



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Çok seviyeli rekabetçi kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı

*Multi-level competitive closed loop supply chain network design*

Yazar(lar) (Author(s)): Belkız TORĞUL<sup>1</sup>, Turan PAKSOY<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-7341-9334

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-8051-8560

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Torğul B. and Paksoy T., “Çok Seviyeli Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı”, *Politeknik Dergisi*, \*(\*) : \*, (\*) .

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1005387

# Çok Seviyeli Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı

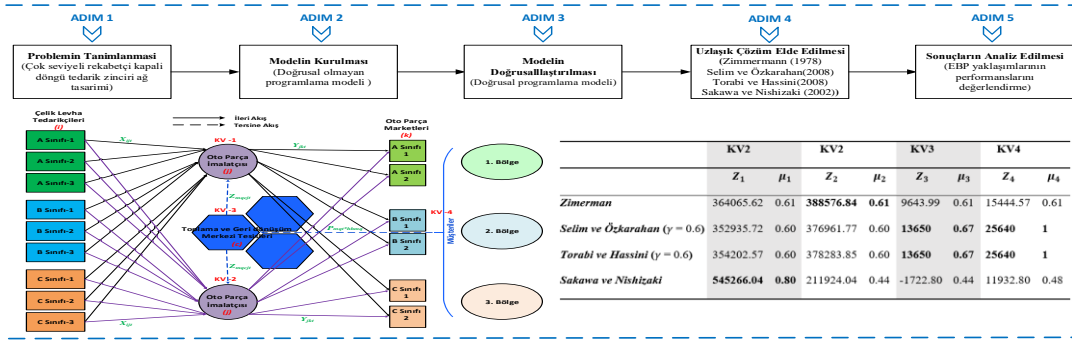
## Multi-Level Competitive Closed Loop Supply Chain Network Design

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Merkezi olmayan çok seviyeli rekabetçi KDTZ yönetiminde ağ tasarımı ve optimizasyonu problemi ele alınmıştır (The problem of design and optimization in decentralized multi-level competitive CLSC management is addressed).
- ❖ Farklı seviyedeki karar vericilerin amaçlarını karşılamak için doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiştir. (A nonlinear programming model is proposed to meet the goals of decision makers at different levels).
- ❖ Önerilen doğrusal olmayan model gevşetilerek doğrusallaştırılmıştır. (The proposed nonlinear model is linearized by relaxation techniques).
- ❖ Sunulan modeli çözmek için literatürde mevcut dört farklı EBP yaklaşımı kullanılmıştır. (Four different EBP approaches available in the literature are used to solve the presented model).
- ❖ Çalışmada kullanılan EBP yaklaşımlarının performansları değerlendirilerek sonuçlar analiz edilmiştir. (The performances of the EBP approaches are evaluated and the results are analyzed).

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, çok seviyeli rekabetçi KDTZ yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemi üzerine çalışılmış ve uzlaşık çözüme ulaşmak için EBP yaklaşımlarından yararlanılmıştır. / In this study, the problem of design and optimization of distribution networks in the multi-level competitive CLSC management was discussed and EBP approaches were used to reach a compromise solution.



Şekil. Çalışmanın akış şeması /Figure. Flow chart of the study

### Amaç (Aim)

Çok seviyeli rekabetçi KDTZ yönetiminde ağ tasarımı ve optimizasyonu problemi incelenerek rekabet yoğunluğunu, geri dönen ürünlerin değerlendirilme yöntemleri ve teşviklerin karlar üzerindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. / It is aimed to reveal the intensity of competition, the evaluation methods of returned products and the effect of incentives on profits by examining the problem of network design and optimization in multi-level competitive CLSC management.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Belirtilen amaç, kısıt ve varsayımlar doğrultusunda doğrusal olmayan programlama modeli ve doğrusal programlama modelinden yararlanılırken, çözüm için Zimmerman(1978), Selim ve Özkarahan(2008), Torabi ve Hassini(2008) ve Sakawa ve Nishizaki(2002) yaklaşımları kullanılmıştır. / Nonlinear and linear programming models were used in line with the stated purpose, constraints and assumptions, four different EBP approaches were used for the solution.

### Özgünlük (Originality)

Geliştirilen çok seviyeli rekabetçi KDTZ ağ tasarımı. / Developed multi-level competitive KDTZ network design.

### Bulgular (Findings)

Sakawa ve Nishizaki yaklaşımı karar vericilerin farklı seviyelerde olması durumunu dikkate aldığından günümüz tedarik zinciri ağ tasarımlarına uygun daha etkili sonuçlar verir. / Sakawa & Nishizaki approach gives more effective results suitable for today's supply chain network designs, since it also takes into account the situation that decision makers are at different levels.

### Sonuç (Conclusion)

Sunulan model çerçevesi, araştırmacı ve uygulayıcılara çok seviyeli rekabetçi tedarik zincirlerinde ağ tasarım sürecinde olması muhtemel konularda önerilen modelleme ve optimizasyon stratejileri ile rehberlik edebilir. / The presented model framework can guide researchers and practitioners through suggested modeling and optimization strategies for possible issues in the network design process in multi-level competitive supply chains.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Çok Seviyeli Rekabetçi Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı: Karşılaştırmalı Bir Analiz

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Belkız TORĞUL<sup>1\*</sup>, Turan PAKSOY<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Industrial Engineering, Konya Technical University, Konya, Turkey

<sup>2</sup>Faculty of Aviation and Space Sciences, Department of Aviation Management, Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey

(Geliş/Received : 06.10.2021 ; Kabul/Accepted : 06.06.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 26.07.2022)

## ÖZ

Kısıtlı doğal kaynaklar ve bunların bilinçsizce tüketilmesi, son yıllarda hammadde yerine atık malzemenin işleme oranının artmasına yol açmış ve endüstriyel ortamı daha rekabetçi hale getirerek, Tedarik Zinciri Yönetiminin (TZY) dinamiklerini değiştirmiştir. Kullanım ömrü sonu ürün sayısının artması ve bunlarla ilgili çevresel kaygılar, aynı zamanda müşteri baskılarına cevap verebilmek adına lojistiğin tersine çevrilmesine büyük özen gösterilerek Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ) tasarımı ve optimizasyonu üzerine ilgi artmıştır. KDTZ, geniş bir literatüre sahiptir ve bu çerçevede tedarik zinciri maliyetlerini optimize etmek için pek çok model geliştirilmiştir. Literatürün çoğu tekil tedarik zinciri ile ilgilidir ve mevcut rakip tedarik zincirlerini görmezden gelir. Ancak, günümüzün rekabetçi pazarlarında, tedarik zincirleri birkaç rekabetçi şirket tarafından birbirine entegre şekilde oluşturulmakta ve daha fazla pazar payı elde etmek için birlikte rekabet ederek çalışmaktadır. Böyle bir ortamda, tedarik zincirleri içinde ve arasında farklı rekabet biçimleri vardır. Bu bağlamda, makale ürün geri kazanımı için bir takım teşviklerle kullanılmış ürünleri iade etme isteğini artırarak sürdürülebilir tüketimi iyileştirmeye çalışan iki üretici, bir toplama&geri dönüşüm merkezi ve müşterilerden oluşan çok seviyeli rekabetçi KDTZ yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemini ele almaktadır. KDTZ yönetiminde farklı amaçlara sahip karar vericiler için uzlaşık çözüme ulaşmak için dört farklı Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yaklaşımı kullanılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok-seviyeli programlama, etkileşimli bulanık programlama, geri dönen ürün yönetimi, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama, rekabetçi kapalı döngü tedarik zinciri.

## Multi-Level Competitive Closed Loop Supply Chain Network Design: A Comparative Analysis

### ABSTRACT

Limited natural resources and unconscious consumption have led to a substantial increase in the rate of processing waste material instead of raw materials in recent years and changed the dynamics of Supply Chain Management (SCM) by making the industrial environment more competitive. The interest in Closed Loop Supply Chain (CLSC) design and optimization is increased with great care being taken to reverse logistics in order to respond to customer pressures as well as environmental concerns associated with the increasing number of end-of-life products. CLSC has extensive literature and many models have been developed to optimize supply chain costs. Most of the literature deals with single supply chains and ignores existing competing supply chains. However, in today's competitive markets, supply chains are integrated with each other by several competitive companies and work together to gain more market share. In such an environment, there are different forms of competition within and between supply chains. In this context, the paper addresses the problem of design and optimization of distribution networks in multi-level competitive CLSC management consisting of two producers, a collection & recycling center and customers trying to improve sustainable consumption by increasing the willingness to return used products with some incentives for product recovery. In order to reach a consensus solution for decision makers who have a different purpose in CLSC management, four different Interactive Fuzzy Programming (IFP) approaches are used and the results are analyzed.

**Keywords:** Competitive closed loop supply chain optimization, interactive fuzzy programming, mixed integer nonlinear programming, multi-level programming, returned product management.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz piyasası rekabetçi ve dinamiktir. Özellikle teknolojinin gelişmesi ve ekonomik küreselleşmeyle birlikte hemen hemen her sektörde rekabet artmıştır [1]. Rekabet stratejileri de, tedarik zinciri yönetimi çalışmasında önemli bir konudur [2]. Tedarik zincirleri

arasındaki rekabet, işletmelerin varlığında ve gelişmesinde giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Yani, rekabet gücünü artırmak ve varlığını sürdüreceği yeni stratejiler geliştirmek, markalar için yeniliğin ötesinde bir zorunluluk haline gelmiştir. Böyle bir durumda, rekabet avantajlarını sürdürmek için doğru tedarik zinciri yapısına karar vermek özellikle önemlidir [3]. Artık rekabet, firmalara karşı firmalar olan klasik modelden yerini tedarik zincirlerine karşı tedarik zincirleri olan yeni bir modele doğru bırakmaya

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : belkistorgul@gmail.com

başlamaktadır [2, 4, 5]. Pazardaki bu yeni rekabet türü tedarik zinciri ağ yapılarını daha etkin ve verimli bir şekilde tasarlamaya zorlar [4]. Tedarik zincirinin halkaları/üyeleri; tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar, satış kanalları, lojistik hizmet sağlayan diğer kuruluşlar, finans kurumları ve müşterilerden oluşmaktadır ve bu yapıda her üye/işletme bir ya da daha fazla tedarik zincirinin katılımcısıdır. Bu bağlamda işbirliği veya rekabet bir tedarik zinciri içinde veya tedarik zincirleri arasında olabilmektedir [3].

Tedarik zincirleri açısından bakıldığında, bir tedarik zinciri tasarımında dikkate alınması gereken kilit faktörlerden biri, diğer rakiplerin varlığıdır. Aynı ürün veya hizmetleri tedarik eden rakip bir tedarik zinciri bulunmaması, mevcut tedarik zincirinin bu pazar alanında bir tekele sahip olması anlamına gelir, bu durum da birçok sektörde gerçekçi olmayan bir varsayımdır [2, 4].

Bir tedarik zinciri açısından bakıldığında bu şirketler merkezi halde işbirliği içinde veya merkezi olmayan rekabet halinde çalışabilmektedirler. Bir tedarik zincirini merkezi bir şekilde tasarlamak büyük miktarda finansman gerektirir, nitekim maliyetleri düşürmek için zincirlerin merkezi olmayan bir şekilde tasarlanması üzerine düşünülebilir [5]. Bu anlamda dikey ve yatay ilişkilerin uygulanma aşamasında değişiklikler olması beklenebilir. Bu tarz ilişkiler de tedarik zinciri olarak tek örgüt olmaktan ziyade farklılıkların üzerine kurulan, bilgi paylaşımı, işbirliği ve uzmanlaşmaya dayanan özetle küçülerek büyümenin kastedildiği yapılar ön plana çıkmaktadır. Yöneticiler rekabet edebilmek üzere olası yetenekler dizisini bilmek zorundayken bunların tümünü bir işletme çatısında birleştirmek zorunda değildir. Buna göre işletmelerin içinde buldukları rekabet ortamının şartları, bazı amaçlarını revize etmelerini gerektirecektir. Değişime karşı gösterilen reaksiyon ve rekabet üstünlüğü kazanma çabaları, işletmeleri kendi öz yeteneklerine odaklanmaya yöneltmiştir. Bu yönelimler de işletmeleri dikey büyüme yerine stratejik birlikler oluşturarak yatay büyümeye sürüklemiştir. Aslında, iş dünyasında yaşanan şirket ayrışmaları ve gruplaşmalar bu değişimin yansımalarıdır. Tedarik zinciri ilişkileri de bu yeni anlayış doğrultusunda revize edilmelidir. Tedarik zincirindeki tüm taraflar için faydalı olan uygun bir koordinasyon mekanizması geliştirilir ve sözleşmeye dayalı teşvikler kullanılırsa en uygun tedarik zinciri performansı elde edilebilir. Bu teşvikler; toptan satış fiyatı, geri alım, gelir paylaşımı, miktar esnekliği, satış iadesi ve miktar indirimi gibi koordinasyon sözleşmelerinin uygulanmasıyla sağlanır [3].

