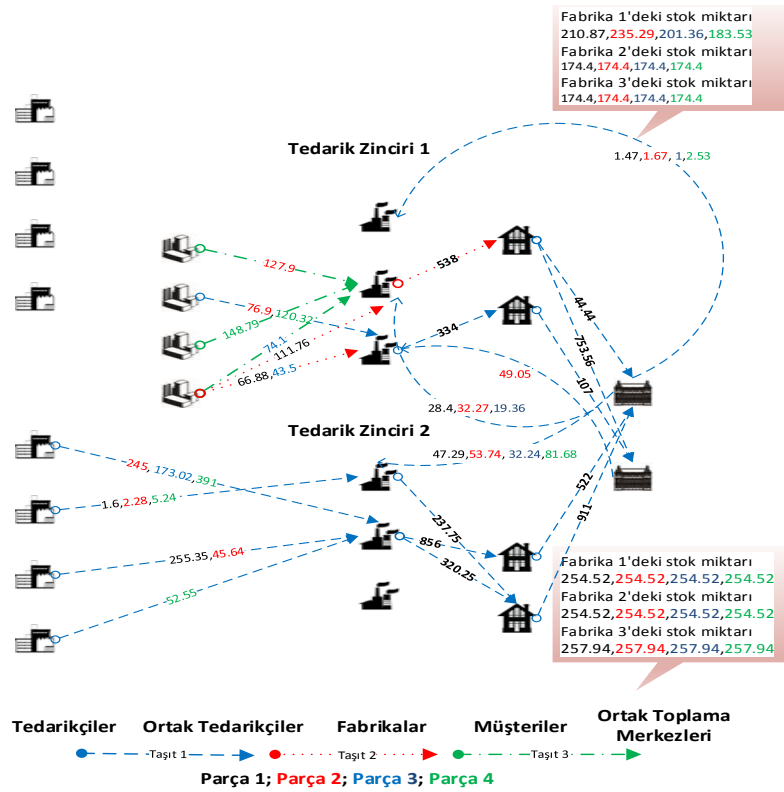
Şekil 6.15. KV1 için üçüncü döneme ilişkin optimal dağıtım ağı



Şekil 6.16. KV2 için birinci döneme ilişkin optimal dağıtım ağı



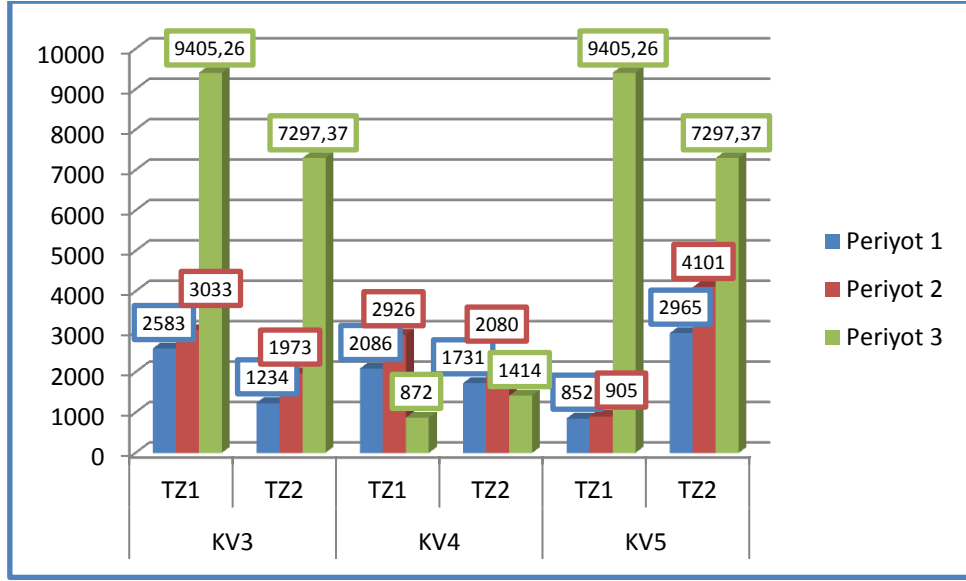
Şekil 6.17. KV2 için ikinci döneme ilişkin optimal dağıtım ağı



Şekil 6.18. KV2 için üçüncü döneme ilişkin optimal dağıtım ağı

Şekil 6.13'e göre, TZ1 için: 2898.15 ton parça kendi tedarikçilerinden birinci taşıt ile fabrikalara taşınırken, ortak tedarikçilerden parka alınmamıştır. 852 ton ürün müşterilere yollanmış ve 2046.15 ton parça fabrikalarda stokta tutulmuştur. TZ2 için ise: kendi tedarikçilerinden parka alınmazken 3899.44 ton parça ortak tedarikçilerden üç farklı taşıt ile fabrikalara parça taşınmıştır. Bu parçalar 1234 ton ürün üretiminde kullanılmıştır. KDTZ modeli KV2'nin amaçları altında optimize edildiğinde elde edilen sonuçlar Şekil 6.16 - 6.18'de verilmiştir. Şekil 6.18 incelenecek olursa, TZ1 için fabrikalar kendi tedarikçilerinden parça almazken, ortak tedarikçilerden 770.15 ton parça satın alınmıştır. İkinci dönemde müşterilere yollanan 905 ton ürün, üçüncü dönemde ortak toplama merkezlerine geri dönmüştür. 6.63 ton parça ise demonte edilerek fabrikalara geri teslim edilmiştir.

Şekil 6.19 diğer KV'lerin optimum çözümlerinde müşterilere gönderilen ürün miktarlarını göstermektedir.



Şekil 6.19. KV3, KV4 ve KV5 için dönemlere göre ürün akışı

En çok ürün akışı beklenildiği gibi KV5 yani lojistik firmasında görülmüştür. Lojistik firmasının amacı karını maksimize etmek olduğu için mümkün olduğunca fazla ürün taşıması yapmıştır. En az ürün akışı ise toplam 11109 ton ile KV4 yani ortak toplama merkezlerinde görülmüştür.

6.2.1. Model 2'nin Sakawa ve Nishizaki (2002b)'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımı ile çözümü

Etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının ilk adımı bireysel amaç fonksiyonlarını tek başına çözmek, dolayısıyla probleme ilişkin ödünleşme tablosunun oluşturulmasıdır. Her bir amaç fonksiyonu, (4.61) - (4.122) kısıtları altında 2.67 GHz işlemcili ve 3 GB RAM'e sahip bilgisayarda GAMS-CPLEX paket programı kullanılarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.36. Probleme ilişkin ödünleşme tablosu

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
$\min Z_1$	5.738.543,50	37.897.516,01	20.756.053,81	1.351.520,17	6.974.314,17
$\min Z_2$	22.978.661,87	9.282.576,44	13.774.823,07	1.749.107,98	4.645.485,26
$\max Z_3$	141.088.964,72	122.454.872,57	170.314.864,83	2.029.625,97	37.181.008,35
$\max Z_4$	41.181.974,71	38.365.183,11	38.380.952,56	3.795.678,44	12.767.956,18
$\max Z_5$	142.816.974,95	146.569.980,05	135.267.805,01	322.043,91	81.253.812,11
<i>En kötü değerler</i>	142.816.974,95	146.569.980,05	13.774.823,07	322.043,9	4.645.485,26

Her bir amacın en küçük (minimizasyon için) ve en büyük (maksimizasyon için) olduğu (koyu ile ifade edilen) değerler (Z_G^1) Çizelge 4.36'nın köşegen değerlerinde gösterilmiştir. Yine aynı şekilde en alt satırda her bir amacın en kötü değerleri (Z_G^0) italik olarak gösterilmiştir. Yani Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 ve Z_5 değerleri aynı şartlar altında daima bu sınırlar arasında yer alacaktır. Bu sınırlar dâhilinde her bir amaca ait üyelik fonksiyonları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\mu_1(Z_1) = \begin{cases} 1, & Z_1(x) \leq 5738543.50 \\ \frac{142816974.95 - Z_1(x)}{142816974.95 - 5738543.50}, & 5738543.50 \leq Z_1(x) \leq 142816974.95 \\ 0, & Z_1(x) \geq 142816974.9572 \end{cases} \quad (6.12)$$

$$\mu_2(Z_2) = \begin{cases} 1, & Z_2(x) \leq 9282576.44 \\ \frac{146569980.05 - Z_2(x)}{146569980.05 - 9282576.44}, & 9282576.44 \leq Z_2(x) \leq 146569980.05 \\ 0, & Z_2(x) \geq 146569980.052 \end{cases} \quad (6.13)$$

$$\mu_3(Z_3) = \begin{cases} 1, & Z_3(x) \geq 170314864.83 \\ \frac{Z_3(x) - 13774823.07}{170314864.83 - 13774823.07}, & 13774823.07 \leq Z_3(x) \leq 170314864.83 \\ 0, & Z_3(x) \leq 13774823.07 \end{cases} \quad (6.14)$$

$$\mu_4(Z_4) = \begin{cases} 1, & Z_4(x) \geq 3795678.44 \\ \frac{Z_4(x) - 322043.91}{3795678.44 - 322043.91}, & 322043.91 \leq Z_4(x) \leq 3795678.44 \\ 0, & Z_4(x) \leq 322043.91 \end{cases} \quad (6.15)$$

$$\mu_5(Z_5) = \begin{cases} 1, & Z_5(x) \geq 81253812.11 \\ \frac{Z_5(x) - 4645485.26}{81253812.11 - 4645485.26}, & 4645485.26 \leq Z_5(x) \leq 81253812.11 \\ 0, & Z_5(x) \leq 4645485.26 \end{cases} \quad (6.16)$$

Yukarıda elde edilen üyelik fonksiyonları ve α tatmin seviyesi değişkeninin modele eklenmesi ile bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi tek amaçlı KDP modeline dönüşür.

Max α

$$\begin{aligned} \alpha &\leq \mu_1(Z_1) = \frac{142816974.95 - Z_1(x)}{142816974.95 - 5738543.50} \\ \alpha &\leq \mu_2(Z_2) = \frac{146569980.05 - Z_2(x)}{146569980.05 - 9282576.44} \\ \alpha &\leq \mu_3(Z_3) = \frac{Z_3(x) - 13774823.07}{170314864.83 - 13774823.07} \\ \alpha &\leq \mu_4(Z_4) = \frac{Z_4(x) - 322043.91}{3795678.44 - 322043.91} \\ \alpha &\leq \mu_5(Z_5) = \frac{Z_5(x) - 4645485.26}{81253812.11 - 4645485.26} \\ \text{Kısıtlar (4.61) - (4.122)} \end{aligned}$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6.17)$$

Yukarıda verilen tek amaçlı KDP probleminin GAMS paket programından elde edilen optimal sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi $\alpha = 0.47$ olarak hesaplanmıştır. KV'lerin memnuniyet seviyeleri de $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_5 = \alpha$ ve $\mu_4 = 0.53$ olarak bulunmuştur.

Bulunan üyelik fonksiyonu değerinin üst seviye KV (fabrika) tarafından kabul edilmediğini varsayalım. Bu durumda, üst seviye KV kendi memnuniyet seviyesi için bir alt sınır oluşturmalıdır. $\tilde{\delta}$ ile gösterilen değer her iki üst seviye KV tarafından 0.80 olarak alınır ise problem (6.17) aşağıdaki gibi olur.

Max α

$$\begin{aligned}\tilde{\delta} = 0.80 \leq \mu_1(Z_1) &= \frac{142816974.95 - Z_1(x)}{142816974.95 - 5738543.50} \\ \tilde{\delta} = 0.80 \leq \mu_2(Z_2) &= \frac{146569980.05 - Z_2(x)}{146569980.05 - 9282576.44} \\ \alpha \leq \mu_3(Z_3) &= \frac{Z_3(x) - 13774823.07}{170314864.83 - 13774823.07} \\ \alpha \leq \mu_4(Z_4) &= \frac{Z_4(x) - 322043.91}{3795678.44 - 322043.91} \\ \alpha \leq \mu_5(Z_5) &= \frac{Z_5(x) - 4645485.26}{81253812.11 - 4645485.26} \\ \text{Kısıtlar (4.61) - (4.122)} \\ 0 \leq \alpha \leq 1\end{aligned}\tag{6.18}$$

Üst seviye KV'lerin tatmin seviyesi bir önceki değer olan 0.47' den alt sınır olarak belirlendiği 0.80 değerine yükselmiştir. Fakat üst seviye KV'nin tatmin seviyesindeki bu artış alt seviye KV'ler olan lojistik firmalarının tatmin seviyelerinde düşüşe neden olmuştur. Üst seviye KV'lerin iki seviye arasındaki tatmin oranını $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.5, 0.6]$ olarak belirlendiğini varsayalım. Eşitlik (3.15) yardımıyla mevcut Δ değeri:

$$\Delta = \frac{\min(0.14, 0.42, 0.14)}{0.80} = \frac{0.14}{0.80} = 0.175 \text{ olarak bulunur.}$$

Elde edilen Δ değeri açıkça görülmektedir ki üst seviye KV'lerin belirlemiş olduğu alt sınırdan daha düşüktür ($\Delta < \Delta_L = 0.175 < 0.5$). $\Delta < \Delta_L$ olduğundan üst seviye KV'ler minimum tatmin seviyesi yani $\tilde{\delta}$ ' yi azaltarak Δ değerini günceller. $\tilde{\delta}$ ile

gösterilen bu değer her iki üst seviye KV tarafından 0.60 olarak alınır ise problem (6.18) aşağıdaki gibi olur,

Max α

$$\tilde{\delta} = 0.60 \leq \mu_1(Z_1) = \frac{142816974.95 - Z_1(x)}{142816974.95 - 5738543.50}$$

$$\tilde{\delta} = 0.60 \leq \mu_2(Z_2) = \frac{146569980.05 - Z_2(x)}{146569980.05 - 9282576.44}$$

$$\alpha \leq \mu_3(Z_3) = \frac{Z_3(x) - 13774823.07}{170314864.83 - 13774823.07}$$

$$\alpha \leq \mu_4(Z_4) = \frac{Z_4(x) - 322043.91}{3795678.44 - 322043.91}$$

$$\alpha \leq \mu_5(Z_5) = \frac{Z_5(x) - 4645485.26}{81253812.11 - 4645485.26}$$

Kısıtlar (4.61) - (4.122)

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6.19)$$

İkinci iterasyonda, tatmin seviyeleri arasındaki oran üst seviye KV'ler tarafından belirlenen sınırlar arasında olduğu için ($\Delta = \frac{\min(0.35, 0.41, 0.35)}{0.60} = \frac{0.35}{0.60} = 0.58$) EBP'nın ilk aşaması tamamlanır.

