

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK AMAÇLI ÇOK AŞAMALI
YEŞİL KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİNE
BULANIK YAKLAŞIM**

KORAY KÖÇKEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MATEMATİK ANABİLİM DALI
MATEMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET AHLATCIOĞLU**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK AMAÇLI ÇOK AŞAMALI
YEŞİL KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİNE
BULANIK YAKLAŞIM

Koray KÖÇKEN tarafından hazırlanan tez çalışması 19/04/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Matematik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Fatma TİRYAKİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Eyüp ÇETİN
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Uzun bir aradan sonra bana bu çalışmayı yapma fırsatını veren, desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU'na, adeta bir eş danışman gibi tezimin her aşamasında bana yardımcı olan Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK'e, hayatımın bu en yoğun döneminde kendinden ödün vererek akademik ve manevi anlamda hep benim arkamda olan biricik eşim Yrd. Doç. Dr. Hale GONCE KÖÇKEN'e, bugünlere gelmemde önemli katkıları olan babam Ahmet KÖÇKEN'e ve 2007 yılında kaybettiğimiz annem Nejla KÖÇKEN'e sonsuz teşekkürler...

Nisan, 2016

Koray KÖÇKEN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ	6
2.1 Tedarik Zinciri Tarihçesi	6
2.2 Tedarik Zinciri Kavramı.....	7
2.3 Tedarik Zincirinin Yapısı ve Bileşenleri.....	7
2.4 Tedarik Zinciri Yönetimi	9
2.5 Tersine Lojistik ve Kapalı Devre Tedarik Zinciri.....	11
2.6 Yeşil Tedarik Zinciri	12
2.6.1 Taşıma Biçiminin Etkisi	14
BÖLÜM 3	
BULANIK MATEMATİK.....	17
3.1 Bulanık Mantık	17
3.2 Bulanık Kümeler	18

3.2.1	Bulanık Kümelerde Temel İşlemler.....	22
3.3	Bulanık Sayılar.....	24
3.3.1	Üçgensel Bulanık Sayı.....	24
3.3.2	Yamuksal Bulanık Sayı.....	25
3.4	Bulanık Karar Verme.....	26
3.4.1	Bulanık Lineer Programlama.....	29
3.5	Çok Amaçlı Karar Verme.....	35
3.5.1	ÇALP Problemi.....	36
3.5.2	Temel Kavramlar.....	37
3.5.3	ÇALP problemine Bulanık Yaklaşım.....	38
 BÖLÜM 4		
ÇOK AMAÇLI ÇOK AŞAMALI YEŞİL KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİNE BULANIK BİR YAKLAŞIM.....		44
4.1	Modelin Varsayımları.....	44
4.2	Modelin Matematiksel Yapısı.....	45
4.3	Uygulama.....	54
4.4	Uygulamanın Çözümü.....	68
 BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		74
KAYNAKLAR.....		76
ÖZGEÇMİŞ.....		81

SİMGE LİSTESİ

μ	Üyelik fonksiyonu
$\tilde{A}$	Bulanık bir küme
$\tilde{A}_\alpha$	Bulanık bir kümenin α – keseni
$S(A)$	Bulanık A kümesinin destek kümesi
$hgt(A)$	Bulanık A kümesinin yüksekliği
$ A $	Bulanık A kümesinin kardinalitesi
$\ A\ $	Bulanık A kümesinin göreceli kardinalitesi
$\bar{A}$	Bulanık A kümesinin tümleyeni