Diğer taraftan, tedarikçi ve perakendeci bağımsız kuruluşlar olduğunda, rakip hedefleri ciddi koordinasyon sorunlarına yol açabilir. Örneğin tedarikçi, perakendecinin olabildiğince fazla envanter tutmasını isterken, perakendeci çok az envanter tutmak ve tedarikçiden hızlı yanıt almak istemektedir. Bununla beraber, perakendeci rakiplerine (tedarik zincirindeki diğer perakendeciler veya dağıtıcılar, toptancılar, bayiler, vb.) kıyasla daha düşük bir fiyat belirleyerek kendi

talebini artırmak da isteyebilir. Böylesine rekabetçi bir koşul altında tedarik zincirinde bu tür karar alma yapısı merkezi olmayan yapı olarak adlandırılır. Bununla birlikte her bir tedarik zinciri aktörü tarafından alınan bu tür bireysel kararlar, toplam tedarik zinciri karının yanında diğer tedarik zinciri üyelerinin karını da etkileyebilir ve bu da genel sistem performansını bozabilir. Bu nedenle, verimli bir sisteme ulaşmak için, tüm tedarik zinciri üyelerine ait hedeflerin uyumlu olduğu bir koordinasyon planı tasarlanmalıdır. Tedarik zinciri yönetimi literatüründeki son patlama, bu tür çok seviyeli problemleri hedeflemektedir [6, 7].

Cachon [8], iki kademeli bir tedarik zincirinde envanter politikalarının rekabetçi seçiminin çözümleri için Nash dengelerini bulmak üzere bir yöntem sunmuştur. Nagurney vd. [9], birçok karar verici ve onları bağımsız davranışlarını ele almak için rekabetçi bir tedarik zinciri ağı denge modeli geliştirmişlerdir. Caldentey ve Wein [6], rekabetçi bir tedarik zincirinin izole bir bölümünü M/M/1 stoğa üretim kuyruğu olarak modellemişlerdir. Rau vd. [10], bozulan ürünler için çok kademeli bir entegre envanter modeli geliştirerek tedarikçi, üretici ve alıcı arasında optimal ortak toplam maliyet elde etmeyi amaçlamışlardır. Nagurney [11], homojen bir ürünün çoklu talep pazarlarına rekabetçi üretimi, depolanması ve dağıtım ile ilgilenen oligopolistik firmaların olduğu bir tedarik zinciri ağ tasarım problemini modellemiştir. Azarmehr vd. [12] iki rakip perakendecinin bulunduğu merkezi olmayan bir tedarik zinciri sunarak hizmet ve fiyat oyunlarında Nash dengesi içeren perakendeciler arasındaki etkileşimli dinamikleri karakterize etmişlerdir. Rezapour vd. [13], tedarik zinciri talebinde kalite ve fiyatın etkisini araştırmış ve iki farklı model önermişlerdir. Farahani vd. [4], perakende tesis yerlerinin ve rakip perakendecilere ait gerekli kapasiteleri belirlemeyi amaçlayan iki seviyeli bir tedarik zinciri ağ tasarım problemini araştırarak doğrusal olmayan ve dışbükey olmayan modeller önermişlerdir. Küçük boyutlu tek perakendecili problemler için optimizasyon algoritması olarak aralık dal-sınırını kullanırken esnek ve esnek olmayan talepleri olan çoklu perakendecili problemleri çözmek için ise sezgisel, tavlama benzetimi, iç nokta, genetik ve örüntü arama algoritmalarını uygulamışlardır. Heydari vd. [14], iki kademeli bir tersine tedarik zincirini ele almış ve ardından modeli bir kapalı döngü tedarik zincirini dikkate alacak şekilde genişletmişlerdir. Tedarik zincirlerini koordine etmek için ise miktar indirimleri, farklı teşvikler ve artan ücret sözleşmeleri önermişlerdir. Rezapour vd. [15], bozulmanın tedarik zincirlerinin rekabet gücü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. En karlı ağ yapısını ve azaltma politikalarını bulmak için karma tamsayılı doğrusal olmayan bir model kullanarak problemi ele almış ve modeli çözmek için parçalı doğrusal bir yöntem tasarlamışlardır. Ghavamifar vd. [16], rekabetçi bir tedarik zinciri ağı tasarlamak için iki seviyeli çok amaçlı bir programlama yaklaşımı önermiş ve çözüm için Benders ayrıştırma yöntemleri ve uzlaşma programlamasından yararlanmışlardır. Rezaei ve

Maihami [17], çok seviyeli bir kapalı döngü tedarik zincirinde iki önemli oyun teorisi tabanlı yeni bir model yapısı sunmuşlardır. Setak vd. [18], belirsizlik altındaki üç seviyeli bir tedarik zincirinde bir Stackelberg oyunu şeklinde formüle edilmiş bütünlük ve rekabeti dikkate alan iki matematiksel model önererek belirsizlik problemlerini modellemek için iki aşamalı bir stokastik yaklaşım ve problemi çözmek için hibrit bir genetik algoritma uygulamışlardır. Seyedhosseini vd. [7], tekeli bir üretici ve iki duopolistik perakendeciden oluşan iki kademeli bir rekabetçi tedarik zinciri için talebin sosyal fiyat duyarlılığını önermiş ve üreticinin kurumsal sosyal sorumluluk çabasının müşterilerin fiyat duyarlılığı üzerindeki etkisini göstermişlerdir. Tedarik zincirini merkezi, merkezi olmayan ve koordineli karar alma yapılarında modellemişlerdir. Jian vd. [19], bir gelir paylaşımı sözleşme mekanizması getirerek iki oyun modeli oluşturmuş ve bu mekanizmanın rekabetçi bir tedarik zincirinin fiyatlandırma kararları ve kar dağıtım üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir.

Rezapour ve Farahani [20], Rezapour vd. [21] ve Rezapour vd. [22] iki rakip zincirin optimizasyon davranışları üzerine çalışmışlardır. Rezapour vd. [13], Rezapour ve Farahani [23], Rezapour vd. [24], Rezapour vd. [25] önceden var olan rekabetçi bir tedarik zinciri varlığında piyasaya giren bir tedarik zinciri tasarlamak için tedarik zincirleri arasında dinamik rekabeti varsayan iki seviyeli bir model geliştirmişlerdir. Değişken fiyatlar ve hizmet seviyelerini öngörülü talebin esnek olduğu Rezapour ve Farahani [23], ve talebin fiyat ve mesafeye göre esnek olduğu Rezapour vd. [24] çalışmaları çözüm için kesin ve metasezgisel algoritmalar önermişlerdir. Talebin deterministik ve fiyata bağlı olduğu Rezapour vd. [13] çalışmasında değiştirilmiş bir projeksiyon çözüm tekniği uygulanırken Rezapour vd. [25] çalışmasında hem 'tek ürün stratejisi' hem de 'ikame edilebilir ürün stratejisi' için yeni bir model önerilmiştir. Yang vd. [3], emisyon üst sınırı ve ticaret planı kapsamında bir üretici ve bir perakendeciden oluşan iki rekabetçi tedarik zinciri ele alarak bu tedarik zincirlerin denge çözümlerini (Stackelberg ve Nash oyunları) birkaç farklı yapı ile karşılaştırmışlardır. Saghaeian ve Ramezani [26] üç aşamalı, çok ürünlü, çok kaynaklı ve tek dönemli, ikili pazarlarda rekabet eden bir tedarik zincirine karşı olan bir tedarik zincirini ele almışlardır. Bir Stackelberg oyunu için problemi iki seviyeli modelle formüle etmiş ve iki seviyeli modeli tek seviyeli bir karma tamsayı doğrusal olmayan programlamaya dönüştürmek için Karush-Kuhn-Tucker koşullarını uygulamışlardır. Büyük boyutlu problemleri çözmek için Hibrit Genetik Algoritmayı önerirken hibrit meta-sezgisel parametreleri kalibre etmek ve daha sağlam çözümler elde etmek için ise Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Seyedhosseini vd. [5], belirsizlik altında rekabet halindeki tekeli, iki kutuplu ve oligopol merkezi olmayan tedarik zincirlerinin yer aldığı rekabetçi tedarik zinciri ağı tasarım problemini sunmuş ve iki seviyeli programlama ve olasılık teorisine dayalı bir çözüm algoritması kurmuşlardır.

Bir zincirin fiziksel ağ yapısını tasarlamaya tedarik zinciri ağ tasarımı denir. Bir tedarik zinciri yapısı; genel performansı, esnekliği, maliyetleri ve rekabet gücü üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle de tedarik zinciri ağ tasarımı zincirin gelecekteki tüm taktik ve operasyonel kararlarını etkileyen yeni bir zincir tasarlanmanın en önemli aşamalarından biri olarak kabul edilir. Bir zincirin ağ yapısını tasarlarken, gelecekteki rekabet gücünü artırmak için rekabetçi piyasaların ve üyelerin etkisini dikkate almaya "rekabetçi tedarik zinciri ağ tasarımı" denir. Günümüzün son derece rekabetçi pazarlarında, rekabetçi tedarik zinciri ağı tasarlamak, başarılı tedarik zincirlere sahip olmanın vazgeçilmez koşuludur [2].

Bu bağlamda bizde, çok seviyeli rekabetçi KDTZ yönetiminde ağ tasarımı ve optimizasyonu problemi üzerine çalışarak; (i) Tedarik zincirleri merkezi olmayan moda nasıl tasarlanabilir? (ii) Geri dönen ürünler nasıl değerlendirilir? (iii) Hangi tesislerin açık olacağı nasıl belirlenir? Fiyatlar nasıl belirlenebilir? (iv) Rekabet yoğunluğu ve teşviklerin karlar üzerindeki etkisi nedir? gibi soruları yanıtlamayı amaçladık.

## 2. YÖNTEMLER (METHODOLOGIES)

Klasik Doğrusal Programlama, geliştirildiğinden itibaren hayatımızda rol almaya başlamış ve sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde ise, tek bir amacın modellenmesinden ziyade birden fazla amacın farklı seviyelerdeki karar vericiler ile aynı anda modellenmesine olanak tanıdığından dolayı çok-seviyeli programlama yöntemleri önem kazanmaya başlamıştır.

Bu bölümde, çalışmamızda kullanılan Zimmermann [27], Selim ve Ozkarahan [28], Torabi ve Hassini [29] ve Sakawa ve Nishizaki [30]'nin etkileşimli bulanık çok amaçlı yaklaşımları kısaca açıklanmıştır.

### 2.1. Zimmermann (1978)'in Yaklaşımı (Zimmermann (1978)'s Approach)

Bellman ve Zadeh (1970)'e göre,  $X$ 'deki bulanık  $A$  kümesi şu şekilde tanımlanır:  $A = \{x, \mu_A(x) | x \in X\}$ . Burada  $\mu_A(x): x \rightarrow [0, 1]$   $A$ 'nın üyelik fonksiyonu olarak adlandırılır ve  $\mu_A(x)$ ,  $x$ 'in  $A$ 'ya ait olma derecesidir. Bir bulanık amaç  $\tilde{Z} \in X$ , üyelik fonksiyonu  $\mu_Z(x): x \rightarrow [0, 1]$  ile karakterize edilen  $X$ 'in bir bulanık alt kümesidir. Zimmermann [27] yaklaşımında, her amaç fonksiyonu maksimum ve minimum değerlerine ayrılarak üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

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

(minimizasyon için) (1)

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

(maksimizasyon için) (2)

Eşitlik (1)-(2)'de  $Z_j^{\min}$ ,  $Z_j(x^*)$  amaç fonksiyonunun alt sınırını;  $Z_j^{\max}$ ,  $Z_j(x^*)$  amaç fonksiyonunun üst sınırını ve  $x^*$  optimal çözümü gösterir.

Zimmermann [27]'a göre her bir amaç fonksiyonu, her seferinde amaçlardan sadece birini kullanarak ve diğerlerini yok sayarak tek bir amaç fonksiyonu olarak çözümlenir. Bu işlem  $j$  farklı amaç fonksiyonu için  $j$  kez tekrarlanır. Bulunan tüm çözümler,  $j \times j$  boyutunda bir ödünleşme matrisi oluşturmak için kullanılır.