İkinci aşamada, üst seviye KV'ler ile alt seviye KV'ler arasındaki orana bakılır. Eşitlik (3.15) yardımıyla

$$\Delta_3 = \frac{\mu_3}{\mu_1} = \frac{0.35}{0.60} = 0.58; \Delta_4 = \frac{\mu_4}{\mu_1} = \frac{0.41}{0.60} = 0.68; \Delta_5 = \frac{\mu_5}{\mu_1} = \frac{0.35}{0.60} = 0.58$$

olarak bulunur.

Üst seviye KV'ler KV3, KV4 için tatmin denge oranını $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.6, 0.7]$ ve KV5 için $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.4, 0.5]$ şeklinde belirlemiş olsun. Bu durumda dördüncü ve beşinci seviye KV'lerin bireysel tatmin denge oranı belirtilen sınırlar içerisinde olurken, üçüncü seviye KV'nin denge oranı bu sınırlar arasında değildir. Bu durumda, üçüncü seviye KV için tatmin seviyesi $\bar{\delta}_3 = \tilde{\delta} \times \Delta_U^{21} = 0.60 \times 0.7 = 0.42$ olarak belirlenir. Bu durumda problem (6.19),

Max α

$$\tilde{\delta} = 0.60 \leq \mu_1(Z_1) = \frac{142816974.95 - Z_1(x)}{142816974.95 - 5738543.50}$$

$$\tilde{\delta} = 0.60 \leq \mu_2(Z_2) = \frac{146569980.05 - Z_2(x)}{146569980.05 - 9282576.44}$$

$$\bar{\delta} = 0.42 \leq \mu_3(Z_3) = \frac{Z_3(x) - 13774823.07}{170314864.83 - 13774823.07}$$

$$\alpha \leq \mu_4(Z_4) = \frac{Z_4(x) - 322043.91}{3795678.44 - 322043.91}$$

$$\alpha \leq \mu_5(Z_5) = \frac{Z_5(x) - 4645485.26}{81253812.11 - 4645485.26}$$

Kısıtlar (4.61) - (4.122)

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6.20)$$

şekline dönüşür.

Bu yeni tatmin seviyelerine göre alt seviye KV'lerin yeni tatmin denge oranları,

$$\Delta_3 = \frac{\mu_3}{\mu_1} = \frac{0.42}{0.60} = 0.7; \Delta_4 = \frac{\mu_4}{\mu_1} = \frac{0.40}{0.60} = 0.66; \Delta_5 = \frac{\mu_5}{\mu_1} = \frac{0.25}{0.60} = 0.41$$

olarak bulunur ve bu değerler üst seviye KV'ler tarafından belirlenen sınırlar içerisindedir. Bu nedenle, EBP'nın durdurma koşulları sağlanmış bulunmaktadır. EBP sonucunda, üst seviye KV'lerin tatmin seviyeleri 0.60 ve alt seviye KV'lerin tatmin seviyelerinin $[0.40, 0.60]$ arasında değer aldığı görülmektedir.

6.2.2. Model 2'nin önerilen EBP-III yaklaşımı ile çözümü

Model 2'nin önerilen EBP III yaklaşımı ile çözümüne ilişkin adımlar aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Alt seviye KV'lerin göreceli ağırlıklarını elde etmek için, Chang (1996)'ın genişletme analizi kullanılmıştır. KV'lerin yargılarını ele alabilmek için Çizelge 6.37'de verilen ölçek kullanılmıştır.

Çizelge 6.37. Değerlendirmeler için dilsel değerler ve bulanık sayı karşılıkları

Dilsel Değişken	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit derecede önem	(1, 1, 1)	(1/1, 1/1, 1/1)
Orta derecede önem	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1/1)
Kuvvetli derecede önem	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok kuvvetli derecede önem	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Mutlak derecede önem	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)
Ara değerler	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)
	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)

Çizelge 6.38 üst seviye KV'ler tarafından alt seviye KV'lerin değerlendirilmesini ve toplanmış değerlendirmeleri göstermektedir.

Çizelge 6.38. Üst seviye KV'lerin değerlendirmeleri ve toplanmış değerlendirmeler

	DM_{11}	DM_{12}	DM_{13}
DM_{01}			
DM_{11}	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(0.14, 0.2, 0.33)
DM_{12}	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	(0.2, 0.33, 1)
DM_{13}	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)
DM_{02}			
DM_{11}	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)	(5, 6, 7)
DM_{12}	(0.14, 0.2, 0.33)	(1, 1, 1)	(5, 7, 9)
DM_{13}	(0.14, 0.16, 0.2)	(0.11, 0.14, 0.2)	(1, 1, 1)
Üst seviye KV'lerin toplanmış yargıları			
DM_{11}	(1, 1, 1)	(1.73, 3.87, 5.91)	(0.84, 1.09, 1.52)
DM_{12}	(0.16, 0.26, 0.58)	(1, 1, 1)	(1, 1.52, 3)
DM_{13}	(0.65, 0.91, 1.18)	(0.33, 0.65, 1)	(1, 1, 1)

Alt seviye KV'lerin ağırlık vektörü bu değerlendirmelerden yararlanılarak (0.5109, 0.2907, 0.1985) elde edilir.

Adım 2: Tüm KV'lerin kendi farklı amaçlarını değerlendirmesi ile aşağıdaki ağırlık vektörleri elde edilir.

Çizelge 6.39. Tüm KV'lere ait ağırlık vektörleri

Karar vericiler	Ağırlık vektörü
DM_{01}	(0.30, 0.5, 0.5, 0.35, 0.10, 0.15)
DM_{02}	(0.30, 0.5, 0.5, 0.35, 0.10, 0.15)
DM_{11}	(1)
DM_{12}	(0.60, 0.30, 0.10)
DM_{13}	(1)

Üst seviye KV'lere (DM_{01} ve DM_{02}) göre amaç fonksiyonunda en önemli faktörler sırasıyla, satın alma maliyeti, taşıma maliyeti, stok maliyeti, sabit açılış maliyeti, taşıtlardan açığa çıkan CO_2 yayılım maliyeti ve taşıma zamanından kaynaklı fırsat kaybı maliyetidir. Alt seviye ikinci KV'ye (DM_{12}) göre ise en önemli faktörler, satın alma maliyeti, taşıma maliyeti ve sabit açılış maliyetidir.

Adım 3: Ağırlıklı toplama yöntemi ile Çizelge 6.40’da verilen ödünleşme tablosu elde edilir. KV’lerin üyelik fonksiyonları ağırlıklı ödünleşme tablosundan yararlanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

Çizelge 6.40. Ağırlıklı ödünleşme tablosu

	Z_{01}	Z_{02}	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}
$\min Z_{01}$	1.323.494,84	12.642.629,38	22.461.979,95	2.405.531,22	7.668.877,08
$\min Z_{02}$	7.145.534,54	2.166.298,46	13.777.240,86	1.847.657,89	4.635.465,50
$\max Z_{11}$	44.849.222,57	38.357.400,38	170.314.864,83	3.976.214,98	37.181.008,35
$\max Z_{12}$	5.342.885,54	16.984.121,55	33.121.408,74	5.797.374,30	15.091.573,76
$\max Z_{13}$	44.016.828,30	45.285.697,63	135.267.805,01	5.446.176,25	81.253.812,11
<i>En kötü değerler</i>	44.849.222,57	45.285.697,63	13.777.240,86	1.847.657,89	4.635.465,50

$$\mu_{01}(Z_{01}) = \begin{cases} 1, & Z_{01}(x) \leq 1323494.84 \\ \frac{44849222.57 - Z_{01}(x)}{44849222.57 - 1323494.84}, & 1323494.84 \leq Z_{01}(x) \leq 44849222.57 \\ 0, & Z_{01}(x) \geq 44849222.57 \end{cases} \quad (6.21)$$

$$\mu_{02}(Z_{02}) = \begin{cases} 1, & Z_{02}(x) \leq 2166298.46 \\ \frac{45285697.63 - Z_{02}(x)}{45285697.63 - 2166298.46}, & 2166298.46 \leq Z_{02}(x) \leq 45285697.63 \\ 0, & Z_{02}(x) \geq 45285697.63 \end{cases} \quad (6.22)$$

$$\mu_{11}(Z_{11}) = \begin{cases} 1, & Z_{11}(x) \geq 170314864.83 \\ \frac{Z_{11}(x) - 13777240.86}{170314864.83 - 13777240.86}, & 13777240.86 \leq Z_{11}(x) \leq 170314864.83 \\ 0, & Z_{11}(x) \leq 13777240.86 \end{cases} \quad (6.23)$$

$$\mu_{12}(Z_{12}) = \begin{cases} 1, & Z_{12}(x) \geq 5797374.0 \\ \frac{Z_{12}(x) - 1847657.89}{5797374.0 - 1847657.89}, & 1847657.89 \leq Z_{12}(x) \leq 5797374.0 \\ 0, & Z_{12}(x) \leq 1847657.89 \end{cases} \quad (6.24)$$

$$\mu_{13}(Z_{13}) = \begin{cases} 1, & Z_{13}(x) \geq 81253812.11 \\ \frac{Z_{13}(x) - 4635465.50}{81253812.11 - 4635465.50}, & 4635465.50 \leq Z_{13}(x) \leq 81253812.11 \\ 0, & Z_{13}(x) \leq 4635465.50 \end{cases} \quad (6.25)$$

Adım 4: Üst seviye KV’ler minimum tatmin seviyesini $\delta_0 = 0.60$ olarak belirlemiş olsun. Bu değeri kullanarak alt seviye KV’ler kendileri için aşağıda verilen minimum tatmin seviyelerini elde ederler.

$$\Gamma_{11}^L = w_3 \cdot \delta_0 = 0.5109 \cdot 0.60 = 0.3054$$

$$\Gamma_{12}^L = w_4 \cdot \delta_0 = 0.2907 \cdot 0.60 = 0.1744$$

$$\Gamma_{13}^L = w_5 \cdot \delta_0 = 0.1985 \cdot 0.60 = 0.1191$$

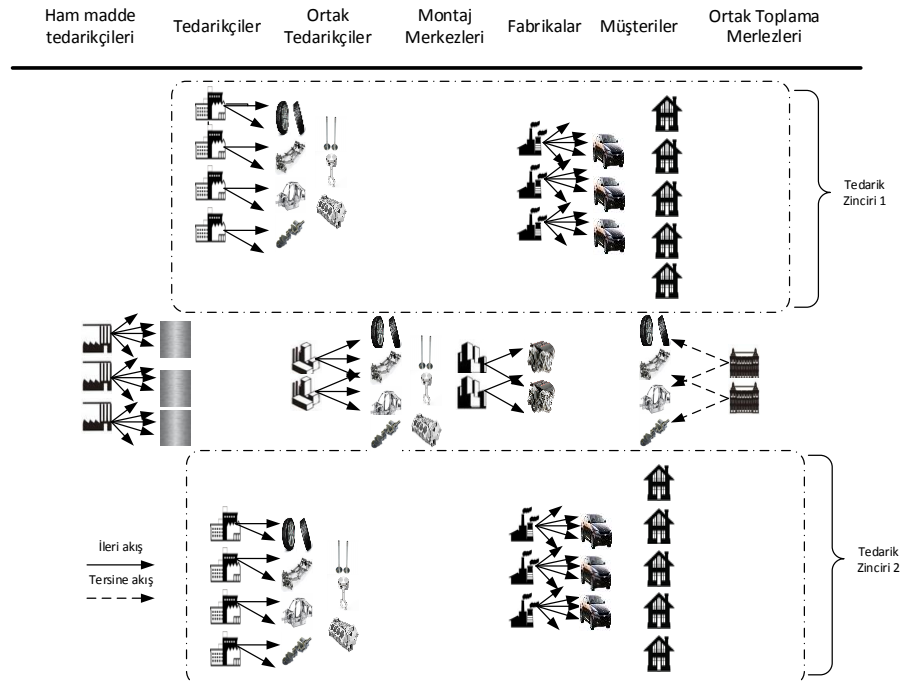
Adım 5: Aşağıdaki problem çözülerek tüm KV’lerin tatmin seviyeleri elde edilir.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } (\mu_{01}(Z_{01}) + \mu_{02}(Z_{02})) + w_1 \cdot \mu_{11}(Z_{11}) + w_2 \cdot \mu_{12}(Z_{12}) + w_3 \cdot \mu_{13}(Z_{13}) \\
& \mu_{01}(Z_{01}) \geq \delta_0 = 0.60 \\
& \mu_{02}(Z_{02}) \geq \delta_0 = 0.60 \\
& \mu_{11}(Z_{11}) \geq \Gamma_{11}^L = 0.3054 \\
& \mu_{12}(Z_{12}) \geq \Gamma_{12}^L = 0.1744 \\
& \mu_{13}(Z_{13}) \geq \Gamma_{13}^L = 0.1191 \\
& \text{Kısıtlar (4.61) - (4.122)}
\end{aligned} \tag{6.26}$$

Eşitlik (6.26)'nın çözülmesi ile üst seviye KV'lerin tatmin seviyeleri (0.68,0.70) alt seviye KV'lerin tatmin seviyeleri (0.31,0.70,0.12) olarak elde edilir.