KISALTMA LİSTESİ

BLP	Bulanık Lineer Programlama
CRP	Sürekli İkmal Planlaması
ÇAÇAYKDTZ	Çok Amaçlı Çok Aşamalı Yeşil Kapalı Devre Tedarik Zinciri
ÇALP	Çok Amaçlı Lineer Programlama
ECR	Etkin Müşteri Yanıtı
KV	Karar Verici
LP	Lineer Programlama
MRP	Malzeme İhtiyaç Planlaması
QR	Hızlı Yanıt
TZ	Tedarik Zinciri
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi
YTZ	Yeşil Tedarik Zinciri
YTZY	Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3. 1 Örnek 3.1'e ait üyelik fonksiyonu.	19
Şekil 3. 2 Örnek 3.2'e ait üyelik fonksiyonu.	19
Şekil 3. 3 Konveks küme ve konveks olmayan bulanık küme.	21
Şekil 3. 4 İki bulanık kümenin kesişimi.	23
Şekil 3. 5 İki bulanık kümenin birleşimi.	23
Şekil 3. 6 Üçgensel bulanık sayı.	25
Şekil 3. 7 Yamuksal bulanık sayı.	26
Şekil 3. 8 Bulanık bir karar.	29
Şekil 3. 9 " $\leq$ " yapısındaki kısıtlara ait üyelik fonksiyonu.	32
Şekil 3. 10 " $\equiv$ " yapısındaki kısıtın üyelik fonksiyonu.	33
Şekil 3. 11 Amacın üyelik fonksiyonu (Örnek 3.5).	35
Şekil 3. 12 Çözüm uzayı (Örnek 3.6).	42
Şekil 4. 1 X şirketinin genel tedarik zinciri ağı.	55
Şekil 4. 2 1. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAÇAYKDTZ ağı.	70
Şekil 4. 3 2. amaç fonksiyonunun bireysel maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAÇAYKDTZ ağı.	71
Şekil 4. 4 3. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAÇAYKDTZ ağı.	71
Şekil 4. 5 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmininin maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAÇAYKDTZ ağı.	72

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 Örnek 3.5'in sonuç değerleri.....	34
Çizelge 3. 2 Ödemeler matrisi (Örnek 3.6).....	41
Çizelge 4. 1 Depoların kurulum maliyetleri ($SetupCostWH_w$).....	56
Çizelge 4. 2 Dağıtım merkezlerinin kurulum maliyetleri ($SetupCostDC_d$).....	56
Çizelge 4. 3 Depoların kapasitesi (Kw_w).....	57
Çizelge 4. 4 Dağıtım merkezlerinin kapasitesi (Kd_d).....	57
Çizelge 4. 5 Müşterilerin talep miktarları (Dcz_{cz}).....	57
Çizelge 4. 6 Tedarikçilerden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim taşıma maliyetleri ($Cspij_{spij}$).....	57
Çizelge 4. 7 Fabrikadan depolara her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri (Cpw_{pwj}).....	58
Çizelge 4. 8 Depolardan dağıtım merkezlerine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri (Cwd_{wdj}).....	58
Çizelge 4. 9 Dağıtım merkezlerinden müşterilere her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri ($Cdcz_{dczj}$).....	60
Çizelge 4. 10 Müşterilerden geri dönüşüm merkezine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri ($Cczr_{czrj}$).....	61
Çizelge 4. 11 Geri dönüşüm merkezinden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim taşıma maliyetleri ($Crpi_{rpij}$).....	62
Çizelge 4. 12 Geri dönüşüm merkezinden imha merkezine her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim taşıma maliyetleri ($Crih_{rihj}$).....	62
Çizelge 4. 13 Tedarikçilerden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınım miktarları ($CO2spj_{spj}$).....	62
Çizelge 4. 14 Fabrikadan depolara her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2pwj_{pwj}$).....	62
Çizelge 4. 15 Depolardan dağıtım merkezlerine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2wdj_{wdj}$).....	63
Çizelge 4. 16 Dağıtım merkezlerinden müşterilere her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2dczj_{dczj}$).....	64
Çizelge 4. 17 Müşterilerden geri dönüşüm merkezine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2czrj_{czrj}$).....	66

Çizelge 4. 18	Geri dönüşüm merkezinden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınım miktarları ($CO2rpj_{rpj}$).....	66
Çizelge 4. 19	Geri dönüşüm merkezinden imha merkezine her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınım miktarları ($CO2rhj_{rhj}$).....	67
Çizelge 4. 20	Depoların bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($ratingW_w(\%)$).....	67
Çizelge 4. 21	Dağıtım merkezlerinin bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($ratingD_d(\%)$).....	67
Çizelge 4. 22	Depoların birim CO2 salınım miktarları (CWw_w).....	67
Çizelge 4. 23	Dağıtım merkezlerinin birim CO2 salınım miktarları (CDd_d).....	68
Çizelge 4. 24	Amaçların bireysel maksimum ve minimumları.....	68