Daha sonra  $j$ . amaç fonksiyonu ( $Z_j$ ) için alt sınır ( $Z_j^{\min}$ ) ve üst sınır ( $Z_j^{\max}$ ) ödünleşme tablosundan aşağıdaki şekilde belirlenir [31]. Bu değerler sırasıyla, ilgili amaç fonksiyonunun tabloda aldığı en küçük ve en büyük değerlerdir.

$$Z_j^{\min} \leq Z_j \leq Z_j^{\max} \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J \quad (3)$$

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

$$\text{Max} [\text{Min} \mu_z(x)] \quad (4)$$

$$Ax \leq b \quad (5)$$

$$x \geq 0 \quad (6)$$

Bulanık programlama modeli, Zimmermann [27]'in yaklaşımıyla,  $j$  amaçları için genel bir tatmin seviyesini gösteren  $\lambda$  değişkeni eklenerek, aşağıdaki gibi kesin formülasyona dönüştürülür [32-34].

$$\text{Maximize } \lambda \quad (7)$$

$$\lambda \leq \mu_{Z_j}(x) = \frac{Z_j^{\max} - Z_j(x)}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J, \quad (8)$$

(minimizasyon için)

$$\lambda \leq \mu_{Z_j}(x) = \frac{Z_j(x) - Z_j^{\min}}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J, \quad (9)$$

(maksimizasyon için)

$$Ax \leq b \quad \text{tüm deterministik kısıtlar için}, \quad (10)$$

$$x \geq 0 \text{ ve tamsayı}, \quad (11)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1. \quad (12)$$

## 2.2. Selim ve Özkarahan (2008)'in Yaklaşımı (Selim and Özkarahan (2008)'s Approach)

Selim ve Özkarahan [28]'in önerdikleri yaklaşımı amaçların göreceli önemini göz önünde bulundurarak

daha gerçekçi bir yapı sağlar ve aşağıdaki formülasyonu kullanır.

$$\text{Maximize } \gamma \lambda + (1 - \gamma) \sum_j w_j \lambda_j \quad (13)$$

$$\lambda + \lambda_j \leq \mu_j(x), \quad \forall j \in J, \forall x \in X \quad (14)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (15)$$

$$\lambda, \lambda_j, w_j, \gamma \in [0,1], \quad \forall j \in J \quad (16)$$

Burada  $\gamma$ ,  $[0,1]$  aralığında tanımlı ortak tatmin seviyesi ( $\lambda$ ) değerinin önem katsayısını,  $w_j$  ise  $j$ . amaç fonksiyonunun ağırlığını göstermektedir. Bu ağırlıklar literatürde bulunan herhangi bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi ile belirlenebilir.

## 2.3. Torabi ve Hassini (2008)'in Yaklaşımı (Torabi and Hassini (2008)'s Approach)

Selim ve Özkarahan [28]'den farklı olarak Torabi ve Hassini [29] her bir amaç fonksiyonun 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 [29]'nin önerdikleri formülasyon aşağıda verilmiştir.

$$\text{Maximize } \gamma \lambda + (1 - \gamma) \sum_j w_j \mu_j(x) \quad (17)$$

$$\lambda \leq \mu_j(x), \quad \forall j \in J, \forall x \in X \quad (18)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (19)$$

$$\lambda, w_j, \gamma \in [0,1], \quad \forall j \in J \quad (20)$$

Bulanık amaçların denge katsayısı  $\gamma$  ve göreceli önemi  $w_j$  göz önüne alındığına göre, yukarıda önerilen kesin model çözülür. Karar verici bu mevcut uzlaşma çözümünden memnunsam, problem sonlandırılır. Aksi takdirde,  $\gamma$  gibi bazı kontrol edilebilir parametre değeri değiştirilerek başka bir verimli çözüm sağlanabilir.

## 2.4. Sakawa ve Nishizaki (2002)'nin Yaklaşımı

(Sakawa and Nishizaki (2002)'s Approach)

Bu yaklaşım, merkezi olmayan iki seviyeli doğrusal programlama problemleri için üst seviyede tek bir Karar verici ve alt seviyede çoklu Karar vericiler ile etkileşimli bulanık programlama sunar. Önerilen yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, her iki seviyedeki Karar vericiler, her bir bulanık amaçları için üyelik fonksiyonlarını tanımlar. İki seviye arasındaki genel tatmin edici denge göz önünde bulundurularak, üst seviyedeki Karar verici tarafından minimum memnuniyet seviyesi belirlenir ve başlangıç çözümü elde edilir. Bu aşamada, alt seviyedeki Karar vericiler tarafsız ele alınır ve bu nedenle bir grup olarak kabul edilebilirler.

İkinci aşamada, üst seviye ile alt seviyedeki Karar vericilerin her biri arasındaki memnuniyet oranlarına bakılarak, alt seviyedeki bazı Karar vericiler için maksimum memnuniyet seviyeleri belirlenir ve eğer gerekirse güncellenerek, nihai tatmin edici çözüm elde

edilir. Bu etkileşimli süreçte, üst seviyedeki Karar Vericiye daha fazla önem veya saygı gösterilmesine rağmen, nihai olarak elde edilen tatmin edici çözüm, yalnızca her iki düzey arasında değil, aynı zamanda üst seviye Karar verici ile alt seviyedeki her bir Karar verici arasında dengeli bir çözüm sağlar.

Ele alınan çok amaçlı modelde öncelikle Zimmermann [27] yaklaşımındaki adımlar uygulanarak ilgili problemin ödünleşme tablosu oluşturulur ve  $\mu_0(Z_0(x))$ ,  $\mu_1(Z_1(x))$ , ...,  $\mu_j(Z_j(x))$  değerleri elde edilir. Tanımlanan üyelik fonksiyonlarıyla problem bulanık çok amaçlı probleme haline dönüştürülür.

$$\text{Max } \mu_0(Z_0(x)), \quad (\text{üst seviye KV}) \quad (21)$$

$$\text{Max } \mu_1(Z_1(x)), \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \quad (22)$$

.

.

.

$$\text{Max } \mu_j(Z_j(x)), \quad (\text{alt seviye j. KV}) \quad (23)$$

$$A_0x_0 + A_1x_1 + \dots + A_jx_j \leq B \quad (24)$$

$$x_0, x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, j \quad (25)$$

İlk aşamada üst seviye karar verici tarafından minimum bir tatmin seviyesi  $\tilde{\delta} \in [0,1]$  tanımlanır ve üst seviye karar vericinin üyelik fonksiyonunun en az bu değer kadar olması koşuluyla alt seviye karar vericiler arasındaki minimum tatmin seviyesi maksimize edilir;

$$\text{Max } \min_{i \in J} \mu_i(Z_i(x)), \quad \forall i \in J \quad (26)$$

$$\mu_0(Z_0(x)) \geq \tilde{\delta} \quad (27)$$

Ancak, üst seviye karar verici için formüle edilmiş merkezi olmayan iki seviyeli programlama problemi (26)-(27) hakkında herhangi bir bilgi olmadan minimum tatmin seviyesi  $\tilde{\delta}$  belirlemek zordur. Bunun için öncelikle Zimmermann [27] yaklaşımı uygulanır ve  $\tilde{\delta}$  'ya  $\lambda$  ' dan daha büyük bir değer atanır. Eşitlik (26)-(27)'ye ortak tatmin seviyesi  $\lambda$  ve belirlenen üst seviye Karar vericiye ait minimum tatmin seviyesi  $\tilde{\delta}$  'nın eklenmesiyle Eşitlik (28)-(33)'e dönüşür.

$$\text{Maximize } \lambda \quad (28)$$

$$\tilde{\delta} \leq \mu_0(Z_0(x)), \quad (\text{üst seviye KV}) \quad (29)$$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)), \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \quad (30)$$

.

.

$$\lambda \leq \mu_j(Z_j(x)), \quad (\text{alt seviye j. KV}) \quad (31)$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad \forall i \in J \quad (32)$$

$$x_i \geq 0, \quad \forall i \in J \quad (33)$$

$$0 \leq \lambda, \tilde{\delta} \leq 1. \quad (34)$$

Eşitlik (28)-(34)'in çözümünden elde edilen sonuca göre üst seviye Karar vericinin memnuniyet seviyesi  $\tilde{\delta}$  değerine eşit ya da daha büyük çıkacaktır. Ancak,

minimum tatmin edici seviye ne kadar büyük değerlendirilirse, alt seviyedeki tüm Karar vericilerin tatmin edici derecesi o kadar küçük olacaktır. Sonuç olarak, üst seviye Karar vericinin memnuniyet seviyesi ile alt seviyedeki karar vericilerin memnuniyet seviyeleri arasındaki nispi fark büyür ve her iki seviye arasındaki genel tatmin dengesinin sağlanamayacağından korkulur. Bu sebeple üst seviye Karar verici ile tüm Karar vericiler arasında dengeli bir memnuniyet seviyesi elde etmek için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$\Delta = \frac{\min_{i \in J} \mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))} \quad (35)$$

$\Delta_L$  ve  $\Delta_U$ , yine üst seviye Karar vericinin belirlediği tatmin oranı  $\Delta$  'nın alt ve üst sınırları gösterebilir. Eşitlik (35)' dan elde edilen  $\Delta$  değerinin bu sınırlar arasında olması beklenir. Eğer  $\Delta > \Delta_U$  ise üst seviye Karar verici  $\tilde{\delta}$  'yi artırarak  $\Delta$  değerini günceller. Bu durumda üst seviye Karar vericinin memnuniyet seviyesi artarken, alt seviye Karar vericilerin memnuniyet seviyesi düşecek ve  $\Delta$  değeri belirlenen aralıkta yer alacaktır. Eğer  $\Delta < \Delta_L$  ise, üst seviye Karar verici  $\tilde{\delta}$  'yi azaltarak  $\Delta$  değerini günceller. Bu durumda üst seviye Karar vericinin tatmin seviyesi azalırken, alt seviye Karar vericilerin tatmin seviyesi de artacak ve  $\Delta$  değeri yine belirlenen aralıkta yer alacaktır. Bu güncellemelerden sonra yaklaşımın ilk aşaması sonlandırılır.

İlk aşamada alt seviyedeki Karar vericilerin minimum memnuniyet seviyeleri ( $\lambda$ ) aynı oranda maksimize edilmeye çalışılmıştır. Alt seviyedeki bazı Karar vericilerin tatmin edici derecelerinin beklenmedik yüksek değerlere sahip olma olasılığı vardır. Böyle bir durumda önerilen yöntemin ikinci aşamasına geçilir ve üst seviye ile her bir alt seviye Karar vericinin memnuniyet seviyeleri oranları incelenir. Bunun için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$\Delta_j = \frac{\mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))}, \quad \forall i \in J \quad (36)$$

Böylece ilk aşamada dikkate alınmayan Karar verici(ler)nin, ikinci aşamada kontrol edilmesi sağlanmış olur. Eğer alt seviyedeki herhangi bir Karar vericinin memnuniyet seviye oranı  $\Delta_U$  değerinden büyük ise, üst seviyedeki Karar verici,  $\Delta_U$  sınırını aşan ilgili Karar verici için maksimum bir memnuniyet seviyesi ( $\tilde{\delta}_i$ ) belirler ve model (28)-(34) aşağıdaki gibi olur.

$$\text{Maximize } \lambda \quad (37)$$

$$\tilde{\delta} \leq \mu_0(Z_0(x)), \quad (\text{üst seviye KV}) \quad (38)$$

$$\tilde{\delta}_i \geq \mu_i(Z_i(x)), \quad (\text{alt seviye i. KV}) \quad (39)$$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)), \quad (\text{alt seviye 1. KV}) \quad (40)$$

.

.

.

$$\lambda \leq \mu_j(Z_j(x)), \quad (\text{alt seviye j. KV}) \quad (41)$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad \forall i \in J \quad (42)$$

$$x_i \geq 0, \quad \forall i \in J \quad (43)$$

$$0 \leq \lambda, \bar{\delta}, \bar{\delta}_i \leq 1 \quad (44)$$

$\Delta_U$  sınırını aşan alt seviye Karar vericiler için maksimum tatmin seviyesi,  $\bar{\delta}_i = \Delta_U \times \bar{\delta}$  şeklinde hesaplanır. Problem (37)-(44) çözüldükten sonra alt seviyedeki tüm Karar vericilerin yeni memnuniyet oranları tekrar hesaplanır. Elde edilen yeni memnuniyet oranları belirlenen sınırlar arasında ise ikinci aşama da sonlandırılır.