6.3. Model 3'e Ait Sayısal Örnek

Geliştirilen ortak KDTZ ağ tasarımının geçerliliğini sınamak için 3 ham madde tedarikçisi, 2 ortak tedarikçi, TZ1 ve TZ2'de 4 tedarikçi, 2 montaj merkezi, TZ1 ve TZ2'de 3 fabrika, TZ1 ve TZ2'de 5 müşteri ve 2 ortak toplama merkezinden oluşan bir tasarım ele alınmıştır (Şekil 6.20).



Şekil 6.20. Model 3'e ait KDTZ yapısı

Geliştirilen KDTZ modelinin performansı rasgele üretilen parametreler aracılığıyla araştırılmıştır. Parametrelerin rasgel üretildikleri dağılımların aralıkları Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Çizelge 6.41. Rasgele üretilen parametreler ve aralıkları

Parametreler	Rasgele dağılım
d_{km}, d_{kn}	~ Düzgün (100, 400)
d_{ki}	~ Düzgün (50, 200)
d_{im}, d_{in}	~ Düzgün (100, 300)
d_{il}, d_{rl}, d_{sl}	~ Düzgün (60, 240)
d_{rm}, d_{sn}	~ Düzgün (100, 300)
$d_{lm}, d_{ln}, d_{mu}, d_{nv}$	~ Düzgün (50, 150)
d_{uj}, d_{vj}	~ Düzgün (25, 200)
d_{jm}, d_{jn}	~ Düzgün (50, 450)
as_{kt}	~ Düzgün (100, 2000)
a_{rct}^I, a_{sct}^{II}	~ Düzgün (500, 1000)
a_{ict}	~ Düzgün (500, 2000)
$a_{rft}^I, a_{sft}^{II}, a_{ift}$	~ Düzgün (500, 1000)
b_{mct}^I, b_{nct}^{II}	~ Düzgün (250, 750)
aa_{lt}	~ Düzgün (500, 1400)
ca_{jt}	~ Düzgün (2000, 5000)
de_{ut}^I, de_{vt}^{II}	~ Düzgün (100, 400)
$\alpha_{mt}^I, \alpha_{nt}^{II}$	~ Düzgün (10000, 100000)
α_{jt}	~ Düzgün (5000, 50000)
p_{rc}, p_{sc}	~ Düzgün (50, 500)
p_{ic}	~ Düzgün (40, 400)
p_{rf}, p_{sf}	~ Düzgün (30, 450)
p_{if}	~ Düzgün (25, 400)
e_{jc}	~ Düzgün (800, 1200)
$hcp_{mct}^I, hcp_{nct}^{II}$	~ Düzgün (100, 500)

Çizelge 6.42 – 6.58’de yukarıdaki dağılımlar kullanılarak elde edilen veriler ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 6.42. TZ1 için fabrikalar ile ham madde tedarikçileri, kendi tedarikçileri, ortak tedarikçiler, montaj merkezleri, müşteriler ve ortak toplama merkezleri arasındaki mesafeler (km)

	Fabrika 1	Fabrika 2	Fabrika 3
Ham Madde Tedarikçisi 1	161	202	201
Ham Madde Tedarikçisi 2	340	206	353
Ham Madde Tedarikçisi 3	276	199	252
Tedarikçi 1	186	190	204
Tedarikçi 2	277	133	211
Tedarikçi 3	140	125	124
Tedarikçi 4	134	143	113
Ortak tedarikçi 1	261	188	152
Ortak tedarikçi 2	271	212	146
Montaj Merkezi 1	136	114	105
Montaj Merkezi 2	63	125	54
Müşteri 1	116	60	87
Müşteri 2	64	150	80
Müşteri 3	102	107	97
Müşteri 4	138	51	83
Müşteri 5	71	100	149
Ortak toplama merkezi 1	335	276	245
Ortak toplama merkezi 2	282	54	405

Çizelge 6.43. TZ1 için ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Müşteri 1	Müşteri 2	Müşteri 3	Müşteri 4	Müşteri 5
Ortak toplama merkezi 1	158	183	149	57	92
Ortak toplama merkezi 2	110	139	50	70	164

Çizelge 6.44. TZ1 için kendi tedarikçileri ve ortak tedarikçiler ile ham madde tedarikçileri ve montaj merkezleri arasındaki mesafeler (km)

	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3	Tedarikçi 4	Ortak tedarikçi 1	Ortak tedarikçi 2
Ham Madde Tedarikçisi 1	168	120	278	214	191	194
Ham Madde Tedarikçisi 2	190	130	198	250	94	130
Ham Madde Tedarikçisi 3	182	278	276	204	110	73
Montaj Merkezi 1	196	78	108	125	210	137
Montaj Merkezi 2	189	87	89	201	87	95

Çizelge 6.45. TZ2 için fabrikalar ile ham madde tedarikçileri, kendi tedarikçileri, ortak tedarikçiler, montaj merkezleri, müşteriler ve ortak toplama merkezleri arasındaki mesafeler (km)

	Fabrika 1	Fabrika 2	Fabrika 3
Ham Madde Tedarikçisi 1	390	200	321
Ham Madde Tedarikçisi 2	290	313	201
Ham Madde Tedarikçisi 3	124	199	112
Tedarikçi 1	197	215	203
Tedarikçi 2	105	198	167
Tedarikçi 3	287	140	112
Tedarikçi 4	221	165	242
Ortak tedarikçi 1	112	185	112
Ortak tedarikçi 2	109	227	230
Montaj Merkezi 1	140	69	101
Montaj Merkezi 2	129	92	122
Müşteri 1	100	97	88
Müşteri 2	115	126	60
Müşteri 3	117	84	115
Müşteri 4	50	99	52
Müşteri 5	120	71	68
Ortak toplama merkezi 1	406	360	286
Ortak toplama merkezi 2	149	289	325

Çizelge 6.46. TZ2 için ortak toplama merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler (km)

	Müşteri 1	Müşteri 2	Müşteri 3	Müşteri 4	Müşteri 5
Ortak toplama merkezi 1	145	147	146	65	86
Ortak toplama merkezi 2	189	165	197	199	144

Çizelge 6.47. TZ2 için kendi tedarikçileri ile ham madde tedarikçileri ve montaj merkezleri arasındaki mesafeler (km)

	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3	Tedarikçi 4
Ham Madde Tedarikçisi 1	271	86	73	75
Ham Madde Tedarikçisi 2	215	186	228	221
Ham Madde Tedarikçisi 3	84	267	134	245
Montaj Merkezi 1	186	70	82	158
Montaj Merkezi 2	123	224	121	207

Çizelge 6.48. Ham madde tedarikçileri, montaj merkezleri ve ortak toplama merkezlerinin kapasiteleri (ton)

	Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Ham Madde Tedarikçisi 1(Ham madde)	1138	771	268
Ham Madde Tedarikçisi 2 (Ham madde)	160	935	1010
Ham Madde Tedarikçisi 3 (Ham madde)	1229	1494	1129
Montaj Merkezi 1(Yarı mamul)	1116	968	1163
Montaj Merkezi 2 (Yarı mamul)	1004	700	939
Ortak toplama merkezi 1 (Ürün)	2275	4987	2985
Ortak toplama merkezi 2 (Ürün)	3144	2746	4439

Çizelge 6.49. TZ1 için üreticiler, kendi tedarikçileri ve ortak tedarikçilerin *parça c* kapasiteleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Üretici 1	Parça 1	572	264	441
	Parça 2	378	439	675
	Parça 3	332	715	291
	Parça 4	294	703	287
Üretici 2	Parça 1	696	469	267
	Parça 2	746	459	592
	Parça 3	601	624	697
	Parça 4	372	717	741
Üretici 3	Parça 1	303	323	280
	Parça 2	727	691	599
	Parça 3	641	556	530
	Parça 4	578	300	407
Tedarikçi 1	Parça 1	674	778	616
	Parça 2	511	868	950
	Parça 3	841	541	531
	Parça 4	627	925	879
Tedarikçi 2	Parça 1	877	911	964
	Parça 2	592	766	818
	Parça 3	651	579	595
	Parça 4	772	920	738
Tedarikçi 3	Parça 1	700	675	853
	Parça 2	799	650	754
	Parça 3	921	774	521
	Parça 4	934	596	648
Tedarikçi 4	Parça 1	736	562	519
	Parça 2	555	763	514
	Parça 3	789	502	938
	Parça 4	915	751	880
Ortak Tedarikçi 1	Parça 1	583	845	1965
	Parça 2	1029	550	755
	Parça 3	659	1667	1552
	Parça 4	1930	1993	798
Ortak Tedarikçi 2	Parça 1	945	1985	1815
	Parça 2	1597	1474	1003
	Parça 3	1139	985	678
	Parça 4	1037	537	1531

Çizelge 6.50. TZ1 için kendi tedarikçilerinin ve ortak tedarikçilerin *parça f* kapasiteleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Tedarikçi 1	Parça 1	736	558	830
	Parça 2	850	533	669
	Parça 3	973	540	764
Tedarikçi 2	Parça 1	762	805	958
	Parça 2	620	567	791
	Parça 3	627	511	576
Tedarikçi 3	Parça 1	941	828	542
	Parça 2	886	690	992
	Parça 3	894	780	941
Tedarikçi 4	Parça 1	951	990	871
	Parça 2	947	811	529
	Parça 3	799	838	877
Ortak Tedarikçi 1	Parça 1	745	536	576
	Parça 2	974	630	842
	Parça 3	950	597	589
Ortak Tedarikçi 2	Parça 1	643	552	621
	Parça 2	615	569	532
	Parça 3	599	661	601

Çizelge 6.51. TZ2 için kendi tedarikçileri ve üreticilerin *parça c* kapasiteleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Tedarikçi 1	Parça 1	562	965	603
	Parça 2	977	741	880
	Parça 3	867	910	751
	Parça 4	681	832	988
Tedarikçi 2	Parça 1	880	864	913
	Parça 2	547	901	966
	Parça 3	739	644	745
	Parça 4	970	592	905
Tedarikçi 3	Parça 1	853	762	990
	Parça 2	990	524	746
	Parça 3	655	939	517
	Parça 4	919	854	812
Tedarikçi 4	Parça 1	760	586	721
	Parça 2	687	688	774
	Parça 3	585	856	538
	Parça 4	846	595	664
Üretici 1	Parça 1	316	573	348
	Parça 2	317	252	524
	Parça 3	419	409	572
	Parça 4	529	380	617
Üretici 2	Parça 1	651	594	425
	Parça 2	412	596	301
	Parça 3	275	444	494
	Parça 4	522	560	522
Üretici 3	Parça 1	605	360	495
	Parça 2	315	447	698
	Parça 3	664	627	279
	Parça 4	520	665	514

Çizelge 6.52. TZ2 için kendi tedarikçilerinin *parça f* kapasiteleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Tedarikçi 1	Parça 1	718	864	974
	Parça 2	596	835	711
	Parça 3	946	548	815
Tedarikçi 2	Parça 1	711	502	645
	Parça 2	538	548	695
	Parça 3	553	745	866
Tedarikçi 3	Parça 1	833	818	929
	Parça 2	984	832	869
	Parça 3	870	832	582
Tedarikçi 4	Parça 1	996	907	814
	Parça 2	636	731	659
	Parça 3	601	854	955

Çizelge 6.53. TZ1 ve TZ2 için müşteri talepleri (ton)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
TZ1	Müşteri 1	279	282	197
	Müşteri 2	166	318	301
	Müşteri 3	175	190	225
	Müşteri 4	154	269	119
	Müşteri 5	197	213	177
TZ2	Müşteri 1	236	158	142
	Müşteri 2	241	129	363
	Müşteri 3	122	285	356
	Müşteri 4	287	105	320
	Müşteri 5	152	347	118

Çizelge 6.54. TZ1, TZ2 ve ortak tedarikçi için *parça c* satın alma maliyetleri/satış fiyatları (\$)

		TZ1	TZ2	Ortak Tedarikçi
Parça 1	Tedarikçi 1	403	487	200
	Tedarikçi 2	73	178	355
	Tedarikçi 3	150	99	
	Tedarikçi 4	140	498	
Parça 2	Tedarikçi 1	408	388	319
	Tedarikçi 2	354	259	135
	Tedarikçi 3	426	284	
	Tedarikçi 4	398	157	
Parça 3	Tedarikçi 1	408	440	395
	Tedarikçi 2	405	288	226
	Tedarikçi 3	490	384	
	Tedarikçi 4	497	421	
Parça 4	Tedarikçi 1	167	163	52
	Tedarikçi 2	122	196	207
	Tedarikçi 3	396	415	
	Tedarikçi 4	229	275	

Çizelge 6.55. TZ1, TZ2 ve ortak tedarikçi için *parça f* satın alma maliyetleri/satış fiyatları (\$)

		TZ1	TZ2	Ortak Tedarikçi
Parça 1	Tedarikçi 1	404	259	105
	Tedarikçi 2	109	62	114
	Tedarikçi 3	307	182	
	Tedarikçi 4	347	393	
Parça 2	Tedarikçi 1	426	231	101
	Tedarikçi 2	419	256	184
	Tedarikçi 3	75	178	
	Tedarikçi 4	122	281	
Parça 3	Tedarikçi 1	107	152	150
	Tedarikçi 2	214	34	98
	Tedarikçi 3	324	177	
	Tedarikçi 4	111	98	

Çizelge 6.56. TZ1, TZ2 ve ortak toplama merkezleri için sabit işletme maliyetleri (\$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
TZ1	Fabrika 1	11084	71956	83000
	Fabrika 2	84143	13031	45788
	Fabrika 3	21314	67079	43621
TZ2	Fabrika 1	57794	69580	11675
	Fabrika 2	85884	88509	89703
	Fabrika 3	47387	10304	65271
	Ortak toplama merkezi 1	13596	12559	11807
	Ortak toplama merkezi 2	9507	8893	6565