ÇOK AMAÇLI ÇOK AŞAMALI YEŞİL KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİNE BULANIK YAKLAŞIM

Koray KÖÇKEN

Matematik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU

Ulusal yada uluslararası düzeyde ticaret yapan tüm şirketler, piyasadaki devamlılıklarını sağlamak için tedarik zinciri yönetiminde yetkin olmalıdırlar. Şirketler mevcut durumları hakkında veri toplamalı, bu verileri iyi analiz etmeli, amaçlar belirlemeli, bu amaçlar doğrultusunda stratejiler belirleyerek uygulamaya koymalıdır. Amaçların belirlenmesi ve uygulamaya konulması aşamasında bazı kısıtlar ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda çevresel kısıtların önemi oldukça artmıştır. Tedarik zinciri ağlarının tasarımında amaçlar belirlenirken maliyetin yanında çevresel faktörler de aynı ölçüde dikkate alınmaya başlamıştır. Böylece yeni nesil tedarik zincirleri sayesinde sera gazı salınımları minimuma indirilebilmekte, aynı zamanda geridönüşüm işlemi sayesinde maliyet de düşürülebilmektedir. Kapalı devre ve yeşil olma özelliklerini içinde barındıran bu tedarik zinciri ağlarının modellenmesi ve bu oluşturulan modellere çözümler üretilmesi elbette sürdürülebilirliğe giden yolda önemli çalışmalardır. Tedarik zincirinde hem toplam maliyet hem de çevresel faktörler baz alındığında kullanılacak taşıma biçiminin ne denli önemli olduğu bilinmektedir. Maliyetin ve sera gazı salınımının düşürülmesi, oluşturulacak olan tedarik zinciri ağının çok daha etkin olmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, tedarikçi seçimi, depo ve dağıtım merkezi kurulumu, tesisler arasındaki ürün taşıma miktarları ve taşınacak ürünlerin ne şekilde taşınacağı kararlarını içeren çok amaçlı çok aşamalı yeşil bir kapalı devre tedarik zinciri modeli oluşturulmuş,

oluşturulan bu karma tamsayılı lineer matematiksel modelin, Zimmermann'ın minimum operatörü kullanılarak bulanık yaklaşım yardımıyla amaçların ortak tatminini maksimize edecek şekilde çözüm üretmesi sağlanmıştır. Hem maliyeti hem de bir sera gazı olan CO₂ 'nin salınımını minimuma indirmeye ve karar vericinin önem atfettiğı tesislerin kurulumuna öncelik vermeye çalışan bu modelin bir örneğı uygulanması ile tatmin seviyesinin kabul edilebilir bir seviyede olduğı optimum bir sonuç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil tedarik zinciri, kapalı devre tedarik zinciri, bulanık çok amaçlı lineer programlama.



ABSTRACT

A FUZZY APPROACH TO MULTI OBJECTIVE MULTI ECHELON GREEN CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN

Koray KÖÇKEN

Department of Mathematics

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU

All companies trading in national and international level should be competent with their supply chain management activities to ensure their continuity in the market. They also should collect data about their current situations, analyze these data and implement their strategies in the direction of their own objectives. In the course of setting and implementing their objectives, it is obvious to tackle with some restrictions. In recent years, the importance of environmental restrictions rather increases. While designating a supply chain network, it has been started to take into account the environmental factors as well as the costs. Thus, under favour of next generation supply chain networks, greenhouse gas emission can be minimized and also the costs be reduced by recycling process. Modelling such supply chain networks contain the properties of closed loop and being green and generating solutions to these models is very valuable efforts from the viewpoint of sustainability. It is also known that in a supply chain network, the mode of transport is very important when the total cost and the environmental factors are both considered. Reducing the cost and greenhouse gas emission provides the supply chain network more efficient.

In this thesis, a multi objective multi echelon green closed loop supply chain model is constructed to make decisions of supplier selection, warehouse and distribution center setup, the transportation quantities between facilities and the mode of transport. This

mixed integer linear mathematical model is solved to maximize the joint satisfaction of objectives with a fuzzy approach by using the minimum operator of Zimmermann. This model and solution approach is illustrated with a numerical case study. Thus, the solution is obtained to minimize both the cost and CO₂ emission which is a greenhouse gas and to give priority to setup facilities which are more preferable to the decision maker.