### 3. PROBLEMİN MODELLEMESİ (MODELING THE PROBLEM)

Geliştirilen KDTZ ağ tasarımı problemi, iki farklı üretici firma, birden fazla tesisi bulunan bir toplama ve geri dönüşüm merkezi ve müşterilerin karlarını maksimize etme üzerine rekabetçi davranışlarını incelemektedir. Ele alınan probleme dayalı KDTZ ağı Şekil 1’de verilmiştir.

Akış tedarikçilerden ton cinsi üzerinden çelik levha satın alınması ile başlanmakta ve satın alınan levhalar fabrikalarda çelik oto parçalara dönüştürülerek müşterileri olan marketlere gönderilmektedir. Burada sattıkları çelik levhaların kalitelerine göre 3 farklı segmentte tedarikçi ve yine aldıkları oto parçaların kalitelerine göre 3 farklı segmentte market söz konusudur. Dolayısıyla fabrikalar kullandıkları çelik levhalara göre 3 farklı kalitede ürün imal etmekte ve her kaliteyi ayrı ayrı fiyatlandırarak satışa sunmaktadır. Toplama ve geri dönüşüm merkezi ise kullanım ömrü sona eren veya çeşitli teknik problemler ve kazalar sonucunda müşterilerden geri dönen oto parçaları toplar ve kalitelerine göre farklı işlemler uygulayarak yeniden kullanılmak üzere satışa sunmaktadır. Burada alışveriş yaptıkları marketlere göre her biri farklı bölgelerde olan 3 farklı segmentte müşteriler bulunmaktadır. Toplama ve geri dönüşüm merkezi, geri dönen oto parça miktarını

arttırmak için müşterilere buldukları bölgeye ve ürünlerinin kalitesine göre bir takım teşviklerde bulunmaktadır. Geri dönen ürünler 2 farklı kalite üzerinden değerlendirilmektedir. Toplama ve geri dönüşüm merkezinin bölge ve kaliteye göre uyguladığı geri kazanım işlemleri Çizelge 1’de verilmiştir. Toplama ve geri dönüşüm merkezi karını maksimize etmek üzere elindeki ürünleri en yüksek fiyatı veren firmaya satış yapmaktadır. Bunun dışında, farklı konumlarda 3 tesise sahip olan toplama ve geri dönüşüm merkezi minimum maliyet oluşacak şekilde bunlardan ikisini hizmete sunma ve açılan bu tesislerden hizmet alacak müşterileri belirlemeyi amaçlamaktadır. Müşteriler ise ellerindeki kullanılmış ürünleri iade etmeye karar verirken toplama ve geri dönüşüm merkezi tarafından vaat edilen teşvik miktarını ve atanacakları tesisin konularına olan yakınlığını da dikkate alacaklardır.

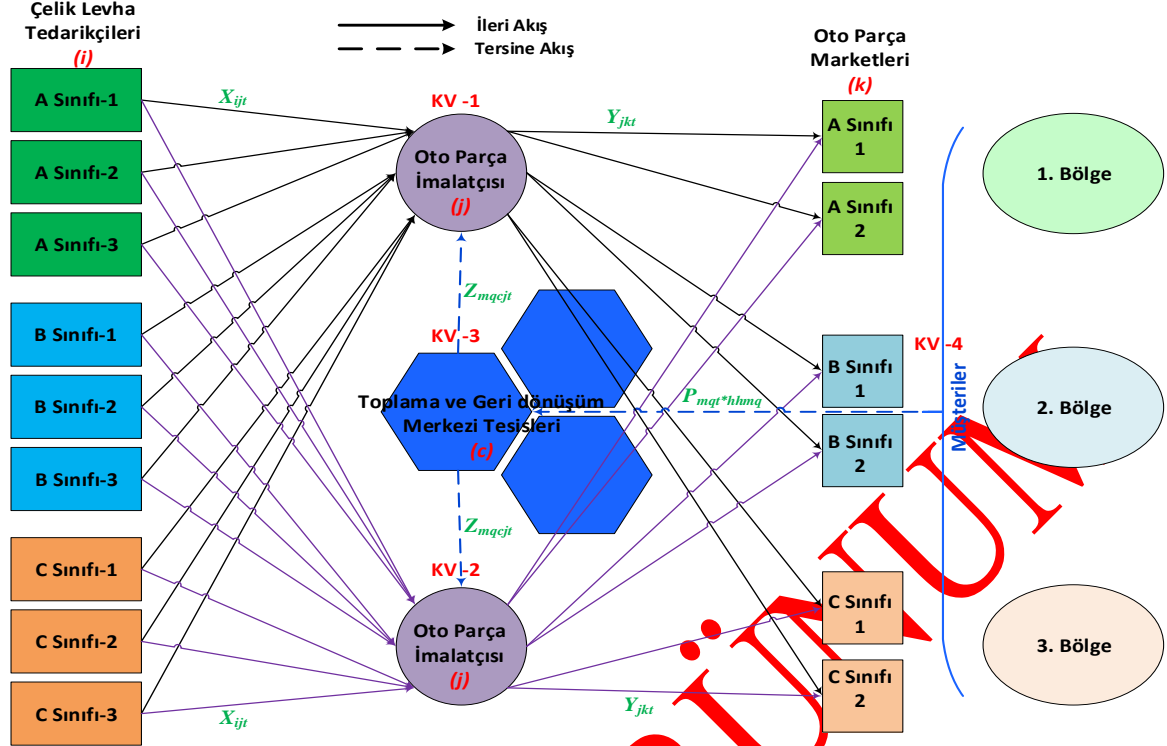
Problem ile ilgili diğer varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- Müşteri talepleri her dönem için kesin olup, tümüyle karşılanmaktadır.
- Tedarikçilerin kapasiteleri sabit ve kesindir, diğer tesisler için üretim kapasitesi yeterlidir.
- Yok satma olmadığı varsayılmıştır.
- Ürün ve parçalar ton üzerinden işlenmektedir.
- Fabrikalar, Toplama&Geri dönüşüm merkezi ve Müşteriler farklı KV’lerdir.
- Açılacak Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesis sayısı bilinmemektedir.
- Bütün Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesisleri eşit özelliktedir.
- Toplama&Geri dönüşüm merkezi tesislerin açılacağı noktalar belirlidir.
- Geri dönen ürünlerden atık çıkmadığı varsayılmıştır.

Çizelge 1. Bölge ve kaliteye göre uygulanan geri kazanım işlemleri (Recovery processes applied according to region and quality)

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





Şekil 1. Rekabetçi kapalı döngü tedarik zinciri ağı (Competitive closed-loop supply chain network)

### 3.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Model, yukarıdaki varsayımlar doğrultusunda talebi karşılamak üzere kârları en büyükmeye çalışmaktadır.

#### İndisler

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

#### Parametreler

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

$h_{mq}$  :  $m$  bölgesindeki  $q$  tipi ürün tutucuların sayısı

$p$  : Açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesisi sayısı

$M$  : Büyük bir sayı

Tedarikçiler ve marketler için 3 sınıf tanımlanmıştır.  $l$  çelik levha sınıfı ve  $n$  oto parça sınıfı aşağıdaki gibi belirlenmektedir. Burada,  $nl_1$  ve  $nl_2$ ,  $l$  çelik levha için ve  $nn_1$  ve  $nn_2$  ise  $n$  oto parça için sınıfların sınırlarını ifade etmektedir.

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

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

#### Karar Değişkenleri

- $X_{ijt}$  :  $t$  periyodunda  $i$  tedarikçisinden  $j$  fabrikasına taşınan çelik levha miktarı
- $Y_{jkt}$  :  $t$  periyodunda  $j$  fabrikasından  $k$  marketine taşınan oto parça miktarı
- $Z_{mqcjt}$  :  $t$  periyodunda  $c$  toplama ve geri dönüşüm tesisinden  $j$  fabrikasına taşınan  $m$  bölgesi  $q$  kalite ürün miktarı
- $V_{jnt}$  :  $t$  periyodunda  $j$  fabrikasındaki  $n$  sınıfı oto parça stok miktarı
- $W_{mqct}$  :  $t$  periyodunda toplama ve geri dönüşüm tesisindeki çelik levha stok miktarı
- $P_{mqt}$  :  $t$  periyodunda  $m$  bölgesi  $q$  kalite ürünü toplama ve geri dönüşüm merkezine getirecek olan müşteri oranı

$H_{mqj}$ : j fabrikasının toplama ve geri dönüşüm merkezinden oto parça satın alma maliyeti  
 $R_{mq}$ : m bölgesi q kalite ürüne ödenecek teşvik miktarı  
 $y_c$ : c toplama ve geri dönüşüm tesisi açılırsa 1, aksi halde 0  
 $x_{mc}$ : m müşteri bölgesi, c toplama ve geri dönüşüm tesisine atanırsa 1, aksi halde 0

### Amaç Fonksiyonları

Ele alınan Modelde 4 farklı Karar verici (fabrikalar, toplama-geri dönüşüm merkezi ve müşteriler ) olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle Karar vericilere göre amaç fonksiyonları farklılık göstermektedir. Tüm amaç fonksiyonları, kârı maksimize etmektedir. Başka bir ifadeyle model, toplam kazancı en büyüklerken toplam maliyeti en küçükler. Dolayısıyla amaç fonksiyonları toplam kazancın, toplam maliyete olan farkı şeklinde hesaplanmaktadır. KV-1 için amaç fonksiyonu iki kısımdan oluşmaktadır (45). Birinci kısım satılan oto parçalardan elde edilen geliri, ikinci kısım ise satın alma, işlem ve taşıma maliyetlerini belirtmektedir. KV-2 için de benzer amaçlar geçerlidir ve amaç fonksiyonu yine iki kısımdan oluşmaktadır (46). KV-3 için amaç fonksiyonun ilk kısmı 2. el ürün satışından elde edilen geliri, ikinci kısım müşterilere ödenen teşvik ve sabit tesis maliyetlerinden oluşur (47). KV-4 için amaç fonksiyonun ilk kısmı müşterilerin ürün geri dönüşüne karşılık aldıkları teşvik gelirini, ikinci kısım ise ürünleri toplama ve geri dönüşüm tesislerine taşıma maliyetini göstermektedir (48).

#### 1. Firmanın (KV-1) amaç fonksiyonu

$$Z1_{max} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot s_{jk} - [\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t Z_{mqcjt} (H_{mqj} + a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot r_{fj} + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t Z_{31cjt} (H_{31j} + r_j + a \cdot g_{jc}) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk}] \quad \forall j=1 \quad (45)$$

#### 2. Firmanın (KV-2) amaç fonksiyonu

$$Z2_{max} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot s_{jk} - [\sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t Z_{mqcjt} (H_{mqj} + a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot r_{fj} + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t Z_{31cjt} (H_{31j} + r_j + a \cdot g_{jc}) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk}] \quad \forall j=2 \quad (46)$$

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

$$Z3_{max} = \sum_m \sum_q \sum_c \sum_j \sum_t Z_{mqcjt} \cdot H_{mqj} - [\sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot P_{mqt} \cdot R_{mq} + \sum_c f_c \cdot y_c] \quad (47)$$

#### Müşterilerin (KV-4) amaç fonksiyonu

$$Z4_{max} = \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot P_{mqt} \cdot R_{mq} - [\sum_m \sum_q \sum_c \sum_t h_{mq} \cdot P_{mqt} \cdot b \cdot h_{cm} \cdot x_{cm}] \quad (48)$$