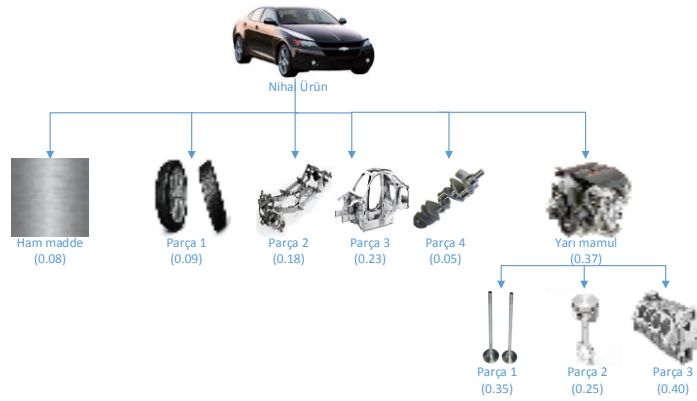
Çizelge 6.57. Ortak toplama merkezleri için parçaları satın alma maliyetleri/satış fiyatları (\$)

	Parça 1	Parça 2	Parça 3	Parça 4
Ortak toplama merkezi 1	1060	1132	1075	1011
Ortak toplama merkezi 2	912	1015	1081	986

Çizelge 6.58. TZ1 ve TZ2 için parçaları stokta tutma maliyetleri (\$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
TZ1	Üretici 1	Parça 1	319	382
		Parça 2	151	391
		Parça 3	210	459
		Parça 4	434	126
	Üretici 2	Parça 1	317	172
		Parça 2	121	381
		Parça 3	390	295
		Parça 4	151	496
	Üretici 3	Parça 1	292	433
		Parça 2	230	116
		Parça 3	168	180
		Parça 4	208	201
TZ2	Üretici 1	Parça 1	135	163
		Parça 2	149	467
		Parça 3	162	200
		Parça 4	468	437
	Üretici 2	Parça 1	318	469
		Parça 2	212	484
		Parça 3	403	123
		Parça 4	290	439
	Üretici 3	Parça 1	329	143
		Parça 2	118	416
		Parça 3	303	221
		Parça 4	195	403

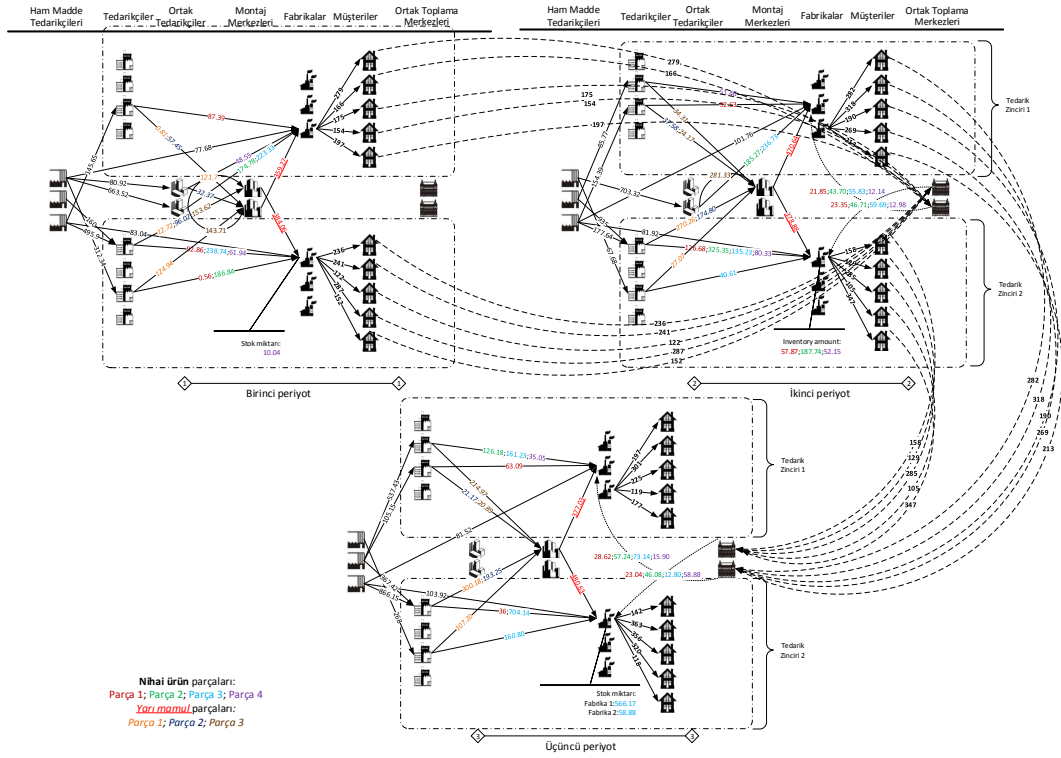
Nihai ürün olarak ele alınan otomobilin dört parçadan, ham maddeden ve yarı-mamul üründen oluştuğu kabul edilmiştir. Ayrıca yarı mamulün de üç farklı parçadan oluştuğu kabul edilmiştir. Bir nihai ürünün içindeki parça, ham madde ve yarı-mamul oranları Şekil 6.21’de verilmiştir.



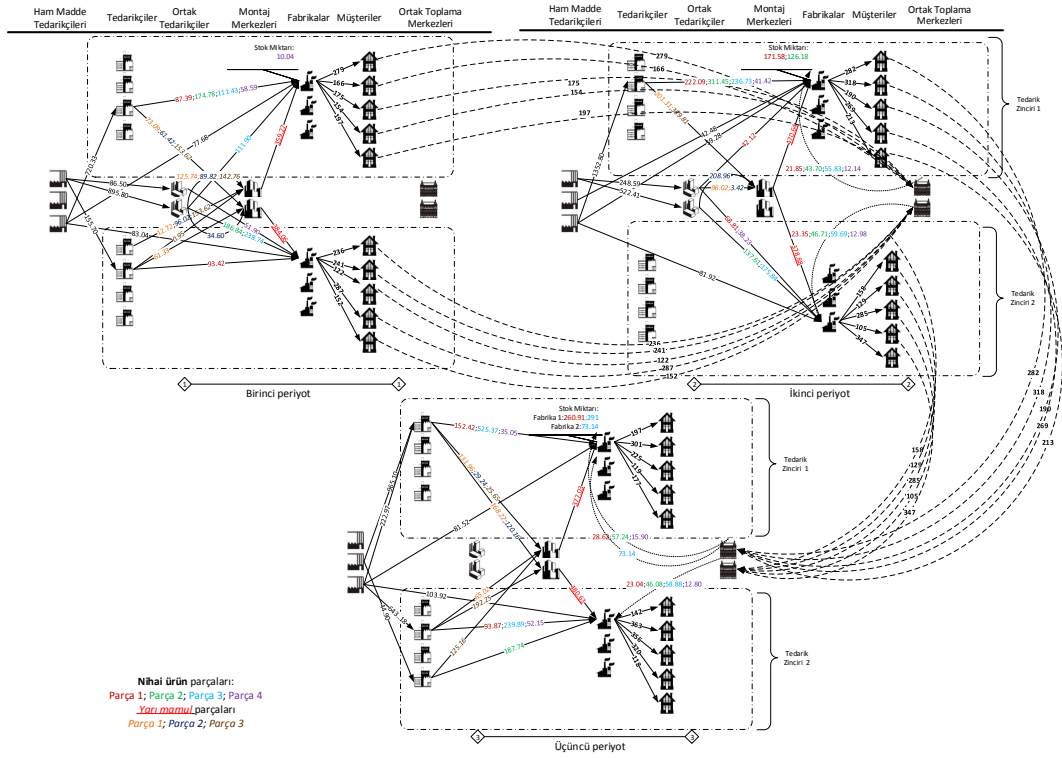
Şekil 6.21. Nihai ürüne ait ürün ağacı

Birim taşıma maliyeti (*utc*) km başına 0.75 cent, bir yarı mamulün satın alma maliyeti/satış fiyatı 1000\$ ve ham maddenin satın alma maliyeti/satış fiyatı 50\$ olarak kabul edilmiştir. Kullanılan ürünlerin TZ1 için $\eta_1 = 0.25$ 'i ve TZ2 için $\eta_2 = 0.25$ 'inin ortak toplama merkezleri tarafından toplandığı kabul edilmiştir.

Geliştirilen model verilen parametreler ve oranlar ile (4.123) - (4.199) eşitlikleri ile 2.67 GHz işlemcili ve 3GB RAM'e sahip bilgisayarda GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programı ile farklı KV'ler için çözülmüştür. KV1 için çözüldüğünde 1189 değişken ve 666 değişken ile çözüm gerçekleştirilmiştir. KV1 ve KV2'ye ait optimal dağıtım planları Şekil 6.22 - 6.23'de verilmiştir:

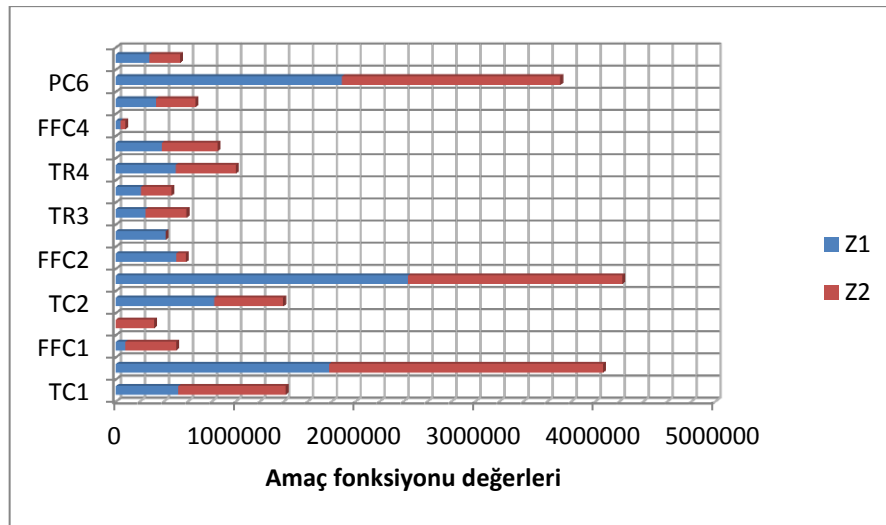


Şekil 6.22. TZ1'deki fabrikalar için optimal dağıtım planı (DM₀₁)



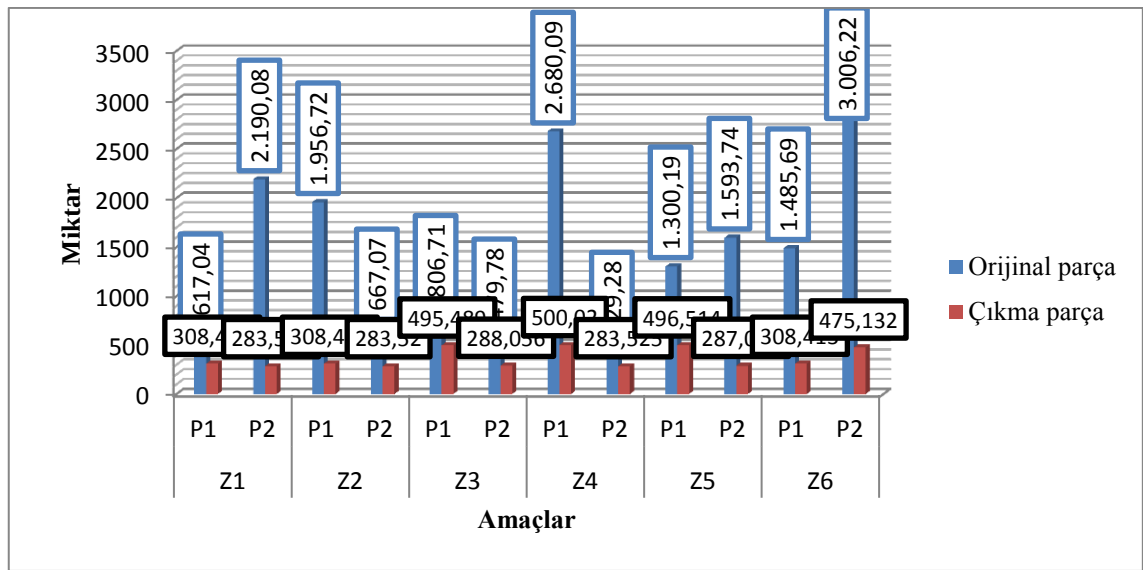
Şekil 6.23. TZZ'deki fabrikalar için optimal dağıtım planı (DM_{02})

KDTZ modeli geliştirildiğinde, nihai ürünün bir dönem kullanıldıktan sonra ortak toplama merkezlerine geri dönüşüm için gönderildiği Şekil 6.22 ve 6.23'ün ilk periyotlarından görülmektedir. Şekil 4.26'ya göre, ilk dönemde 1936.07 ton ham madde fabrikalara, tedarikçilere ve ortak tedarikçilere teslim edilmiştir. 743.33 ton yarı mamul ise üçüncü fabrikada 971 ton nihai ürün üretiminde kullanılmıştır. Şekil 6.22 ve 6.23'den görüldüğü üzere ortak tedarikçiler üçüncü periyotta açılmamıştır.