Keywords: Green supply chain, closed loop supply chain, fuzzy multi objective linear programming.



1.1 Literatür Özeti

Temelleri 1960'lı yıllarda atılan tedarik zinciri (TZ), birçok ara aşamadan geçerek 1980'lerde popüleritesini arttırır ve akademik çevreden ilgi görmeye başlar. Yapılan çalışmalar sayı ve çeşitlilik anlamında oldukça zengindir. Bu durum da sınıflandırma yapmayı güçleştirmektedir. Önceleri TZ denildiğinde tek yönlü (ileriye doğru, tedarikçiden müşteriye) tedarik zinciri anlaşılmaktaydı. Daha sonra tersine tedarik zinciri üzerine yapılan çalışmalarla birlikte kapalı devre tedarik zinciri kavramı üzerine yoğunlaşılmıştır. Çevre bilincinin yükselişe geçmesi ile birlikte yeşil tedarik zinciri (YTZ) çalışmaları hız kazanmıştır. Özellikle 2000'li yılların başından itibaren bu alanda yapılan çalışmalar belirgin bir yükseliş eğilimindedir. Yeşil tedarik zinciri yönetimi (YTZY) alanında 1996-2013 yılları arasında en çok yayın yapan yazarlar Sarkis, J. (26 adet) ve Zhu, Q. (17 adet) adlı yazarlardır [1].

Beamon, çok seviyeli (multi-stage) tedarik zinciri modellerinin literatür taraması üzerine odaklanmış ve bu modelleri dört başlık altında sınıflandırmıştır. Bunlar (1) deterministik analitik modeller, (2) stokastik analitik modeller, (3) ekonomik modeller ve (4) simülasyon modelleridir [2].

Min ve Zhou tedarik zinciri problemlerini (1) entegre problem yapılarına, (2) model yapılarına göre olmak üzere iki ayrı sınıfa ayırmaktadırlar. Entegre problem yapılarına göre yapılan sınıflandırmada; literatür, tedarikçi seçimi-stok kontrolü, üretim-dağıtım, yer seçimi-stok kontrol, stok kontrol-taşıma ve yer seçimi-rotalama problemleri başlıkları altında incelenmiştir. Model yapılarına göre ise deterministik, stokastik, hibrit

ve bilgi teknolojisi süreci başlıkları altında incelenmiştir. Min ve Zhou, deterministik modelleri; tek amaçlı ve çok amaçlı modeller, stokastik modelleri; optimal kontrol teori ve dinamik programlama, melez modelleri; stok tabanlı ve simülasyon, bilgi teknolojisi süreçli modelleri ise depo yönetim sistemi, kurumsal kaynak planlanması ve coğrafi bilgi sistemleri alt başlıkları ile sınıflandırmaktadırlar [3].

Ghodsypour ve O'Brien tedarikçi seçimi problemini ele almışlar ve iki temel soruya - (1) hangi tedarikçiyi seçmeliyim?, (2) hangi tedarikçiden ne kadar ürün siparişi vermeliyim? - yanıt aramışlardır. Somut ve soyut faktörlerin rol oynadığı tedarikçi seçimi ve tedarikçilerden sipariş edilecek optimum ürün miktarını belirleme problemleri için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve lineer programlamanın (LP) entegre edildiği matematiksel bir model sunmuşlar ve sayısal bir örnek ile modelin işlerliğini göstermişlerdir [4].

Tsiakis vd., yerleri sabit fabrikaların, yerleri ve sayıları müşteri talepleri doğrultusunda belirlenen depoların ve dağıtım merkezlerinin bulunduğu çok ürünlü çok aşamalı tedarik zinciri için lineer karma tamsayılı bir model vermişlerdir. Modelin amacı depoların ve dağıtım merkezlerinin kurulum, üretim ve taşıma maliyetlerinin minimize edilmesidir [5].

Paksoy, tedarik zinciri yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemini ele almıştır. Malzeme ihtiyaç kısıtı altında stratejik üretim-dağıtım problemi için çok aşamalı karma tamsayılı bir model önermiştir [6].