### Kısıtlar

$$[\sum_{i=1}^{n_1-1} X_{ijt} + V_{jn(t-1)}] - [\sum_{k=1}^{n_1-1} Y_{jkt} + V_{jnt}] = 0, \quad \forall j, t, n=1 \quad (49)$$

$$[\sum_{i=n_1}^{n_2-1} X_{ijt} + \sum_q \sum_c Z_{mqcjt} + V_{jn(t-1)}] - [\sum_{k=n_1}^{n_2-1} Y_{jkt} + V_{jnt}] = 0, \quad \forall j, t, n=2, m=1 \quad (50)$$

$$[\sum_{i=n_2}^I X_{ijt} + \sum_q \sum_c Z_{2qcjt} + \sum_c Z_{31cjt} + V_{jn(t-1)}] - [\sum_{k=n_2}^K Y_{jkt} + V_{jnt}] = 0, \quad \forall j, t, n=3 \quad (51)$$

$$[h_{mq} \cdot P_{mqt} + \sum_c W_{mqct-1}] - [\sum_c \sum_j Z_{mqcjt} + \sum_c W_{mqct}] = 0, \quad \forall t, m = 1, 2 | q = 1, 2 \text{ veya } m = 3 | q = 1 \quad (52)$$

$$\sum_j Y_{jkt} = d_{kt}, \quad \forall k, t \quad (53)$$

$$\sum_j X_{ijt} \leq c_i, \quad \forall i, t \quad (54)$$

$$\sum_c x_{mc} = 1, \quad \forall m \quad (55)$$

$$x_{mc} \leq y_c, \quad \forall m, c \quad (56)$$

$$\sum_c y_c = p, \quad \forall q, m \quad (57)$$

$$\sum_t P_{mqt} \leq \sum_c x_{mc}, \quad \forall q, m \quad (58)$$

$$Z_{mqcjt} \leq M \cdot x_{mc}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (59)$$

$$W_{mqct} \leq M \cdot x_{mc}, \quad \forall m, q, c, t \quad (60)$$

$$R_{mq} \leq H_{mqj}, \quad \forall m, q, j \quad (61)$$

$$X_{ijt}, Y_{jkt}, Z_{mqcjt}, V_{jnt}, W_{mqct}, P_{mqt}, H_{mqj}, R_{mq} \geq 0, \quad \forall i, j, k, c, n, m, q, t \quad (62)$$

$$y_c, x_{mc} \in \{0, 1\}, \quad \forall c, m \quad (63)$$

Kısıt (49)-(52)-Denge Kısıtlarıdır-fabrikalar ve toplama&geri dönüşüm merkezi için gelen ürün miktarının çıkan ürün miktarına eşit olmasını sağlar. Kısıt (53)-Talep Kısıtı- marketlere gönderilen oto parçalarının talebi karşılması gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (54)-Kapasite Kısıtı- tedarikçilerinden fabrikalara taşınan çelik levha miktarının ilgili tedarikçinin kapasitesinden fazla olamayacağını sağlamaktadır. Kısıt (55) ve (56)-Atama Kısıtları- bir müşteri bölgesinin tüm geri dönüşleri sadece bir toplama ve geri dönüşüm tesisine iletmesini, diğer bir ifade ile her bir müşteri bölgesinin yalnız bir toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmasını sağlamak ve herhangi bir müşteri bölgesinin açık olmayan bir toplama ve geri dönüşüm tesisine atanmasını engellemektedir. Kısıt (57)-Tesis Sayısı Kısıtı- açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesis sayısını p adet ile sınırlandırmaktadır. Kısıt (58) bir müşteri bölgesi herhangi bir toplama merkezine atanmamışsa, o bölgeden toplama ve geri dönüşüm merkezine kullanılmış ürün getirecek olan müşteri oranının ( $P_{mqt}$ ) sıfır olmasını sağlar. Kısıt (59) ve (60)-Kullanım Kısıtları- toplama ve geri dönüşüm tesisi açık değilse oradan fabrikalara ürün akışının gerçekleşmesini ve stok tutulmasını engellemektedir. Kısıt (61) toplama ve geri dönüşüm merkezinin müşterilere sunduğu teşvik ücreti, fabrikalara kullanılmış ürün satış fiyatını aşmamalıdır. Kısıt (62) ve (63)-İşaret Kısıtları- karar değişkenlerinin negatif olmaması gerektiğini ve ikili değişkenleri belirtmektedir.

KDTZ Modelinin formülasyonu, amaç fonksiyonlarında bulunan  $Z_{mqcjt} \cdot H_{mqj}$ ,  $P_{mqt} \cdot R_{mq}$  ve  $P_{mqt} \cdot x_{mc}$  ifadelerinden dolayı çözülmesi zor olan karma tamsayı doğrusal olmayan bir modeldir. Bu ifadelerin doğrusallaştırılması, modele aşağıdaki yeni parametre ve

sürekli değişkenler eklenerek amaç fonksiyonlarının revize edilmesi ve ek kısıtlar eklenmesiyle sağlanabilir.

### Ek parametreler

- $\bar{P}_{mqt}$ :  $P_{mqt}$  karar değişkeninin üst sınırı  
 $\bar{Z}_{mqcjt}$ :  $Z_{mqcjt}$  karar değişkeninin üst sınırı  
 $\bar{H}_{maj}$ :  $H_{maj}$  karar değişkeninin üst sınırı  
 $\bar{R}_{mq}$ :  $R_{mq}$  karar değişkeninin üst sınırı  
 $\underline{P}_{mqt}$ :  $P_{mqt}$  karar değişkeninin alt sınırı  
 $\underline{Z}_{mqcjt}$ :  $Z_{mqcjt}$  karar değişkeninin alt sınırı  
 $\underline{H}_{maj}$ :  $H_{maj}$  karar değişkeninin alt sınırı  
 $\underline{R}_{mq}$ :  $R_{mq}$  karar değişkeninin alt sınırı

### Ek karar değişkenleri

- $Px_{cmqt}$ :  $P_{mqt} * x_{mc}$  değerini net belirleyebilmek için kullanılan yardımcı karar değişkeni  
 $ZH_{mqcjt}$ :  $Z_{mqcjt} * H_{maj}$  değerini net belirleyebilmek için kullanılan yardımcı karar değişkeni  
 $RP_{mqt}$ :  $R_{mq} * P_{mqt}$  değerini net belirleyebilmek için kullanılan yardımcı karar değişkeni

### Revize edilmiş amaç fonksiyonları

#### 1. Firmanın (KV-1) amaç fonksiyonu

$$Z1_{max} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - \left[ \sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot r_{fj} + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk} \right] \quad \forall j=1 \quad (64)$$

#### 2. Firmanın (KV-2) amaç fonksiyonu

$$Z2_{max} = \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot S_{jk} - \left[ \sum_i \sum_t X_{ijt} (p_{ij} + mr_j + a \cdot e_{ij}) + \sum_{m=1}^2 \sum_q \sum_c \sum_t (ZH_{mqcjt} + Z_{mqcjt} \cdot a \cdot g_{jc}) + \sum_{m=1}^2 \sum_c \sum_t (Z_{m1cjt} \cdot r_{fj} + Z_{m2cjt} \cdot r_j) + \sum_c \sum_t (ZH_{31cjt} + Z_{31cjt} \cdot (r_j + a \cdot g_{jc})) + \sum_k \sum_t Y_{jkt} \cdot b \cdot f_{jk} \right] \quad \forall j=2 \quad (65)$$

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

$$Z3_{max} = \sum_m \sum_q \sum_t \sum_j \sum_c ZH_{mqcjt} - \left[ \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} + \sum_c f_c \cdot y_c \right] \quad (66)$$

#### Müşterilerin (KV-4) amaç fonksiyonu

$$Z4_{max} = \sum_m \sum_q \sum_t h_{mq} \cdot RP_{mqt} - \left[ \sum_m \sum_q \sum_c \sum_t h_{mq} \cdot b \cdot h_{cm} \cdot Px_{cmqt} \right] \quad (67)$$

### Ek kısıtlar

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

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

$x_{mc}$  İkili değişkendir-m müşteri bölgesi, c toplama ve geri dönüşüm tesisine atanırsa 1, aksi halde 0 değerini alır.

$$Px_{cmqt} = P_{mqt} * x_{mc} \text{ ise,} \\ Px_{cmqt} \leq x_{mc} \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, c, t \quad (68)$$

$$Px_{cmqt} \leq P_{mqt}, \quad \forall m, q, c, t \quad (69)$$

$$Px_{cmqt} \geq P_{mqt} - (1 - x_{mc}) \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, c, t \quad (70)$$

$$Px_{cmqt} \geq 0, \quad \forall m, q, c, t \quad (71)$$

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

$$ZH_{mqcjt} : Z_{mqcjt} * H_{maj} \text{ ise,} \\ ZH_{mqcjt} \geq \underline{Z}_{mqcjt} \cdot H_{maj} + Z_{mqcjt} \cdot \underline{H}_{maj} - \underline{Z}_{mqcjt} \cdot \underline{H}_{maj}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (72)$$

$$ZH_{mqcjt} \geq \bar{Z}_{mqcjt} \cdot H_{maj} + Z_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{maj} - \bar{Z}_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{maj}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (73)$$

$$ZH_{mqcjt} \leq \bar{Z}_{mqcjt} \cdot H_{maj} + Z_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{maj} - \bar{Z}_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{maj}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (74)$$

$$ZH_{mqcjt} \leq \underline{Z}_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{maj} + \underline{Z}_{mqcjt} \cdot H_{maj} - \underline{Z}_{mqcjt} \cdot \bar{H}_{maj}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (75)$$

$$\underline{Z}_{mqcjt} \leq Z_{mqcjt} \leq \bar{Z}_{mqcjt}, \quad \forall m, q, c, j, t \quad (76)$$

$$\underline{H}_{maj} \leq H_{maj} \leq \bar{H}_{maj}, \quad \forall m, q, j \quad (77)$$

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

$$RP_{mqt} \geq \underline{R}_{mq} \cdot P_{mqt} + R_{mq} \cdot \underline{P}_{mqt} - \underline{R}_{mq} \cdot \underline{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (78)$$

$$RP_{mqt} \geq \bar{R}_{mq} \cdot P_{mqt} + R_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt} - \bar{R}_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (79)$$

$$RP_{mqt} \leq \bar{R}_{mq} \cdot P_{mqt} + R_{mq} \cdot \underline{P}_{mqt} - \bar{R}_{mq} \cdot \underline{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (80)$$

$$RP_{mqt} \leq R_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt} + \underline{R}_{mq} \cdot P_{mqt} - \underline{R}_{mq} \cdot \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (81)$$

$$\underline{R}_{mq} \leq R_{mq} \leq \bar{R}_{mq}, \quad \forall m, q \quad (82)$$

$$\underline{P}_{mqt} \leq P_{mqt} \leq \bar{P}_{mqt}, \quad \forall m, q, t \quad (83)$$

### 3.2. Sayısal Örnek ( Numerical Example)

Geliştirilen modelin geçerliliği ve verimliliğini test etmek ve değerlendirmek için bir uygulama çalışması yapılmıştır. Modelin planlaması 3 periyot üzerinden yapılmıştır. Birim çelik levha taşıma maliyeti (a) 0,04 pb, birim oto parça taşıma maliyeti (b) 0,08 pb ve açılacak olan toplama ve geri dönüşüm tesisi sayısı (p) 2 olarak belirlenmiştir. Çelik levha ve oto parça için sınıfların sınırları  $nl_1=4$  ve  $nl_2=7$ ,  $nn_1=3$  ve  $nn_2=5$  olarak ele alınmıştır.  $P_{mqt}$  karar değişkeni bir oran belirttiğinden alt sınırı ( $\underline{P}_{mqt}$ ) 0 ve üst sınırı ( $\bar{P}_{mqt}$ ) 1'dir.

**Çizelge 2.** Çelik levha satın alma maliyetleri, işlem maliyetleri ve tedarikçi kapasiteleri (Steel plate purchasing costs, processing costs and supplier capacities)

$P_{ij}$	Fabrikalar (j)		$c_i$
	1	2	
<b>Tedarikçiler(i)</b>			
1	30	28.5	600
2	30	30	700
3	30	30.3	750
4	21	22	950
5	20	20	900
6	20.5	20.5	850
7	10	10	450
8	10	10.2	480
9	10	10	496
$mr_j$	7	7.2	
$r_j$	8	8.2	
$rf_j$	3.5	3.2	

$Z_{maqjt}$  karar değişkeninin alt sınırı ( $\underline{Z}_{maqjt}$ ) 0 ve üst sınırı ( $\bar{Z}_{maqjt}$ ) 1500,  $H_{maq}$  karar değişkeninin alt sınırı ( $\underline{H}_{maq}$ ) 6 ve üst sınırı ( $\bar{H}_{maq}$ ) 15 olarak,  $R_{mq}$  karar değişkeninin alt sınırı ( $\underline{R}_{mq}$ ) 3 ve üst sınırı ( $\bar{R}_{mq}$ ) 10 olarak belirlenmiştir. Diğer parametreler aşağıda (Çizelge 2-4) verilmiştir.