Şekil 6.24. TZZ'deki fabrikalar (DM_{01}) ve TZZ'deki fabrikaların (DM_{02}) amaç fonksiyonlarının karşılaştırılması

Oluşturulan KDTZ modeli TZ1'deki fabrikaların amacını optimum yapmak için çözüldüğünde, maksimum toplam maliyet TZ2'deki fabrikaların satın alma maliyetinde (2436751.87) elde edilmektedir. TZ1'deki fabrikalar için stok maliyeti elde edilmediği ve satın alma maliyetinin maliyetler içerisinde en yüksek orana sahip olduğu Şekil 6.24'den görülmektedir. KDTZ modeli TZ2'deki fabrikaların amacını optimum yapmak için çözüldüğünde, DM_{14} hariç diğer bütün amaç fonksiyonu değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek maliyet TZ2'deki fabrikaların satın alma maliyetinde oluşmaktadır ve fabrikalar stok maliyeti ile karşılaşmamaktadır.



Şekil 6.25. Tüm KV'lere göre parça dağılımları

Şekil 6.25'e göre, satın alınan orijinal parçaların miktarı minimum ve maksimum değer aralığında TZ2 için Z_4 ve Z_6 'da karşımıza çıkmaktadır. Beklenildiği üzere, maksimum ikinci el parça miktarı of Z_4 amacının optimum edilmesiyle, minimum ikinci el parça miktarı Z_1 amacının optimum edilmesiyle elde edilmektedir.

6.3.1. Model 3'ün önerilen EBP- IV yaklaşımı ile çözümü

Model 3'ün önerilen EBP IV yaklaşımı ile çözümüne ilişkin adımlar aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Alt seviye KV'lerin göreceli ağırlıklarını elde etmek için, Chang (1996)'ın genişletme analizi kullanılmıştır. KV'lerin yargılarını ele alabilmek için Çizelge 6.59'da verilen ölçek kullanılmıştır.

Çizelge 6.59. Değerlendirmeler için dilsel değerler ve bulanık sayı karşılıkları

Dilsel Değişken	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit derecede önem	(1, 1, 1)	(1/1, 1/1, 1/1)
Orta derecede önem	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1/1)
Kuvvetli derecede önem	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok kuvvetli derecede önem	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Mutlak derecede önem	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)
Ara değerler	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)
	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)

Çizelge 6.60 üst seviye KV'ler tarafından alt seviye KV'lerin değerlendirilmesini ve toplanmış değerlendirmeleri göstermektedir.

Çizelge 6.60. Üst seviye KV'lerin değerlendirmeleri ve toplanmış değerlendirmeler

	DM_{11}	DM_{12}	DM_{13}	DM_{14}
DM_{01}				
DM_{11}	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)
DM_{12}	(0.14, 0.2, 0.33)	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
DM_{13}	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.14, 0.2, 0.33)	(1, 1, 1)	(0.2, 0.25, 0.33)
DM_{14}	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.14, 0.2, 0.33)	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)
DM_{02}				
DM_{11}	(1, 1, 1)	(0.2, 0.33, 1)	(3, 4, 5)	(0.14, 0.2, 0.33)
DM_{12}	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	(0.14, 0.2, 0.33)
DM_{13}	(0.2, 0.25, 0.33)	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	(5, 6, 7)
DM_{14}	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(0.14, 0.16, 0.2)	(1, 1, 1)
Üst seviye KV'lerin görüşlerinin toplanması				
DM_{11}	(1, 1, 1)	(0.77, 1.29, 2.64)	(3, 4, 5)	(0.65, 0.89, 1.29)
DM_{12}	(0.37, 0.77, 1.29)	(1, 1, 1)	(0.65, 1, 1.52)	(0.65, 1, 1.52)
DM_{13}	(0.2, 0.25, 0.33)	(0.65, 1, 1.52)	(1, 1, 1)	(1, 1.22, 1.52)
DM_{14}	(0.77, 1.11, 1.52)	(0.65, 1, 1.52)	(0.65, 0.85, 1)	(1, 1, 1)

Alt seviye KV'lerin ağırlık vektörü bu değerlendirmelerden yararlanılarak (0.4504, 0.2090, 0.1416, 0.1990) elde edilir.

Adım 2: Tüm KV'lerin kendi farklı amaçlarını değerlendirmesi ile aşağıdaki ağırlık vektörleri elde edilir.

Çizelge 6.61. Tüm KV'lere ait ağırlık vektörleri

Karar vericiler	Ağırlık vektörü
DM_{01}	(0.25, 0.55, 0.15, 0.05)
DM_{02}	(0.25, 0.55, 0.15, 0.05)
DM_{11}	(0.60, 0.40)
DM_{12}	(0.50, 0.40, 0.10)
DM_{13}	(1)
DM_{14}	(0.80, 0.20)

Üst seviye KV'lere (DM_{01} ve DM_{02}) göre amaç fonksiyonunda en önemli faktörler sırasıyla, satın alma maliyeti, taşıma maliyeti, sabit açılış maliyeti ve stok maliyetidir. Alt seviye ikinci KV'ye (DM_{12}) göre ise en önemli faktörler, satın alma maliyeti, sabit açılış maliyeti ve taşıma maliyetidir.

Adım 3: Ağırlıklı toplama yöntemi ile Çizelge 6.62'de verilen ödünleşme tablosu elde edilir. KV'lerin üyelik fonksiyonları ağırlıklı ödünleşme tablosundan yararlanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

Çizelge 6.62. Ağırlıklı ödünleşme tablosu

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
min Z_1	1.093.235,85	1.580.918,18	43.426,38	287.024,06	332.805,75	1.562.666,72
min Z_2	2.110.998,50	1.130.015,62	51.246,98	256.599,65	402.829,50	1.816.494,19
max Z_3	1.870.777,27	1.617.982,84	499.527,66	345.856,19	402.829,50	1.845.534,01
max Z_4	1.559.424,06	1.957.316,69	113.562,55	464.204,50	402.829,50	1.775.631,37
max Z_5	1.942.005,07	1.579.774,20	104.757,66	294.194,89	406.700,00	1.824.714,49
max Z_6	1.376.014,91	1.994.078,41	40.371,94	409.405,71	406.700,00	2.208.122,17
En kötü değerler	2.110.998,50	1.994.078,41	40.371,94	256.599,65	332.805,75	1.562.666,72

$$\mu_{01}(Z_{01}) = \begin{cases} 1, & Z_{01}(x) \leq 1093235.85 \\ \frac{2110998.50 - Z_{01}(x)}{2110998.50 - 1093235.85}, & 1093235.85 \leq Z_{01}(x) \leq 2110998.50 \\ 0, & Z_{01}(x) \geq 2110998.50 \end{cases} \quad (6.27)$$

$$\mu_{02}(Z_{02}) = \begin{cases} 1, & Z_{02}(x) \leq 1130015.62 \\ \frac{1994078.41 - Z_{02}(x)}{1994078.41 - 1130015.62}, & 1130015.62 \leq Z_{02}(x) \leq 1994078.41 \\ 0, & Z_{02}(x) \geq 1994078.41 \end{cases} \quad (6.28)$$

$$\mu_{11}(Z_{11}) = \begin{cases} 1, & Z_{11}(x) \geq 499527.66 \\ \frac{Z_{11}(x) - 40371.94}{499527.66 - 40371.94}, & 40371.94 \leq Z_{11}(x) \leq 499527.66 \\ 0, & Z_{11}(x) \leq 40371.94 \end{cases} \quad (6.29)$$

$$\mu_{12}(Z_{12}) = \begin{cases} 1, & Z_{12}(x) \geq 464204.50 \\ \frac{Z_{12}(x)-256599.65}{464204.50-256599.65}, & 256599.65 \leq Z_{12}(x) \leq 464204.50 \\ 0, & Z_{12}(x) \leq 256599.65 \end{cases} \quad (6.30)$$

$$\mu_{13}(Z_{13}) = \begin{cases} 1, & Z_{13}(x) \geq 406700.00 \\ \frac{Z_{13}(x)-332805.75}{406700.00-332805.75}, & 332805.75 \leq Z_{13}(x) \leq 406700.00 \\ 0, & Z_{13}(x) \leq 332805.75 \end{cases} \quad (6.31)$$

$$\mu_{14}(Z_{14}) = \begin{cases} 1, & Z_{14}(x) \geq 2208122.17 \\ \frac{Z_{14}(x)-1562666.72}{2208122.17-1562666.72}, & 1562666.72 \leq Z_{14}(x) \leq 2208122.17 \\ 0, & Z_{14}(x) \leq 1562666.72 \end{cases} \quad (6.32)$$

Adım 4: Üst seviye KV'ler minimum tatmin seviyesini $\delta_0 = 0.75$ olarak belirlemiş olsun. Bu değeri kullanarak alt seviye KV'ler kendileri için aşağıda verilen minimum tatmin seviyelerini elde ederler.

$$\Gamma_{11}^L = w_1 \cdot \delta_0 = 0.4504 \cdot 0.75 = 0.3378$$

$$\Gamma_{12}^L = w_2 \cdot \delta_0 = 0.2090 \cdot 0.75 = 0.1567$$

$$\Gamma_{13}^L = w_3 \cdot \delta_0 = 0.1416 \cdot 0.75 = 0.1062$$

$$\Gamma_{14}^L = w_4 \cdot \delta_0 = 0.1990 \cdot 0.75 = 0.1492$$

Adım 5: Aşağıdaki problem çözülerek tüm KV'lerin tatmin seviyeleri elde edilir.

$$\begin{aligned} & \text{Max } (\mu_{01}(Z_{01}) + \mu_{02}(Z_{02})) + w_1 \cdot \mu_{11}(Z_{11}) + w_2 \cdot \mu_{12}(Z_{12}) + w_3 \cdot \mu_{13}(Z_{13}) + w_4 \\ & \quad \cdot \mu_{14}(Z_{14}) \\ & \mu_{01}(Z_{01}) \geq \delta_0 = 0.75 \\ & \mu_{02}(Z_{02}) \geq \delta_0 = 0.75 \\ & \mu_{11}(Z_{11}) \geq \Gamma_{11}^L = 0.3378 \\ & \mu_{12}(Z_{12}) \geq \Gamma_{12}^L = 0.1567 \\ & \mu_{13}(Z_{13}) \geq \Gamma_{13}^L = 0.1062 \\ & \mu_{14}(Z_{14}) \geq \Gamma_{14}^L = 0.1492 \\ & \text{Kısıtlar (4.143) - (4.189)} \end{aligned} \quad (6.33)$$

Adım 6:

İterasyon 1. KV'lerin tatmin seviyeleri $\mu_{01}(Z_{01}) = 0.81$; $\mu_{02}(Z_{02}) = 0.95$; $\mu_{11}(Z_{11}) = 0.53$; $\mu_{12}(Z_{12}) = 0.18$; $\mu_{13}(Z_{13}) = 0.11$ ve $\mu_{14}(Z_{14}) = 0.25$ olarak elde edilir.

Üst seviye KV'ler arasındaki tatmin seviyelerinin dengesi (Δ_j) için alt ve üst sınırı $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.40, 0.80]$ şeklinde belirlemiş olsun. Üst seviye ve alt seviye KV'ler arasındaki denge oranı

$$\Delta_j = \frac{\mu_{1j}(Z_{1j})}{\min(\mu_{0i}(Z_{0i}))}$$

ile belirlenir ve oranlar aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$\Delta_1 = \frac{\mu_{11}(Z_{11})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.53}{0.81} = 0.6543$$

$$\Delta_2 = \frac{\mu_{12}(Z_{12})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.18}{0.81} = 0.2222$$

$$\Delta_3 = \frac{\mu_{13}(Z_{13})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.11}{0.81} = 0.1358$$

$$\Delta_4 = \frac{\mu_{14}(Z_{14})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.25}{0.81} = 0.3086$$

Δ_2, Δ_3 ve $\Delta_4 < \Delta_L$ olduğu için ilgili KV'ler kendi tatmin seviyelerini aşağıdaki gibi belirler:

$$\Gamma_{12}^L = \frac{w_2 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.1567}{0.80} = 0.1958$$

$$\Gamma_{13}^L = \frac{w_3 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.1062}{0.80} = 0.1327$$

$$\Gamma_{14}^L = \frac{w_4 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.1492}{0.80} = 0.1865$$

Bu değerler kullanılarak ana problem aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\text{Max } (\mu_{01}(Z_{01}) + \mu_{02}(Z_{02})) + w_1 \cdot \mu_{11}(Z_{11}) + w_2 \cdot \mu_{12}(Z_{12}) + w_3 \cdot \mu_{13}(Z_{13}) + w_4 \cdot \mu_{14}(Z_{14})$$

$$\mu_{01}(Z_{01}) \geq \delta_0 = 0.75$$

$$\mu_{02}(Z_{02}) \geq \delta_0 = 0.75$$

$$\mu_{11}(Z_{11}) \geq \Gamma_{11}^L = 0.3378$$

$$\mu_{12}(Z_{12}) \geq \Gamma_{12}^L = 0.1958$$

$$\mu_{13}(Z_{13}) \geq \Gamma_{13}^L = 0.1327$$

$$\mu_{14}(Z_{14}) \geq \Gamma_{14}^L = 0.1865$$

$$\text{Kısıtlar (4.143) - (4.189)} \quad (6.34)$$

İterasyon 2. KV'lerin tatmin seviyeleri $\mu_{01}(Z_{01}) = 0.81$; $\mu_{02}(Z_{02}) = 0.94$; $\mu_{11}(Z_{11}) = 0.53$; $\mu_{12}(Z_{12}) = 0.20$; $\mu_{13}(Z_{13}) = 0.13$ ve $\mu_{14}(Z_{14}) = 0.26$ olarak belirlenir ve denge oranlar aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\Delta_1 = \frac{\mu_{11}(Z_{11})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.53}{0.81} = 0.6543$$

$$\Delta_2 = \frac{\mu_{12}(Z_{12})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.20}{0.81} = 0.2469$$

$$\Delta_3 = \frac{\mu_{13}(Z_{13})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.13}{0.81} = 0.1604$$

$$\Delta_4 = \frac{\mu_{14}(Z_{14})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.26}{0.81} = 0.3209$$