**Çizelge 3.** Oto parça satış fiyatları ve müşteri(market) talepleri (Auto parts sales prices and customer (market) demands)

$S_{jk}$	Marketler (k)					
	1	2	3	4	5	6
<b>Fabrikalar (j)</b>						
1	350	350	120	120	95	95
2	360	360	130	130	98	98
$dk_t$						
<b>Periyod (t)</b>						
1	200	200	300	250	400	440
2	360	300	200	420	490	405
3	300	150	230	250	400	440

**Çizelge 4.** Mesafeler, ürün tutucu sayıları, sabit maliyetler (Distances, number of product holders, fixed costs)

$e_{ij}$	Tedarikçiler(i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Fabrikalar (j)</b>									
1	300	350	330	450	400	440	500	450	490
2	360	300	200	420	490	405	630	502	500
$f_{jk}$	Marketler (k)								
	1	2	3	4	5	6			
<b>Fabrikalar (j)</b>									
1	200	250	120	128	90	85			
2	220	208	128	125	80	87			
$g_{ic}$	Toplama&geri dönüşüm tesisleri(c)								
	1	2	3						
<b>Fabrikalar (j)</b>									
1	95	180	150						
2	120	220	120						
$h_{cm}$	Toplama&geri dönüşüm tesisleri(c)			Geri dönen ürün kalitesi(q)					
	1	2	3	$h_{mq}$	1	2			
<b>Müşteri bölgeleri (m)</b>									
1	50	52	15		500	600			
2	35	20	30		400	750			
3	35	75	20		750	0			
$f_c$	500	700	650						

Geliştirilen çok amaçlı karma tamsayı doğrusal programlama modeli yukarıda verilen veriler doğrultusunda GAMS 24.0.1 paket programı ile farklı karar vericiler için ayrı ayrı çözümlenerek aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 5).

**Çizelge 5.** Optimal amaç fonksiyonu değerleri (Optimal objective function values)

Amaç Fonksiyonu	Değeri
Z1	739295.20
Z2	728670.84
Z3	35500
Z4	25640

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

amacı optimize edilirken diğerlerinin fayda ve menfaatleri yok sayılır. Bu durumda ilgili karar verici maksimum kar elde ederken diğer karar vericileri zarara sokabilmektedir (Bkz: Çizelge 6). Tüm karar vericileri memnun edecek ortak bir çözüm elde etmek yani ele alınan çok amaçlı problemin optimum çözümü için çoklu amaçların sistematik ve aynı zaman da gerçekleşmesi gereklidir.

### 3.3. EBP Yaklaşımlarının Uygulanması (Application of EBP Approaches)

Bu aşamada geliştirilen modelde Karar vericiler arasında uzlaşık bir çözüme ulaşabilmek için seçtiğimiz EBP yaklaşımlarından yararlanılmıştır.

**3.3.1. Zimmermann (1978) yaklaşımı ile problemin çözümü** (The solution of the problem with Zimmermann (1978) approach)

Her bir amacın minimum memnuniyet seviyelerinin eş zamanlı olarak maksimize edilmesine dayanan Max-Min yaklaşımı için ilk önce her bir amaç tek başına çözümlenerek amaçlara ilişkin ödünleşme tablosu elde edilir. Çizelge 6, her bir amacın tek başına optimize edildiği ve diğer amaçların o şartlar altında aldıkları değerleri göstermektedir.

**Çizelge 6.** Ödünleşme matrisi (The pay-off matrix)

Amaç Fonk.	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>
Z <sub>1</sub> (max)	739295.2	-232272.6	7800	-720
Z <sub>2</sub> (max)	-230850.6	780163.2	7850	180
Z <sub>3</sub> (max)	511421.6	-69967	35500	-720
Z <sub>4</sub> (max)	563703.6	-101055	-31350	25640

**Çizelge 7.** Üyelik fonksiyonları için veri seti (The dataset for membership functions)

Amaç Fonksiyonları	Alt Sınır	Üst Sınır
Z <sub>1</sub>	-230850.6	739295.2
Z <sub>2</sub>	-232272.6	780163.2
Z <sub>3</sub>	-31350	35500
Z <sub>4</sub>	-720	25640

Çizelge 7 den elde edilen üyelik fonksiyonları ve  $\lambda$  memnuniyet seviyesi değişkeninin modele eklenmesi ile Max-min yöntemine dayalı olarak, modelin kesin formülasyonu aşağıdaki gibi sunulur.

Maximize  $\lambda$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x)+230850.6}{739295.2+230850.6} \quad (84)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x)+232272.6}{780163.2+232272.6} \quad (85)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x)+31350}{35500+31350} \quad (86)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (87)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (88)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı karma tamsayı doğrusal programlama modeli GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve tüm karar vericiler için ortak

**Çizelge 9.** Farklı  $\gamma$  değerleri altında elde edilen sonuçlar (The results obtained under different  $\gamma$  values)

$\gamma$	$\lambda$	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	$\mu_1(Z_1(x))$	$\mu_2(Z_2(x))$	$\mu_3(Z_3(x))$	$\mu_4(Z_4(x))$
0	0	348378	386666.4	13650	25640	0.60	0.61	0.67	1
0.1	0	280604	455600.6	13650	25640	0.53	0.68	0.67	1
0.2	0	280730	452243	13710	25640	0.53	0.68	0.67	1
0.3	0	22297.5	714577.2	13650	25640	0.26	0.94	0.67	1
0.4	0	35910	704120.2	13650	25640	0.27	0.92	0.67	1
0.5	0.31	72258	664537	13650	25640	0.31	0.89	0.67	1
0.6	0.602	352935.72	376961.77	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.7	0.603	354442.78	378534.53	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.8	0.602	353625.76	377681.89	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.9	0.607	357860.19	382100.91	9850	24720	0.61	0.61	0.62	0.97
1	0.613	364065.62	388576.84	9643.99	15444.57	0.61	0.61	0.61	0.61

tatmin seviyesi  $\lambda = 0.61$  olarak bulunmuştur. Çizelge 8 ortak tatmin seviyesi  $\lambda = 0.61$  de tüm karar vericilerin optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 8.** Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri (Optimal objective and membership function values)

Amaç Fonk.	Zimmermann Değerleri	$\mu$
Z <sub>1</sub>	364065.62	0.61
Z <sub>2</sub>	388576.84	0.61
Z <sub>3</sub>	9643.99	0.61
Z <sub>4</sub>	15444.57	0.61

**3.3.2. Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımı ile problemin çözümü** (The solution of the problem with Selim and Özkarahan (2008) approach)

Zimmermann [27] çözümünde tanımlanan üyelik fonksiyonları ve ortak tatmin seviyesi  $\lambda$  kullanılarak problem aşağıdaki şekilde tek amaçlı kesin doğrusal problem modeline dönüştürülür. Buradaki ağırlıklar  $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 0.25$  olacak şekilde eşit kabul edilmiştir.

$$\text{Maximize } \gamma\lambda + (1-\gamma)[0.25\lambda_1 + 0.25\lambda_2 + 0.25\lambda_3 + 0.25\lambda_4] \quad (90)$$

$$\lambda + \lambda_1 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x)+230850.6}{739295.2+230850.6} \quad (91)$$

$$\lambda + \lambda_2 \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x)+232272.6}{780163.2+232272.6} \quad (92)$$

$$\lambda + \lambda_3 \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x)+31350}{35500+31350} \quad (93)$$

$$\lambda + \lambda_4 \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (94)$$

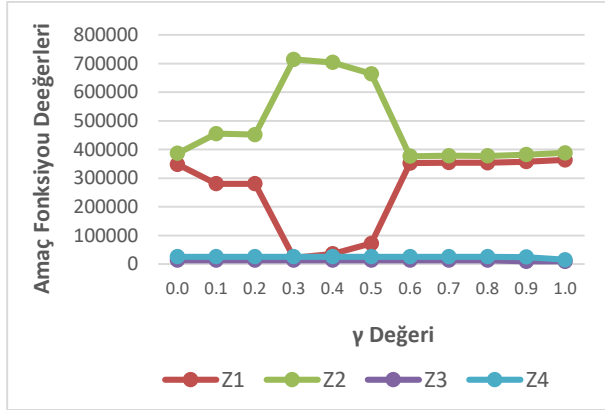
$$\gamma, \lambda, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \in [0, 1] \quad (95)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

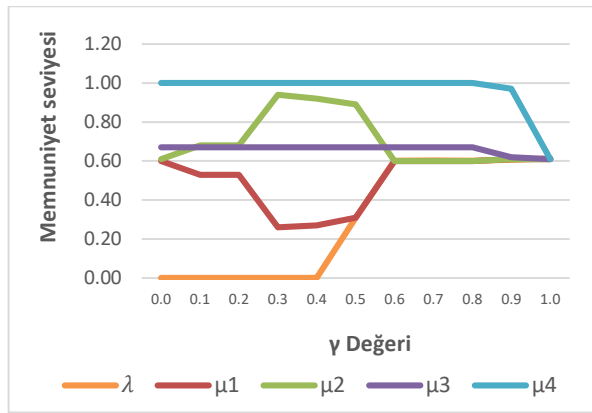
Yukarıda verilen tek amaçlı kesin doğrusal problemi  $\gamma = 1$  alınarak GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve elde edilen optimal sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi  $\lambda = 0.61$  olarak bulunmuştur.

$\gamma = 1$  alınması ile Zimmermann [27] yaklaşımı ile aynı sonuçlar elde edileceği açıktır.

$\gamma$  değerinin model üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla,  $\gamma$  değeri [0,1] aralığında değiştirilerek Çizelge 9'de sunulan sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2. Farklı  $\gamma$  değerlerinin Karar vericilerin amaç fonksiyonu üzerine etkisi (The effect of different  $\gamma$  values on the objective function of the decision makers)



Şekil 3. Farklı  $\gamma$  değerlerinin Karar vericilerin memnuniyet seviyeleri üzerine etkisi (The effect of different  $\gamma$  values on the satisfaction levels of decision makers)

Şekil 2'de verilen grafik incelendiğinde,  $\gamma = 0.3$  değerine kadar  $Z_1$  amaç fonksiyonu değeri azalırken  $Z_2$  amaç fonksiyonu değeri ise artmaktadır.  $\gamma = 0.3$  değerinden sonra ise her iki amaç fonksiyonu tersi hareketle birbirine yaklaşıyor sonrasında doğrusal bir yol izlemiştir. Aynı şekilde Şekil 3'de de görüldüğü üzere  $\gamma = 0.3$  değerine kadar  $\mu_1$  değeri azalırken  $\mu_2$  değeri artmakta ve  $\gamma = 0.6$  noktasından itibaren ortak tatmin seviyesi  $\lambda$ 'ya eşit olmuştur.

Çizelge 10. Farklı  $\gamma$  değerleri altında elde edilen sonuçlar (The results obtained under different  $\gamma$  values)

$\gamma$	$\lambda$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$\mu_1(Z_1(x))$	$\mu_2(Z_2(x))$	$\mu_3(Z_3(x))$	$\mu_4(Z_4(x))$
0	0	77666	660647.6	13650	25640	0.32	0.88	0.67	1
0.1	0.602	353298.34	377340.2	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.2	0.602	353298.34	377340.2	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.3	0.602	353298.34	377340.2	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.4	0.602	353298.34	377340.2	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.5	0.603	353868.94	377935.68	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.6	0.603	354202.57	378283.85	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.7	0.603	354463.82	378556.49	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.8	0.604	355560.95	379701.44	13650	25640	0.60	0.60	0.67	1
0.9	0.608	359268.11	383570.20	9313.41	24720	0.61	0.61	0.61	0.97
1	0.613	364065.62	388576.84	9643.99	15444.57	0.61	0.61	0.61	0.61

$Z_3$  ve  $Z_4$  değerlerinin ise genel olarak sabit kaldığı söylenebilir.  $\mu_3$  genel olarak ortak tatmin seviyesi 0.61 ( $\gamma = 1$ ) değerine yakın veya eşitken,  $\mu_4$  ise  $\gamma = 0.8$  noktasına kadar maksimum memnuniyet seviyesine sahiptir.

Sonuç olarak  $\gamma$  değişkeninin 0.6 değerine kadar  $Z_1$  ve  $Z_2$  amaç fonksiyonu değerleri ve memnuniyet seviyeleri üzerinde etkiliyken diğer amaç fonksiyonları ve ortak memnuniyet seviyesi  $\lambda$  üzerinde etkili değildir.  $\gamma$  değişkeninin 0.6-1 arasında aldığı değerler ise hem amaç fonksiyonu değerleri hem de memnuniyet seviyeleri üzerinde büyük bir etkiye sahip değildir.