Δ_2, Δ_3 ve $\Delta_4 < \Delta_L$ olduğu için ilgili KV'ler kendi tatmin seviyelerini aşağıdaki gibi belirler:

$$\Gamma_{12}^L = \frac{w_2 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.1958}{0.80} = 0.2447$$

$$\Gamma_{13}^L = \frac{w_3 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.1327}{0.80} = 0.1658$$

$$\Gamma_{14}^L = \frac{w_4 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.1865}{0.80} = 0.2331$$

Bu değerler kullanılarak ana problem aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\begin{aligned} \text{Max } (\mu_{01}(Z_{01}) + \mu_{02}(Z_{02})) + w_1 \cdot \mu_{11}(Z_{11}) + w_2 \cdot \mu_{12}(Z_{12}) + w_3 \cdot \mu_{13}(Z_{13}) + w_4 \\ \cdot \mu_{14}(Z_{14}) \end{aligned}$$

$$\mu_{01}(Z_{01}) \geq \delta_0 = 0.75$$

$$\mu_{02}(Z_{02}) \geq \delta_0 = 0.75$$

$$\mu_{11}(Z_{11}) \geq \Gamma_{11}^L = 0.3378$$

$$\mu_{12}(Z_{12}) \geq \Gamma_{12}^L = 0.2447$$

$$\mu_{13}(Z_{13}) \geq \Gamma_{13}^L = 0.1658$$

$$\mu_{14}(Z_{14}) \geq \Gamma_{14}^L = 0.2331$$

$$\text{Kısıtlar (4.143) - (4.189)} \quad (6.35)$$

İterasyon 3. KV'lerin tatmin seviyeleri $\mu_{01}(Z_{01}) = 0.83$; $\mu_{02}(Z_{02}) = 0.89$; $\mu_{11}(Z_{11}) = 0.53$; $\mu_{12}(Z_{12}) = 0.27$; $\mu_{13}(Z_{13}) = 0.17$ ve $\mu_{14}(Z_{14}) = 0.28$ olarak belirlenir ve denge oranları aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$\Delta_1 = \frac{\mu_{11}(Z_{11})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.53}{0.83} = 0.6385$$

$$\Delta_2 = \frac{\mu_{12}(Z_{12})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.27}{0.83} = 0.3253$$

$$\Delta_3 = \frac{\mu_{13}(Z_{13})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.17}{0.83} = 0.2048$$

$$\Delta_4 = \frac{\mu_{14}(Z_{14})}{\mu_{01}(Z_{01})} = \frac{0.28}{0.83} = 0.3373$$

Δ_2, Δ_3 ve $\Delta_4 < \Delta_L$ olduğu için ilgili KV'ler kendi tatmin seviyelerini aşağıdaki gibi belirler:

$$\Gamma_{12}^L = \frac{w_2 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.2447}{0.80} = 0.3058$$

$$\Gamma_{13}^L = \frac{w_3 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.1658}{0.80} = 0.2072$$

$$\Gamma_{14}^L = \frac{w_4 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.2331}{0.80} = 0.2913$$

Bu değerler kullanılarak ana problem aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\begin{aligned} \text{Max } & (\mu_{01}(Z_{01}) + \mu_{02}(Z_{02})) + w_1 \cdot \mu_{11}(Z_{11}) + w_2 \cdot \mu_{12}(Z_{12}) + w_3 \cdot \mu_{13}(Z_{13}) + w_4 \\ & \cdot \mu_{14}(Z_{14}) \\ & \mu_{01}(Z_{01}) \geq \delta_0 = 0.75 \\ & \mu_{02}(Z_{02}) \geq \delta_0 = 0.75 \\ & \mu_{11}(Z_{11}) \geq \Gamma_{11}^L = 0.3378 \\ & \mu_{12}(Z_{12}) \geq \Gamma_{12}^L = 0.3058 \\ & \mu_{13}(Z_{13}) \geq \Gamma_{13}^L = 0.2072 \\ & \mu_{14}(Z_{14}) \geq \Gamma_{14}^L = 0.2913 \\ & \text{Kısıtlar (4.143) - (4.189)} \end{aligned} \quad (6.36)$$

İterasyon 4. KV'lerin tatmin seviyeleri : $\mu_{01}(Z_{01}) = 0.85$; $\mu_{02}(Z_{02}) = 0.84$; $\mu_{11}(Z_{11}) = 0.54$; $\mu_{12}(Z_{12}) = 0.31$; $\mu_{13}(Z_{13}) = 0.21$ ve $\mu_{14}(Z_{14}) = 0.30$ olarak belirlenir ve denge oranları aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$\Delta_1 = \frac{\mu_{11}(Z_{11})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.54}{0.84} = 0.6428$$

$$\Delta_2 = \frac{\mu_{12}(Z_{12})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.31}{0.84} = 0.3690$$

$$\Delta_3 = \frac{\mu_{13}(Z_{13})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.21}{0.84} = 0.25$$

$$\Delta_4 = \frac{\mu_{14}(Z_{14})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.30}{0.84} = 0.3571$$

Δ_2, Δ_3 ve $\Delta_4 < \Delta_L$ olduğu için ilgili KV'ler kendi tatmin seviyelerini aşağıdaki gibi belirler:

$$\Gamma_{12}^L = \frac{w_2 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.3058}{0.80} = 0.3822$$

$$\Gamma_{13}^L = \frac{w_3 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.2072}{0.80} = 0.259$$

$$\Gamma_{14}^L = \frac{w_4 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.2913}{0.80} = 0.3641$$

Bu değerler kullanılarak ana problem aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\begin{aligned} \text{Max } & (\mu_{01}(Z_{01}) + \mu_{02}(Z_{02})) + w_1 \cdot \mu_{11}(Z_{11}) + w_2 \cdot \mu_{12}(Z_{12}) + w_3 \cdot \mu_{13}(Z_{13}) + w_4 \\ & \cdot \mu_{14}(Z_{14}) \\ & \mu_{01}(Z_{01}) \geq \delta_0 = 0.75 \\ & \mu_{02}(Z_{02}) \geq \delta_0 = 0.75 \\ & \mu_{11}(Z_{11}) \geq \Gamma_{11}^L = 0.3378 \\ & \mu_{12}(Z_{12}) \geq \Gamma_{12}^L = 0.3822 \\ & \mu_{13}(Z_{13}) \geq \Gamma_{13}^L = 0.259 \\ & \mu_{14}(Z_{14}) \geq \Gamma_{14}^L = 0.3641 \\ & \text{Kısıtlar (4.143) - (4.189)} \end{aligned} \quad (6.37)$$

İterasyon 5. KV'lerin tatmin seviyeleri $\mu_{01}(Z_{01}) = 0.89$; $\mu_{02}(Z_{02}) = 0.79$; $\mu_{11}(Z_{11}) = 0.46$; $\mu_{12}(Z_{12}) = 0.38$; $\mu_{13}(Z_{13}) = 0.26$ ve $\mu_{14}(Z_{14}) = 0.36$ olarak belirlenir ve denge oranları aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$\Delta_1 = \frac{\mu_{11}(Z_{11})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.46}{0.79} = 0.5822$$

$$\Delta_2 = \frac{\mu_{12}(Z_{12})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.38}{0.79} = 0.4810$$

$$\Delta_3 = \frac{\mu_{13}(Z_{13})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.26}{0.79} = 0.3291$$

$$\Delta_4 = \frac{\mu_{14}(Z_{14})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.36}{0.79} = 0.4556$$

$\Delta_3 < \Delta_L$ olduğu için ilgili üçüncü KV kendi tatmin seviyesini aşağıdaki gibi belirler:

$$\Gamma_{13}^L = \frac{w_3 \cdot \delta_0}{\Delta_U} = \frac{0.259}{0.80} = 0.3237$$

Bu değer kullanılarak ana problem aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\begin{aligned} \text{Max } & (\mu_{01}(Z_{01}) + \mu_{02}(Z_{02})) + w_1 \cdot \mu_{11}(Z_{11}) + w_2 \cdot \mu_{12}(Z_{12}) + w_3 \cdot \mu_{13}(Z_{13}) + w_4 \cdot \mu_{14}(Z_{14}) \\ & \mu_{01}(Z_{01}) \geq \delta_0 = 0.75 \\ & \mu_{02}(Z_{02}) \geq \delta_0 = 0.75 \\ & \mu_{11}(Z_{11}) \geq \Gamma_{11}^L = 0.3378 \\ & \mu_{12}(Z_{12}) \geq \Gamma_{12}^L = 0.3822 \end{aligned}$$

$$\mu_{13}(Z_{13}) \geq \Gamma_{13}^L = 0.3237$$

$$\mu_{14}(Z_{14}) \geq \Gamma_{14}^L = 0.3641$$

$$\text{Kısıtlar (4.143) - (4.189)} \quad (6.38)$$

İterasyon 6. KV'lerin tatmin seviyeleri $\mu_{01}(Z_{01}) = 0.83$; $\mu_{02}(Z_{02}) = 0.79$; $\mu_{11}(Z_{11}) = 0.55$; $\mu_{12}(Z_{12}) = 0.38$; $\mu_{13}(Z_{13}) = 0.32$ ve $\mu_{14}(Z_{14}) = 0.37$ olarak belirlenir ve denge oranları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta_1 = \frac{\mu_{11}(Z_{11})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.55}{0.79} = 0.6962$$

$$\Delta_2 = \frac{\mu_{12}(Z_{12})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.38}{0.79} = 0.4810$$

$$\Delta_3 = \frac{\mu_{13}(Z_{13})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.32}{0.79} = 0.4050$$

$$\Delta_4 = \frac{\mu_{14}(Z_{14})}{\mu_{02}(Z_{02})} = \frac{0.37}{0.79} = 0.4683$$

Altıncı iterasyon sonucunda KV'ler arasındaki tatmin denge oranı belirlenen aralıkta bulunmuştur. Bu nedenle elde edilen çözümler uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şirketler arasındaki ilişkiler giderek değişerek yerini tedarik zincirleri arasındaki ilişkilere bırakmıştır. Gelecekte TZ ilişkilerinin, şirketlerin başarısını etkileyecek en önemli unsurlarından biri olacağı birçok KV ve araştırmacıların hem fikir olduğu bir noktadır. Şirketlerin müşterilerin talep değişimlerine cevap verebilmesi, kendi pazarlarında daha rekabetçi, daha esnek ve daha hızlı olmaları ile mümkündür.

Son yıllarda iş dünyasının geleneksel dinamikleri değişmiş ve TZY'ni rekabetçi iş dünyasında kritik bir önem kazanmıştır. Şirketlerin başarısındaki en önemli anahtarlardan olan geleneksel TZ kavramı yeni özellikler kazanmıştır. Birçok şirket 'rekabetçi' veya 'ortak - müttefik' kavramları ile karşı karşıya kalmıştır. Rekabetçi TZ'nde şirketler eylemlerini diğer şirketin TZ ağına göre belirler. Müttefik TZ'nde ise şirketler ortak çalışırlar ve eylemlerini müttefik hareket ederek yaparlar. Müttefik TZ'lerinin kullanılması ile şirketler birlikte çalışırlar, ortak üniteler paylaşırlar ve başarıya tek başına çalışmaktan hızlı ulaşırlar.

TZ ağ tasarımlarında her birim kendi amacını optimize etmeye çalışır. Ancak bu başarı, birimler arasındaki ilişkiyi dikkate almaksızın gerçekleştirilemez. TZ'leri arasındaki ortak – müttefik kavramlarından yola çıkarak bu tezde aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

- Ortak – müttefik TZ nasıl oluşturulur?
- KV'leri memnun edecek çözümler nasıl oluşturulur?

KDTZ hükümet düzenlemeleri, artan müşteri baskıları ve hızlı teknolojik gelişmeler nedeniyle TZY'nde giderek büyüyen bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde yer alan KDTZ çalışmaları incelendiğinde KDTZ ağ tasarımlarının merkeziyetçi stratejiler dâhilinde ele alındığı görülmektedir. Ancak gerçek hayat problemlerinde, KDTZ ağ tasarımının KV'leri birbirinden bağımsız ama aynı şartlar altında kararlarını optimize etmeye çalışmaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında KDTZ ağ tasarımı merkeziyetçi olmayan stratejiler altında ele alınmıştır.

Merkeziyetçi olmayan stratejilerin olduğu tasarımlarda KV'ler birbirinden farklı amaçlara sahiptirler. KV'ler kararlarını genellikle işbirliği yapmadan alırlar ve yalnızca kendi amaçlarını optimum etmeyle ilgilenirler. Bu gibi durumlarda KV'lerin bir kısmı alınan kararlardan memnun aolukun, diğerleri bu kararlara sadece uymak orunda kalırlar. Ancak işbirliği içinde alınan kararlar hem KV'lerin tatmin seviyelerinin hem aynı anda sağlanması gerçekleştirecek hemde optimum sonuçların her KV için

oluşmasını sağlayacaktır. EBP yaklaşımları merkeziyetçi veya merkeziyetçi olmayan stratejilerin olduğu tasarımlarda KV'lerin tatmin seviyelerinin ortak bir noktada buluşmasını sağlayarak tüm KV'leri memnun etmeyi sağlayan yaklaşımlardır.

Merkeziyetçi olmayan stratejilerin olduğu tasarımlarda aynı zamanda KV'ler birbiriyle çelişen farklı amaçlara sahiptir. Örneğin, bir KV için KDTZ ağ tasarımı satın alma maliyeti önemli iken diğeri için ulaştırma maliyeti önemli olabilir. Dolayısıyla KV'lerin kendileri içlerinde ve kendileri arasında birbiriyle çelişen amaçları mevcuttur. KV'lerin amaçları üzerindeki yargılarını modelleme aşamasında kullanabilmek için bu tez çalışmasında ÇKKV yöntemlerine başvurulmuştur.

Bu bilgiler doğrultusunda bu tez çalışmasında, öncelikler ortak - müttefik tedarik zincirlerinin olduğu KDTZ ağ tasarımı geliştirilmiş ve bu ağ tasarımında farklı KV'lerin tatmin seviyelerinin maksimum yapılması için ÇKKV yöntemlerine dayalı yeni EBP yaklaşımları geliştirilmiştir. Önerilen yeni müttefik KDTZ ağ tasarımları ile iki TZ'nin entegrasyonunun nasıl modellenebileceği gösterilmiş ve bu ağ tasarımlarında KV'lerin yargılarının ÇKKV yöntemleri ile nasıl modeller üzerine yansıtılabileceği açıklanmıştır.

7.1. Sonuçlar

Mode1 1, EBP I ve EBP II'e ilişkin sonuçlar

Model 1 ile tezin temelini oluşturan ortak tesisler içeren bir KDTZ modeli oluşturulmuştur. Ağ tasarımı, Tedarikçiler, fabrikalar ve müşteriler ileri İTZ'ni oluştururken ortak toplama merkezleri TTZ'ni oluşturmaktadır. Klasik KDTZ tasarımlarından farklı olarak üreticiler ürünleri oluşturmak için gerekli olan parçaları kendisine ait tedarikçilerden veya ortak tedarikçilerden satın alabilmektedir.

Geliştirilen KDTZ modelini çözebilmek ve uzlaşık bir çözüme ulaşabilmek amacıyla, literatürde yer alan dört yaklaşım ve önerilen iki farklı yeni EBP yaklaşımı kullanılmıştır. EBP I ile ortak tatmin seviyesinin maksimize edilmesi yerine bir ÇKKV yöntemi ile belirlenen ağırlıklar ile her bir KV'nin tatmin seviyesinin maksimize edilmesi önerilmiştir. EBP II de ise Selim ve Özkarahan (2008) ve Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımlarında amaç fonksiyonlarında yer alan ağırlıkların farklı ağırlık bulma yöntemleri ve farklı ÇKKV yöntemi ile bulunması önerilmiştir.

Yapılan örnekler ile aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Zimmermann (1978) yaklaşımının çözümü ile ortak tatmin seviyesi ve tüm KV'lerin tatmin seviyeleri $\alpha = 0.53$ ve olarak bulunmuştur.
- Selim ve Özkarahan (2008) ve Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımlarında, eşit ağırlıklar kullanılması ve $\gamma = 1$ alınması ile ortak tatmin seviyesi ve tüm KV'lerin tatmin seviyeleri Zimmermann (1978) yaklaşımı ile aynı sonuçlar elde edilmiştir.
- Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımında γ değeri 0'dan 1'e yükseltirirse KV1 için amaç fonksiyonunda %25'lik bir artış meydana geldiği görülmektedir. Amaç fonksiyonundaki bu artış, KV1'in tatmin seviyesinde yaklaşık %45'lik bir artışa neden olmaktadır.
- Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımının, Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımına göre KV'lerin tatmin seviyeleri ve daha düşük çözüm süreleri iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımı γ değerine çok duyarlı değildir ve 0.5'den küçük γ değerlerinde dengeli çözümler ürettiği görülmektedir.
- Sakawa ve Nishizaki (2002b) yaklaşımında ise KV'lerin tatmin seviyeleri sırasıyla %65, %65, %41 ve %39 olmuştur.
- Geliştirilen model EBP I ile çözüldüğünde KV'lerin tatmin sırasıyla (0.96,0.96,0.04,1) elde edilmektedir.
- Geliştirilen model EBP II ile çözüldüğünde, Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımı için en iyi amaç fonksiyonu ve en iyi tatmin seviyesi değerlerine CRITIC – TOPSIS yöntemi ile ulaşılmıştır.
- Geliştirilen model EBP II ile çözüldüğünde Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımı için KV'lerin tatmin seviyelerine en yüksek Entropy – TOPSIS yönteminde ulaşılmıştır.

Model 2 ve EBP III'e ilişkin sonuçlar

Model 1'de ele alınan ortak kaynaklar içeren KDTZ ağ tasarımı modeli çevreye duyarlı bir model oluşturmak amacıyla farklı amaçlar altında ele alınmıştır. KV'ler toplam taşıma seçeneklerinden kaynaklı fırsat, taşıma, satın alma, tesis açma, stok ve CO_2 salınımı maliyetlerini en küçüklenmek istemektedir. Modelde beş farklı KV olduğu

varsayılmıştır. TZ1 ve TZ2'deki fabrikalar, ortak tedarikçiler, ortak toplama merkezleri ve lojistik firması modelde yer alan KV'lerdir.

Geliştirilen KDTZ modelini çözebilmek ve uzlaşık bir çözüme ulaşabilmek amacıyla, Sakawa ve Nishizaki (2002b) ve EBP II yaklaşımından yararlanılmıştır. Önerilen yöntemde, hem üst seviye KV'lerin alt seviye KV'leri değerlendirmesinde, hem de her KVnin kendi amaçlarını değerlendirmesi aşamasında bir ÇKKV yöntemi kullanılmaktadır. Üst seviye KV kendisi için bir minimum tatmin seviyesi belirlemekte ve bu değere göre alt seviye KV'ler kendi tatmin seviyelerini belirlemektedir.

- Sakawa ve Nishizaki (2002b) ile çözüm sonucunda üst seviye KV'lerin tatmin seviyeleri 0.60 ve alt seviye KV'lerin tatmin seviyelerinin 0.42,0.40,0.25 olduğu görülmektedir.
- EBP II kullanılması ile üst seviye KV'lerin tatmin seviyeleri (0.68,0.70) alt seviye KV'lerin tatmin seviyeleri (0.31,0.70,0.12) olarak elde edilir.

Model 3 ve EBP IV'e ilişkin sonuçlar

Model 1'de ele alınan ortak kaynaklar içeren KDTZ ağ tasarımı modeli farklı KV'lerin davranışlarını ele alabilmek amacıyla geliştirilerek esnek bir KDTZ modeli oluşturulmuştur. Modelde altı farklı KV olduğu varsayılmıştır. TZ1 ve TZ2'deki fabrikalar, ortak tedarikçiler, ortak toplama merkezleri, ham madde merkezleri ve montaj merkezleri modelde yer alan KV'lerdir.

Geliştirilen esnek KDTZ modelini için EBP III yaklaşımından yararlanılmıştır. KV'ler arasındaki işbirliğini ele alabilmek amacıyla ikinci yönteme bir denge oranı eklenerek algoritma geliştirilmiştir. Üst seviye KV(ler), alt seviye KV'ler arasında bir sınır belirleyerek KV'ler arasındaki tatmin seviyelerin oranına bakılır. Eğer tatmin seviyelerinin denge oranı belirlenen sınırlar dâhilinde ise algoritma durdurulur aksi halde denge oranı sağlanana kadar algoritmaya devam edilir.

- EBP ile çözüm yapıldığında, üst seviye KV'lere (DM_{01} ve DM_{02}) göre amaç fonksiyonunda en önemli faktörler sırasıyla, satın alma maliyeti, taşıma maliyeti, sabit açılış maliyeti ve stok maliyetidir. Alt seviye ikinci KV'ye (DM_{12}) göre ise

en önemli faktörler, satın alma maliyeti, sabit açılış maliyeti ve taşıma maliyetidir.

- KV'ler arasındaki denge oranının dikkate alınması ile KV'lerin tatmin seviyeleri $\mu_{01}(Z_{01}) = 0.83$, $\mu_{02}(Z_{02}) = 0.79$, $\mu_{11}(Z_{11}) = 0.55$, $\mu_{12}(Z_{12}) = 0.38$, $\mu_{13}(Z_{13}) = 0.32$ ve $\mu_{14}(Z_{14}) = 0.37$ olarak belirlenmiştir.

Ele alınan modeller ve yaklaşımların sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ortak – müttefik TZ ağının nasıl modellenebileceği gösterilmiştir.
- KDTZ ağ tasarımlarının çözümün de EBP yaklaşımlarının uygulanabileceği örnekler yardımıyla açıklanmıştır.
- Merkeziyetçi olmayan stratejilerin olduğu tasarımları çözebilmek için yeni EBP yaklaşımları önerilmiştir.
- Yeni yaklaşımların temel özelliği bir ÇKKV yöntemine dayalı olması sebebiyle, KV'lerin görüşleri geliştirilen modellere katılabilmektedir.
- Yeni EBP yaklaşımlarının performansının mevcut yaklaşımlardan daha iyi olduğu gösterilmiştir.

7.2. Öneriler

Tez çalışması sonucunda Etkileşimli Bulanık Programlama yaklaşımlarının Tedarik Zinciri ağ tasarımı modellerinin çözümlenmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir. İlerleyen zamanlarda, EBP yaklaşımlarının konum rotalama, konum stok rotalama, araç rotalama ve tedarikçi seçimi gibi birçok alanda uygulanması önerilebilir.

Geliştirilen modellerin sınanması rassal olarak üretilmiş hipotetik veriler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Gerçek hayatta uygun veri bulunması sonucunda, modeller gerçek hayat problemlerine uygulanabilir.

Geliştirilen modellerin çözümünün gerçekleştirilmesinde sezgisel yöntemlerin kullanılması ve bu yöntemlerinin performanslarının izlenmesi sayesinde daha hızlı ve iyi çözümler elde edilebilir.

Geliştirilen modellerde ele alınan kapasite, talep gibi birçok parametre bulanık ortamda ele alınarak modellerin performansı ölçülebilir.

Önerilen yeni EBP yaklaşımlarının performansları büyük boyutlu birçok NP-zor problemlerde sınanabilir. Meta-sezgisel yöntemler incelenerek yeni EBP yaklaşımları literatüre eklenebilir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A. ve Kennedy, S., 2012, Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment, *Applied Mathematical Modelling*, 36 (9), 4271-4285.
- Ahlatcioglu, M. ve Tiryaki, F., 2007, Interactive fuzzy programming for decentralized two-level linear fractional programming (DTLLFP) problems, *Omega*, 35 (4), 432-450.
- 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., 2013, A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (6), 4165-4176.
- Anonim, 2012, Atık yönetiminde geri kazanım uygulamaları, *Tekirdağ Valiliği Çevre ve Şehircilik Genel Müdürlüğü*.
- Arıkan, F., 1996, Bulanık hedef programlama'nın çok amaçlı proje sebekesi problemine uygulanması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Ankara, 24-28.
- Atasu, A. ve Boyaci, T., 2010, Take-Back Legislation and Its Impact on Closed-Loop Supply Chains, *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*.
- Baležentis, A., Baležentis, T. ve Brauers, W. K. M., 2012, Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA, *Expert Systems with Applications*, 39 (9), 7961-7967.
- Bard, J. F., 1983, An Efficient Point Algorithm for a Linear Two-Stage Optimization Problem, *Operations Research*, 31 (4), 670-684.
- Benayoun, R., Roy, B. ve Sussmann, B., 1966, ELECTRE: Une method pour guider le choix en presence de points de vue multiples, Note de travail no 49 de la Direction Scientifique de la SEMA.
- Bo, Y. ve Danyu, L., 2008, Application of Genetic Algorithm on Remanufacturing Reverse Logistics Network Model, *Future BioMedical Information Engineering, 2008. FBIE '08. International Seminar on*, 126-129.
- Brans, J. P., 1982, L'ingénierie de la décision; Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE, L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir, 183-213.
- Brans, J. P. ve Vincke, P. H., 1985, A preference ranking organization method, *Management Science*, 31 (6), 647-656.
- Brans, J. P., Vincke, P. ve Mareschal, B., 1986, How to select and how to rank projects: The Promethee method, *European Journal of Operational Research*, 24 (2), 228-238.
- Brauers, W. K. M. ve Zavadskas, E. K., 2006, The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics*, 35 (2), 445-469.
- Brauers, W. K. M. ve Zavadskas, E. K., 2010, Project management by multimoora as an instrument for transition economies, *Ukio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 16 (1), 5-24.
- Brauers, W. K. M., Baležentis, A. ve Baležentis, T., 2011, Multimoora for the EU member states updated with fuzzy number theory, *Technological and Economic Development of Economy*, 17 (2), 259-290.
- Buckley, J. J., 1985, Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 17 (3), 233-247.

- Büyüközkan, G., Kahraman, C. ve Ruan, D., 2004, A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection, *International Journal of General Systems*, 33 (2-3), 259-280.
- Büyüközkan, G. ve Çifçi, G., 2012, A combined fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS based strategic analysis of electronic service quality in healthcare industry, *Expert Systems with Applications*, 39 (3), 2341-2354.
- Chang, D.-Y., 1996, Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95 (3), 649-655.
- Chatterjee, P. ve Chakraborty, S., 2012, Material selection using preferential ranking methods, *Materials & Design*, 35, 384-393.
- Chen, C.-A., 2012, Using DEMATEL Method for Medical Tourism Development in Taiwan, *American Journal of Tourism Research*, 1 (1), 26-32.
- Chen, C.-T., 2000, Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 114 (1), 1-9.
- Chen, C.-T., Lin, C.-T. ve Huang, S.-F., 2006, A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management, *International Journal of Production Economics*, 102 (2), 289-301.
- Cheng, A.-C., Chen, C.-J. ve Chen, C.-Y., 2008, A fuzzy multiple criteria comparison of technology forecasting methods for predicting the new materials development, *Technological Forecasting and Social Change*, 75 (1), 131-141.
- Cooper, M. C., Lambert, D. M. ve Pagh, J. D., 1997, Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics, *The International Journal of Logistics Management*, 8 (1), 1-14.
- Çitli, N., 2006, Bulanık çok kriterli karar verme, *Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul*, 77.
- Dağdeviren, M. ve Yüksel, İ., 2010, A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competition level (SCL), *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1005-1014.
- Demirel, N. ve Gökçen, H., 2008, A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39 (11-12), 1197-1206.
- 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.
- Deng, H., 1999, Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison, *International Journal of Approximate Reasoning*, 21 (3), 215-231.
- Deng, H., Yeh, C.-H. ve Willis, R. J., 2000, Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights, *Computers & Operations Research*, 27 (10), 963-973.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. ve Papayannakis, L., 1995, Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method, *Computers & Operations Research*, 22 (7), 763-770.
- Dowlatsahi, S., 2000, Developing a Theory of Reverse Logistics, *Interfaces*, 30 (3), 143-155.
- El Omri, A., 2009, Cooperation in supply chains : alliance formation and profit allocation among independent firms, *Ecole Centrale Paris*.
- Enea, M. ve Piazza, T., 2004, Project Selection by Constrained Fuzzy AHP, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 3 (1), 39-62.