### 3.3.3. Torabi ve Hassini (2008) yaklaşımı ile problemin çözümü (The solution of the problem with Torabi and Hassini (2008) approach)

Zimmermann [27] çözümünde tanımlanan üyelik fonksiyonları ve ortak tatmin seviyesi  $\lambda$  kullanılarak problem aşağıdaki şekilde tek amaçlı kesin doğrusal problem modeline dönüştürülür Buradaki ağırlıklar  $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 0.25$  olacak şekilde eşit kabul edilmiştir.

$$\text{Maximize } \gamma\lambda + (1-\gamma)[0.25\mu_1(Z_1(x)) + 0.25\mu_2(Z_2(x)) + 0.25\mu_3(Z_3(x)) + 0.25\mu_4(Z_4(x))] \quad (96)$$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x) + 230850.6}{739295.2 + 230850.6} \quad (97)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x) + 232272.6}{780163.2 + 232272.6} \quad (98)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x) + 31350}{35500 + 31350} \quad (99)$$

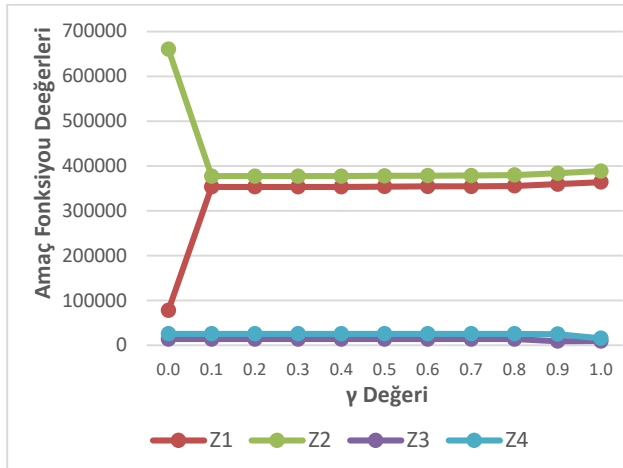
$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x) + 720}{25640 + 720} \quad (100)$$

$$\gamma, \lambda \in [0, 1] \quad (101)$$

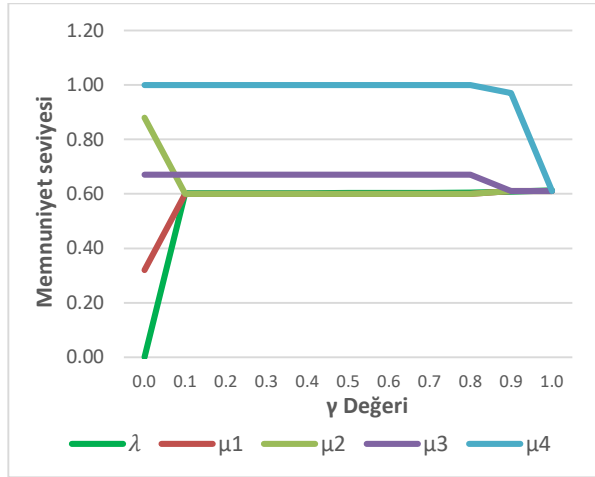
ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı kesin doğrusal problemi  $\gamma = 1$  alınarak GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve elde edilen optimal sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi  $\lambda = 0.61$  olarak bulunmuştur.  $\gamma = 1$  alınması ile Zimmermann [27] yaklaşımı ile aynı sonuçlar elde edileceği açıktır.

$\gamma$  değerinin model üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla,  $\gamma$  değeri [0,1] aralığında değiştirilerek Çizelge 10'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4. Farklı  $\gamma$  değerlerinin Karar vericilerin amaç fonksiyonu üzerine etkisi (The effect of different  $\gamma$  values on the objective function of the decision makers)



Şekil 5. Farklı  $\gamma$  değerlerinin Karar vericilerin memnuniyet seviyeleri üzerine etkisi (The effect of different  $\gamma$  values on the satisfaction levels of decision makers)

Şekil 4 ve 5 'de verilen grafikler incelendiğinde,  $\gamma = 0.1$  değerinden itibaren hem  $Z_1$  hem de  $Z_2$  amaç fonksiyonu değeri ve  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  memnuniyet dereceleri üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir.  $\gamma$  değişkeninin 0.1 den sonra aldığı değerlerinin ise hem amaç fonksiyonu değerleri hem de memnuniyet seviyeleri üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir.

Sonuç olarak, Torabi ve Hassini [29] yaklaşımının, Selim ve Ozkarahan [28] yaklaşımına göre  $\gamma$  değerine daha az duyarlı olduğu  $\gamma = [0.1-1]$  aralığında genel olarak istikrarlı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

### 3.3.4. Sakawa ve Nishizaki (2002) yaklaşımı ile problemin çözümü (The solution of the problem with Sakawa and Nishizaki (2002) approach)

Bu bölümde Modelin çözümü karar vericiler arasındaki işbirliğini ele alabilmek amacıyla Sakawa ve Nishizaki [30]'nin EBP yaklaşımı ile ele alınmıştır. Sakawa ve Nishizaki [30] yaklaşımı için üst seviyede bir Karar

Verici; 1 numaralı fabrika, alt seviyede üç Karar Verici; 2 numaralı fabrika, toplama&geri dönüşüm merkezi ve müşteriler olduğu kabul edilmiştir.

Zimmermann [27] sonuçlarına göre ortak tatmin seviyesi 0.61 olarak bulunmuştu. Elde edilen tatmin seviyelerini üst seviyedeki Karar Vericinin kabul etmediği ve kendi memnuniyet seviyesi için bir alt sınır oluşturduğunu varsayalım.  $\delta$  ile gösterilen bu değer üst seviye Karar Verici tarafından 0.90 olarak alınır ise ana problem aşağıdaki gibi olur,

$$\text{Maximize } \lambda \quad (102)$$

$$\delta = 0.90 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x)+230850.6}{739295.2+230850.6} \quad (103)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x)+232272.6}{780163.2+232272.6} \quad (104)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x)+31350}{35500+31350} \quad (105)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (106)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (107)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

Yukarıda verilen tek amaçlı karma tamsayı doğrusal programlama modeli GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve sonuçları Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri (Optimal objective and membership function values)

Amaç Fonk.	Sakawa ve Nishizaki Değerleri	$\lambda$	$\mu$
$Z_1$	642280.62	$\delta = 0.90$	0.90
$Z_2$	107832.13	0.34	0.34
$Z_3$	-1005.04	0.34	0.45
$Z_4$	8135.04	0.34	0.34

Çizelge 11'e göre üst seviye Karar Vericinin memnuniyet seviyesi 0.61' den 0.90 değerine yükselmiştir. Ancak üst seviye Karar Vericiye ait memnuniyet seviyesindeki bu artış diğer Karar Vericilerin tatmin seviyelerinde düşüşe neden olmuştur. Alt seviye Karar Vericilerin tatmin seviyeleri % 44 oranında azalmıştır. İki seviye arasındaki memnuniyet oranının  $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.5, 0.6]$  şeklinde belirlendiği varsayılırsa, mevcut  $\Delta$  değeri:

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

Açıkça görülmektedir ki elde edilen  $\Delta^1$  değeri alt ve üst sınırlar ( $0.5 \leq \Delta^1 \leq 0.6$ ) arasında yer almamaktadır  $\Delta^1 < \Delta_L$  olduğundan üst seviye Karar Verici  $\delta^1$  yi azaltarak  $\Delta^1$  değerini günceller.  $\delta^1 = 0.80$  olarak alınır ise problem (102)-(107) aşağıdaki gibi olur:

Maximize  $\lambda$  (108)

$$\bar{\delta} = 0.80 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x)+230850.6}{739295.2+230850.6} \quad (109)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x)+232272.6}{780163.2+232272.6} \quad (110)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x)+31350}{35500+31350} \quad (111)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (112)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (113)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

**Çizelge 12.** Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri (Optimal objective and membership function values)

Amaç Fonk.	Sakawa ve Nishizaki Değerleri	$\lambda$	$\mu$
$Z_1$	545266.04	$\bar{\delta} = 0.80$	0.80
$Z_2$	211924.04	0.44	0.44
$Z_3$	-2020.19	0.44	0.44
$Z_4$	12230.19	0.44	0.49

Üst seviye ve alt seviye Karar vericiler arasındaki denge oranı;

$$\Delta_2^2 = \frac{\min(0.44, 0.44, 0.49)}{0.80} = \frac{0.44}{0.80} = 0.55 \text{ olarak bulunur.}$$

Bu oran üst seviye Karar Vericilerin belirlemiş olduğu sınırlar arasında yer aldığından ilk aşama sonlandırılır.

Sonrasında, her bir alt seviye Karar Vericilerinin memnuniyet oranları ayrı ayrı hesaplanarak ikinci aşamaya geçilir.

$$\Delta_2^2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{0.44}{0.80} = 0.55 ; \Delta_3^2 = \frac{\mu_3}{\mu_1} = \frac{0.44}{0.80} = 0.55 ;$$

$$\Delta_4^2 = \frac{\mu_4}{\mu_1} = \frac{0.49}{0.80} = 0.61 \text{ olarak bulunur.}$$

Üst seviye Karar Verici (KV-1) ile KV-2 ve KV-3 arasındaki memnuniyet oranı belirlenen sınırlar arasında iken KV-4 ile arasındaki memnuniyet oranı belirtilen sınırlar dışında kalmıştır. Yani  $\Delta_4^2 > \Delta_0$  olduğundan üst seviye Karar Verici, Müşteriler Karar Vericisi (KV-4) için maksimum bir memnuniyet seviyesi ( $\bar{\delta}_i$ ) belirler. Bu değer  $\bar{\delta}$  ile  $\Delta_0$  nun çarpılması ile hesaplanır. Dolayısı ile  $\bar{\delta}_4 = \bar{\delta} \times \Delta_0 = 0.80 \times 0.6 = 0.48$  olur. Bu durumda problem (108)-(113);

Maximize  $\lambda$  (114)

$$\bar{\delta} = 0.80 \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{Z_1(x)+230850.6}{739295.2+230850.6} \quad (115)$$

$$\bar{\delta}_4 = 0.48 \geq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (116)$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2(x)+232272.6}{780163.2+232272.6} \quad (117)$$

$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{Z_3(x)+31350}{35500+31350} \quad (118)$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{Z_4(x)+720}{25640+720} \quad (119)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (120)$$

ve modele ait diğer tüm kısıtlar

**Çizelge 13.** Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri (Optimal objective and membership function values)

Amaç Fonk.	Sakawa ve Nishizaki Değerleri	$\lambda$	$\mu$
$Z_1$	545266.04	$\bar{\delta} = 0.80$	0.80
$Z_2$	211924.04	0.44	0.44
$Z_3$	-1722.80	0.44	0.44
$Z_4$	11932.80	0.44	0.48

Çizelge 13'e göre ise KV-1, KV-2 ve KV-3 tatmin seviyeleri bir önceki çözümle aynı kalırken, KV-4'ün tatmin seviyesi 0.48 oranına çekilmiştir.

$$\Delta_4^3 = \frac{\mu_4}{\mu_1} = \frac{0.48}{0.80} = 0.6 \text{ olarak bulunur.}$$

Bu oran belirlenen sınırlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, bu çözüm, etkileşimli sürecin tüm sonlandırma koşullarını karşılar. Üst seviye Karar vericinin son durumdan memnun olduğu varsayılır ise ikinci aşama da sonlandırılır. Sonuç olarak fabrika 1, fabrika 2, toplama&geri dönüşüm merkezi ve müşteriler için tatmin seviyeleri sırasıyla %80, %44, %44 ve %48 olur.

#### 4. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ (COMPARATIVE ANALYSIS)

Çalışmada kullanılan dört EBP yaklaşımlarının performanslarını değerlendirmek için problemin çözümünden elde edilen sonuçları Çizelge 14'de özetlenmiştir. Selim ve Ozkarahan [28] yaklaşımı için, ilgili noktadan itibaren dengeli çözümlere ulaşıldığından,  $\gamma$  değeri 0.6 alınarak elde edilen sonuçlar değerlendirme için kullanılmıştır. Torabi ve Hassini [29] yaklaşımında ise  $\gamma = 0.1$  noktasından itibaren dengeli çözümler elde edilmesine rağmen Selim ve Ozkarahan [28] yaklaşımıyla ortak bir nokta olması açısından yine  $\gamma = 0.6$  değeri ile elde edilen sonuçlar değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge 14'de koyu renkle vurgulanan veriler ilgili KV'cinin en iyi sonucunu göstermektedir.

**Çizelge 14.** Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri (Optimal objective and membership function values)

	KV-1		KV-2		KV-3		KV-4	
	$Z_1$	$\mu_1$	$Z_2$	$\mu_2$	$Z_3$	$\mu_3$	$Z_4$	$\mu_4$
<b>Zimmerman</b>	364065.62	0.61	<b>388576.84</b>	<b>0.61</b>	9643.99	0.61	15444.57	0.61
<b>Selim ve Ozkarahan</b> ( $\gamma = 0.6$ )	352935.72	0.60	376961.77	0.60	<b>13650</b>	<b>0.67</b>	<b>25640</b>	<b>1</b>
<b>Torabi ve Hassini</b> ( $\gamma = 0.6$ )	354202.57	0.60	378283.85	0.60	<b>13650</b>	<b>0.67</b>	<b>25640</b>	<b>1</b>
<b>Sakawa ve Nishizaki</b>	<b>545266.04</b>	<b>0.80</b>	211924.04	0.44	-1722.80	0.44	11932.80	0.48



Memnuniyet değerinin ( $\mu$ ) 1'e yakınlığı ilgili karar verici için ulaşabileceği optimum çözüme (maksimum kar) olan yakınlığını belirtir.  $\mu$  değeri 1'e eşit olan karar vericilerin almış oldukları amaç fonksiyonları değerleri Çizelge 6' da verilen ödünleşme matisindeki üst sınıra eşit, diğer bir ifadeyle ilgili karar verici için optimum değerdir. Görüldüğü gibi karar vericiler farklı çözüm yaklaşımları sonucu en iyi çözüm sonuçlarını elde etmiştir. Dolayısıyla, bu çizelgeden hareketle başlangıçta herhangi bir EBP yaklaşımının diğer yaklaşımlardan kesin olarak daha iyi olduğu söylenemez. Çünkü ilk üç yaklaşımda tüm Karar vericiler eşit öneme sahipken son yaklaşımda Karar vericiler farklı seviyelere sahiptir. Buna bağlı olarak da tüm yaklaşımların geçerli sonuçlar verdiği kabul edilebilir.

Karar vericilerin eşit öneme sahip olduğu düşünülürse Selim ve Ozkarahan [28] ile Torabi ve Hassini [29] yaklaşımlarının Zimmermann [27] yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar verdikleri söylenebilir. Çünkü her ne kadar KV-1 ve KV-2'nin memnuniyet seviyeleri % 1.6 azalsa da KV3 ve KV4'ün memnuniyet seviyeleri sırasıyla %9.8 ve % 64'lük ciddi bir artış göstermiştir. Selim ve Ozkarahan [28] ile Torabi ve Hassini [29] yaklaşımlarında tüm Karar vericilerin memnuniyet dereceleri arasında bir fark yoktur fakat amaç fonksiyonu değerlerine bakacak olursak  $Z_1$  ve  $Z_2$  değerlerinin Torabi ve Hassini [29] yaklaşımında bir tık daha iyi sonuçlar verdiği gözlenebilir.

Fakat gerçek hayat uygulamalarında, Karar vericiler çoğunlukla aynı seviyede değil, dolayısıyla farklı öneme sahiptirler. Buna istinaden de bu tarz problemlerin çözümünde daha etkili sonuçlara ulaşmak için Sakawa ve Nishizaki [30] yaklaşımının kullanılması önerilmektedir. Nitekim Çizelge 14'de sunulan sonuçlardan görülebileceği üzere KV-1'in diğerlerine göre daha fazla öneme sahip olduğu yani üst seviye karar verici olduğu düşünüldüğünde, bu yaklaşımın diğerlerine nazaran daha uygun bir yol sunarak beklendiği gibi memnuniyet verici bir çözüm sunduğu açıktır.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bir tedarik zincirinin ağ yapısı, performansını ve dolayısıyla rekabet gücünü etkiler. Önceki tedarik zinciri çalışmalarının çoğu, tekeli bir pazarda stratejik ve operasyonel maliyetlerinin toplamını en aza indirmek için bir tedarik zincirinin fiziksel ağ yapısını tasarlamaya odaklanmıştır. Yani günümüz piyasalarının gerçek durumu olan diğer rakiplerin varlığı görmezden gelinmektedir. Artık başarı, geleneksel ticaret ilişkilerinin kazan/kaybet müzakerelerinin ötesine geçebilecek ve en iyi ürünleri en iyi fiyata sunmak için birlikte çalışabilecek bir şirket ekibi oluşturmaya bağlıdır. Bu bağlamda, şirketler için başarı, sadece üretmek ve/veya satmaktan daha geniş bir alana yayılmakta ve geleneksel ilişkilerin müzakerelerine etkin bir şekilde katılma, kalite ve fiyat açısından en iyileri sunmak için başkalarıyla işbirliği yapma yeteneğine sahip olmasıdır [4]. Şüphesiz işbirliğin yanında tedarik

zinciri ağındaki her bir üye, tedarik zincirinin nihai talebini artırma ve tüm üyeler arasında daha fazla kâr elde etme fırsatına da sahiptir. Bu sebeple, karar vericiler akıllıca kararlar vermeli ve farklı tedarik zinciri seviyelerini entegre etmek için etkili tedarik zinciri stratejileri uygulamalıdır.

Bu kapsamda çalışmamızda, çok seviyeli rekabetçi KDTZ yönetiminde ağ tasarımı ve optimizasyonu problemini inceleyerek rekabet yoğunluğunu, geri dönen ürünlerin değerlendirilme yöntemleri ve teşviklerin kârlar üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçladık. Bu doğrultuda, makale ürün geri kazanımı için bir takım teşviklerle kullanılmış ürünleri iade etme isteğini artırarak sürdürülebilir tüketimi iyileştirmeye çalışan iki üretici, bir toplama&geri dönüşüm merkezi ve müşterilerden oluşan çok seviyeli rekabetçi KDTZ yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemini ele almaktadır. KDTZ yönetiminde farklı amaçlara sahip karar vericiler için uzlaşık çözüme ulaşmak için dört farklı EBP yaklaşımı kullanılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Bu yaklaşımların üçü karar vericilerin eşit öneme sahip olduğu varsayımıyla bir çözüm sunarken Sakawa ve Nishizaki [30] yaklaşımı karar vericilerin farklı seviyelerde olması durumunu da dikkate aldığından günümüz tedarik zinciri ağ tasarımlarına uygun daha etkili sonuçlar verdiği söylenebilir.

Çalışmada sunulan model çerçevesi, araştırmacı ve uygulayıcılara çok seviyeli rekabetçi tedarik zincirlerinde ağ tasarım sürecinde olması muhtemel konularda yeni fikirler oluşturarak sunulan modelleme ve optimizasyon stratejileri ile rehberlik edebilir. Bir sonraki aşamada kullanılan EBP yaklaşımları farklı ÇKKV yöntemleri ile entegre bir şekilde uygulanabilir, ayrıca küresel rekabetin yoğunlaştığı sürekli değişen dünyaya daha uyumlu tedarik zincirindeki tüm taraflar için tatmin edici yeni EBP yaklaşımları geliştirilebilir.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Belkız TORĞUL:** Tasarım, uygulama, sonuçların analizi ve makalenin yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir. / performed the design and implementation, analyzed the results, and wrote the manuscript.

**Turan PAKSOY:** Tasarımı yapmış ve sonuçları kontrol ederek doğrulamıştır. / performed the design and verified the results by checking.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tamer, E., KOÇTEPE, S. and CÜREBAL, A., "Hedef programlama yöntemi ile Akaryakıt istasyonları tanıtımı için Personel çizelgeleme problemi", *Politeknik Dergisi*: 1-1, (2021).
- [2] Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T. and Fallah, S., "Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications", *Omega*, 45: 92-118, (2014).
- [3] Yang, L., Zhang, Q. and Ji, J., "Pricing and carbon emission reduction decisions in supply chains with vertical and horizontal cooperation", *International Journal of Production Economics*, 191: 286-297, (2017).
- [4] Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T., Esfahani, A. M. and Amiri-Aref, M., "Locating and capacity planning for retailers of a new supply chain to compete on the plane", *Journal of the Operational Research Society*, 66(7): 1182-1205, (2015).
- [5] Seyedhosseini, S. M., Fahimi, K. and Makui, A., "Decentralized supply chain network design: monopoly, duopoly and oligopoly competitions under uncertainty", *Journal of Industrial Engineering International*, 14(4): 677-704, (2018).
- [6] Caldentey, R. and Wein, L. M., "Analysis of a decentralized production-inventory system", *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(1): 1-17, (2003).
- [7] Seyedhosseini, S. M., Hosseini-Motlagh, S.-M., Jonari, M. and Jazinanejad, M., "Social price-sensitivity of demand for competitive supply chain coordination", *Computers & Industrial Engineering*, 135: 1103-1126, (2019).
- [8] Cachon, G. P., "Stock wars: inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers", *Operations Research*, 49(5): 658-674, (2001).
- [9] Nagurney, A., Dong, J. and Zhang, D., "A supply chain network equilibrium model", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38(5): 281-303, (2002).
- [10] Rau, H., Wu, M.-Y. and Wee, H. M., "Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment", *International Journal of Production Economics*, 86(2): 155-168, (2003).
- [11] Nagurney, A., "Supply chain network design under profit maximization and oligopolistic competition", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(3): 281-294, (2010).
- [12] Azarmehr, M., Rezapour, S. and Tavakkoli-Moghaddam, R., "Sourcing and pricing strategies for two retailers in a decentralized supply chain system under supply disruption", *Management Science Letters*, 2(1): 43-54, (2012).
- [13] Rezapour, S., Hassani, A. and Farahani, R. Z., "Concurrent design of product family and supply chain network considering quality and price", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81: 18-35, (2015).
- [14] Heydari, J., Govindan, K. and Jafari, A., "Reverse and closed loop supply chain coordination by considering government role", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52: 379-398, (2017).
- [15] Rezapour, S., Farahani, R. Z. and Pourakbar, M., "Resilient supply chain network design under competition: a case study", *European Journal of operational research*, 259(3): 1017-1035, (2017).
- [16] Ghavamifar, A., Makui, A. and Taleizadeh, A. A., "Designing a resilient competitive supply chain network under disruption risks: A real-world application", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 115: 87-109, (2018).
- [17] Rezaei, S. and Maihami, R., "Optimizing the sustainable decisions in a multi-echelon closed-loop supply chain of the manufacturing/remanufacturing products with a competitive environment", *Environment, Development and Sustainability*: 1-27, (2019).
- [18] Setak, M., Feizizadeh, F., Tikani, H. and Ardakani, E. S., "A bi-level stochastic optimization model for reliable supply chain in competitive environments: Hybridizing exact method and genetic algorithm", *Applied Mathematical Modelling*, 75: 310-332, (2019).
- [19] Jian, J., Zhang, Y., Jiang, L. and Su, J., "Coordination of supply chains with competing manufacturers considering fairness concerns", *Complexity*, 2020, (2020).
- [20] Rezapour, S. and Farahani, R. Z., "Strategic design of competing centralized supply chain networks for markets with deterministic demands", *Advances in Engineering Software*, 41(5): 810-822, (2010).
- [21] Rezapour, S., Zanjirani Farahani, R. and Drezner, T., "Strategic design of competing supply chain networks for inelastic demand", *Journal of the Operational Research Society*, 62(10): 1784-1795, (2011).
- [22] Rezapour, S., Farahani, R. Z., Ghodsipour, S. H. and Abdollahzadeh, S., "Strategic design of competing supply chain networks with foresight", *Advances in Engineering Software*, 42(4): 130-141, (2011).
- [23] Rezapour, S. and Farahani, R. Z., "Supply chain network design under oligopolistic price and service level competition with foresight", *Computers & Industrial Engineering*, 72: 129-142, (2014).
- [24] Rezapour, S., Farahani, R. Z., Dullaert, W. and De Borger, B., "Designing a new supply chain for competition against an existing supply chain", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 67: 124-140, (2014).
- [25] Rezapour, S., Farahani, R. Z., Zhang, D. and Mohammaddust, F., "Strategic design of a competing supply chain network for markets with deterministic demands", *IMA Journal of Management Mathematics*, 27(2): 109-141, (2016).
- [26] Saghaeian, A. and Ramezani, R., "An efficient hybrid genetic algorithm for multi-product competitive supply chain network design with price-dependent demand", *Applied Soft Computing*, 71: 872-893, (2018).
- [27] Zimmermann, H.-J., "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1): 45-55, (1978).
- [28] Selim, H. and Ozkarahan, I., "A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(3): 401-418, (2008).
- [29] Torabi, S. A. and Hassini, E., "An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning", *Fuzzy Sets and Systems*, 159(2): 193-214, (2008).
- [30] Sakawa, M. and Nishizaki, I., "Interactive fuzzy programming for decentralized two-level linear

- programming problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 125(3): 301-315, (2002).
- [31] Behera, S. K. and Nayak, J. R., "Solution of multi-objective mathematical programming problems in fuzzy approach", *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3(12): 3790, (2011).
- [32] Kumar, M., Vrat, P. and Shankar, R., "A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain", *International Journal of Production Economics*, 101(2): 273-285, (2006).
- [33] Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S. and Thakur, L. S., "Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain", *Expert Systems with Applications*, 39(9): 8182-8192, (2012).
- [34] Kumar, D., Rahman, Z. and Chan, F. T. S., "A fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming model for order allocation in a sustainable supply chain: A case study", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(6): 535-551, (2017).

ERKEN GÖRÜNÜM