- Erol, İ., Velioğlu, M. N., Şerifoğlu, F. S., Büyüközkan, G., Aras, N., Çakar, N. D. ve Korugan, A., 2010, Exploring reverse supply chain management practices in Turkey, *Supply Chain Management: An International Journal*, 15 (1), 43-54.
- Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu, N., 2008, Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39 (7-8), 783-795.
- 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.
- Geyer, R. ve Doctore Blass, V., 2010, The economics of cell phone reuse and recycling, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47 (5-8), 515-525.
- 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.
- Görener, A., Dinçer, H. ve Hacıoğlu, Ü., 2013, Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for bank branch location selection, *International Journal of Finance & Banking Studies*, 2 (2).
- Grant, D. B. ve Banomyong, R., 2010, Design of closed-loop supply chain and product recovery management for fast-moving consumer goods: The case of a single-use camera, *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 22 (2), 232-246.
- Hammond, D. ve Beullens, P., 2007, Closed-loop supply chain network equilibrium under legislation, *European Journal of Operational Research*, 183 (2), 895-908.
- Hong, I. H. ve Yeh, J.-S., 2012, Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry: A retailer collection application, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48 (4), 817-829.
- 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.
- Hwang, C. L. ve Yoon, K., 1981, Multiple attribute decision making: methods and applications : a state-of-the-art survey, Springer-Verlag, p.
- Işıklar, G. ve Büyüközkan, G., 2007, Using a multi-criteria decision making approach to evaluate mobile phone alternatives, *Computer Standards & Interfaces*, 29 (2), 265-274.
- Jayaraman, V., Guide, V. D. R. ve Srivastava, R., 1999, A Closed-Loop Logistics Model for Remanufacturing, *The Journal of the Operational Research Society*, 50 (5), 497-508.
- 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.
- Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D., 2004, Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey, *International Journal of Production Economics*, 87 (2), 171-184.
- 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.
- Karakaşoğlu, N., 2008, Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve bir uygulama, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Denizli.

- Karande, P. ve Chakraborty, S., 2012, Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection, *Materials & Design*, 37, 317-324.
- Katagiri, H., Sakawa, M., Kato, K. ve Nishizaki, I., 2008, Interactive multiobjective fuzzy random linear programming: Maximization of possibility and probability, *European Journal of Operational Research*, 188 (2), 530-539.
- Kocabasoglu, C., Prahinski, C. ve Klassen, R. D., 2007, Linking forward and reverse supply chain investments: The role of business uncertainty, *Journal of Operations Management*, 25 (6), 1141-1160.
- Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J. ve Van Wassenhove, L. N., 2003, Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators, *International Journal of Production Research*, 41 (16), 3689-3719.
- Lai, Y.-J. ve Hwang, C.-L., 1993, Possibilistic linear programming for managing interest rate risk, *Fuzzy Sets and Systems*, 54 (2), 135-146.
- Lai, Y.-J. ve Hwang, C.-L., 1994, Fuzzy Multiple Objective Decision Making, *Berlin*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.
- Lai, Y.-J., 1996, Hierarchical optimization: A satisfactory solution, *Fuzzy Sets and Systems*, 77 (3), 321-335.
- Lau, K. H. ve Wang, Y., 2009, Reverse logistics in the electronic industry of China: a case study, *Supply Chain Management: An International Journal*, 14 (6), 447-465.
- 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.
- 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.
- 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, Part 2), 3367-3377.
- Madhuri.Ch, B., Chandulal.J, A. ve Padmaja, M., 2010, Selection of Best Web Site by Applying COPRAS-G method, *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 1 (2), 138-146.
- Martin, P., Guide, J. V. D. R. ve Craighead, C. W., 2010, Supply Chain Sourcing in Remanufacturing Operations: An Empirical Investigation of Remake Versus Buy, *Decision Sciences*, 41 (2), 301-324.
- Matsumoto, M. ve Umeda, Y., 2011, An analysis of remanufacturing practices in Japan, *Journal of Remanufacturing*, 1 (1), 1-11.
- Mikhailov, L., 2000, A Fuzzy Programming Method for Deriving Priorities in the Analytic Hierarchy Process, *The Journal of the Operational Research Society*, 51 (3), 341-349.
- Mikhailov, L., 2002, Fuzzy analytical approach to partnership selection in formation of virtual enterprises, *Omega*, 30 (5), 393-401.
- Mikhailov, L., 2004, A fuzzy approach to deriving priorities from interval pairwise comparison judgements, *European Journal of Operational Research*, 159 (3), 687-704.

- Mikhailov, L. ve Tsvetinov, P., 2004, Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process, *Applied Soft Computing*, 5 (1), 23-33.
- Mirhedayatian, S. M., Azadi, M. ve Farzipoor Saen, R., 2014, A novel network data envelopment analysis model for evaluating green supply chain management, *International Journal of Production Economics*, 147, Part B, 544-554.
- 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.
- Mitra, S. ve Datta, P. P., 2014, Adoption of green supply chain management practices and their impact on performance: an exploratory study of Indian manufacturing firms, *International Journal of Production Research*, 52 (7), 2085-2107.
- Mollenkopf, D., Russo, I. ve Frankel, R., 2007, The returns management process in supply chain strategy, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37 (7), 568-592.
- Olorunniwo, F. O. ve Li, X., 2010, Information sharing and collaboration practices in reverse logistics, *Supply Chain Management: An International Journal*, 15 (6), 454-462.
- Ondemir, O. ve Gupta, S. M., 2014, A multi-criteria decision making model for advanced repair-to-order and disassembly-to-order system, *European Journal of Operational Research*, 233 (2), 408-419.
- Opricovic, S., 1998, Multi-criteria optimization of civil engineering systems, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G.-H., 2004, Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156 (2), 445-455.
- Özceylan, E., 2013, Demontaj hattı dengeleme problemi içeren kapalı çevrim tedarik zincirlerinin bulanık ortamda modellenmesi ve optimizasyonu, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 107.
- 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.
- Özkır, V., 2009, Kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımına yönelik karar destek modeli önerisi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-3.
- Özmen, A., 2013, Kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı: Türkiye cep telefonu yeniden üretim karma tamsayılı model önerisi, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü*, Bolu, 1-2.
- 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.

- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N. ve Özceylan, E., 2013, Bulanık Küme Teorisi, *Ankara*, Nobel Akademik Yayıncılık, p.
- Pati, R. K., Vrat, P. ve Kumar, P., 2008, A goal programming model for paper recycling system, *Omega*, 36 (3), 405-417.
- Pishvae, M. S. ve Torabi, S. A., 2010, A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Fuzzy Sets and Systems*, 161 (20), 2668-2683.
- Pishvae, 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.
- Pochampally, K. K., Nukala, S. ve Gupta, S. M., 2008, Strategic Planning Models for Reverse and Closed-Loop Supply Chains, CRC Press, p.
- Qi, T. ve Fang, X., 2007, A Genetic Algorithm for Reverse Logistics Network Design, *Natural Computation, 2007. ICNC 2007. Third International Conference on*, 277-281.
- Queiruga, D., Walther, G., González-Benito, J. ve Spengler, T., 2008, Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain, *Waste Management*, 28 (1), 181-190.
- Rekiek, B., De Lit, P. ve Delchambre, A., 2002, Hybrid assembly line design and user's preferences, *International Journal of Production Research*, 40 (5), 1095-1111.
- Rubio, S., Chamorro, A. ve Miranda, F. J., 2008, Characteristics of the research on reverse logistics (1995–2005), *International Journal of Production Research*, 46 (4), 1099-1120.
- Saaty, T. L., 1980, The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill, p.
- Saaty, T. L., 2000, Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With the Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, p.
- Saaty, T. L., 2001, Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process : the Organization and Prioritization of Complexity, Rws Publications, p.
- Saaty, T. L., Peniwati, K. ve Shang, J. S., 2007, The analytic hierarchy process and human resource allocation: Half the story, *Mathematical and Computer Modelling*, 46 (7–8), 1041-1053.
- 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.
- Sakawa, M., Nishizaki, I. ve Uemura, Y., 1998, Interactive fuzzy programming for multilevel linear programming problems, *Computers & Mathematics with Applications*, 36 (2), 71-86.
- 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. 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 Matsui, T., 2013a, Interactive fuzzy random cooperative two-level linear programming through level sets based probability maximization, *Expert Systems with Applications*, 40 (4), 1400-1406.
- 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 programming for fuzzy random two-level linear programming problems through probability maximization with possibility, *Expert Systems with Applications*, 40 (7), 2487-2492.
- 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.
- 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 (3-4), 401-418.
- 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, H.-S., Lai, Y.-J. ve Stanley Lee, E., 1996, Fuzzy approach for multi-level programming problems, *Computers & Operations Research*, 23 (1), 73-91.
- Shih, L.-H., 2001, Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan, *Resources, Conservation and Recycling*, 32 (1), 55-72.
- 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.
- Srivastava, S. K., 2008, Network design for reverse logistics, *Omega*, 36 (4), 535-548.
- Talbot, S., Lefebvre, É. ve Lefebvre, L. A., 2007, Closed-loop supply chain activities and derived benefits in manufacturing SMEs, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18 (6), 627-658.
- Tavana, M., Momeni, E., Rezaeiniya, N., Mirhedayatian, S. M. ve Rezaeiniya, H., 2013, A novel hybrid social media platform selection model using fuzzy ANP and COPRAS-G, *Expert Systems with Applications*, 40 (14), 5694-5702.
- 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.
- Tseng, M.-L., Lin, R.-J., Lin, Y.-H., Chen, R.-H. ve Tan, K., 2014a, Close-loop or open hierarchical structures in green supply chain management under uncertainty, *Expert Systems with Applications*, 41 (7), 3250-3260.
- Tseng, M.-L., Tan, K.-H., Lim, M., Lin, R.-J. ve Geng, Y., 2014b, Benchmarking eco-efficiency in green supply chain practices in uncertainty, *Production Planning & Control*, 25 (13-14), 1079-1090.
- Van Laarhoven, P. J. M. ve Pedrycz, W., 1983, A fuzzy extension of Saaty's priority theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 11 (1), 229-241.
- 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, H.-F. ve Hsu, H.-W., 2010, A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm, *Computers & Operations Research*, 37 (2), 376-389.
- 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., 1988, Mathematical Models for Decision Support, *Berlin*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 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.
- 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.
- Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S. M. ve Yusop, Z. B., 2014, Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management, Springer International Publishing, p. 32-34.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Tamošaitienė, J. ve Marina, V., 2008, Multicriteria selection of project managers by applying grey criteria, *Ukio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 14 (4), 462-477.
- 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.

Zimmermann, H. J., 1978, Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems*, 1 (1), 45-55.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet ÇALIK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Niğde, 15.11.1987
Telefon : +90 506 561 43 16
Faks :
e-mail : ahmetcalik@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Niğde Atatürk Lisesi, Merkez, Niğde	2005
Üniversite	Gazi Üniversitesi, İstatistik, Ankara	2010
Yüksek Lisans	Selçuk Üniversitesi, İstatistik, Konya	2012
Doktora	Selçuk Üniversitesi, İstatistik, Konya	Devam

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-Devam	Selçuk Üniversitesi, İstatistik Bölümü	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Tedarik Zinciri Yönetimi, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık Mantık, Optimizasyon Teknikleri.

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

- Çalık, A., Paksoy, T., Yıldızbaşı, A., Pehlivan, N. Y., 2016, A decentralized model for allied closed-loop supply chains: comparative analysis of interactive fuzzy programming approaches, *International Journal of Fuzzy Systems*, DOI: 10.1007/s40815-016-0167-z (Doktora tezinden).
- Çalık, A., Pehlivan, N. Y., Paksoy, T., Yıldızbaşı, A., 2015, An integrated model for decentralized closed-loop supply chains with common sources: comparative analysis of interactive fuzzy programming approaches, *XIII. International Logistics and Supply Chain Congress*, 22-23 October, pp. 103 – 115, Izmir, Turkey (Bildiri Kitabında Tam Metin Basılı) (Doktora tezinden).
- Çalık, A., Yıldızbaşı, A., Paksoy, T., Pehlivan, N. Y., 2015, A multi-level linear programming approach for optimizing a closed-loop supply chain with mcdm methods, *23rd International Conference on Multiple Criteria Decision Making-*

- MCDM 2015, 2nd–7th August*, pp 5, Hamburg, Germany (Bildiri Kitabında Özet Metni Basılı) (Doktora tezinden).
- Paksoy, T., Çalık, A., Yıldızbaşı, A., Pehlivan, N. Y., 2015, A fuzzy analytic hierarchy process based approach for a multi-objective multi-level closed-loop supply chain model, *23rd International Conference on Multiple Criteria Decision Making-MCDM 2015, 2nd–7th August*, pp 4, Hamburg, Germany (Bildiri Kitabında Özet Metni Basılı) (Doktora tezinden).
- Çalık, A., Pehlivan, N. Y., 2015, An application of integrated fahp/dea approach for evaluating investment efficiency of NUTS-2 territorial units in turkey with non-discretionary factors, *Journal of Selçuk University Natural and Applied Science*, Vol. 4, No. 2, pp.84-105 (Yüksek lisans tezinden).