Paksoy vd., çok aşamalı tedarik zinciri için çok amaçlı karma tamsayılı lineer bir model önermişlerdir. Modelin amaçları sırasıyla, tedarikçiler, depolar ve dağıtım merkezleri arasındaki taşıma maliyetlerinin minimizasyonu, elleçleme ve sipariş maliyetlerinin minimizasyonu ve son olarak gereksiz kullanılan kapasitelerin minimizasyonudur [7].

Kumar vd., toplam maliyetin minimizasyonu, ürün kalitesinin ve ürünün müşteriye zamanında teslim seviyesinin maksimizasyonu amaçları altında, müşteri talepleri, tedarikçi kapasitesi, tedarikçi esnekliği gibi kısıtları bulunan bulanık çok amaçlı tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Modelde çeşitli parametrelerdeki belirsizlik bulanık küme teorisi yaklaşımı ile ele alınmıştır [8].

Amid vd., tedarik zincirinde doğru tedarikçi seçiminin hayati öneme sahip olduğunu belirterek hedefler, kısıtlar ve parametrelerdeki belirsizliklerin karar verme problemini güçleştirdiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada çok amaçlı lineer bir model verilmiş ve modelin çözümü için asimetrik bulanık karar verme tekniği kullanılmıştır [9].

Chen vd., konumları belirli ve sayıları sabit fabrikalar ve müşteri merkezleri ile konumları belirli olmayan dağıtım merkezleri ve depolardan oluşan çok ürünlü, çok periyotlu ve çok aşamalı bir tedarik zinciri için karma tamsayılı lineer bir model önermişlerdir. Bilinmeyen talepler, olasılıkları bilinen ayrık senaryolar ile değerlendirilmiştir. Modelin amaçları; toplam maliyetin minimizasyonu, ürün teslim süresinin minimizasyonu ve karar vericinin kararlarının farklı senaryolar için tutarlılığının maksimizasyonu olarak belirlenmiştir. Dengeli bir çözüm üretmek üzere iki aşamalı bir bulanık karar verme metodu önerilmiş ve metod sayısal bir örnek ile açıklanmıştır [10].

Ahlatcıoğlu Özkök ve Tiryaki, çok ürünlü tedarik zinciri yapısında tedarikçi seçim problemi için çok amaçlı lineer programlama modeline bulanık dengeleyici bir yaklaşım önermişlerdir [11]. Gonce Köçken vd. çok aşamalı çok ürünlü tedarik zincirinde Werners'in dengeleyici bulanık birleştirme operatörünü kullanarak bulanık bir çözüm yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır [12]. Ahlatcıoğlu Özkök vd. ayrıca çok aşamalı çok amaçlı kapalı devre tedarik zincirine bulanık bir yaklaşım öne sürerek tesis yerleşim yerlerini ve şebeke üzerindeki dağıtım miktarlarını belirlemişlerdir [13].

Tedarik zinciri ile ilgili yapılmış olan çalışmaların çoğunda sorgulanan temel bazı sorular vardır. Bunlardan bazıları şunlardır: Kaç tane depo kurulmalı? Kaç tane dağıtım merkezi kurulmalı? Kurulacak tesislerin kapasitesi ne olmalı? Tesisler nereye kurulmalı? Hangi dağıtım merkezi hangi müşteriye hizmet sağlamalı? Hangi fabrika hammaddeleri hangi tedarikçilerden karşılamalı ve alım miktarları ne olmalı? Hangi dağıtım merkezi hangi müşterilere hizmet vermeli? Ürünler taşınırken hangi taşıma biçimi kullanılmalı? Birçok yazar bu sorulara cevap aramıştır. Bunlardan bazıları ReVelle vd. [14], Arntzen vd. [15], Daskin vd. [16], Martel [17], Klose vd. [18], Cordeau vd. [19] ve Amiri [20] dir. Literatürde taşıma biçiminin karara bağlandığı daha az sayıda çalışma vardır. Cordeau vd. [19], çalışmalarında lojistik ağ tasarım problemine yeni bir formülasyon

önermişlerdir. Çalışmada model, kuruluş yeri ve kapasite belirlerken bunun yanında tedarikçi ve taşıma biçimi kararını da vermektedir. Karar verilirken simpleks tabanlı dal ve sınır algoritması ile Benders ayrıştırma yaklaşımı olmak üzere iki yaklaşım kullanılmıştır. Wilhelm vd. [21], NAFTA altında stratejik bir planlama çalışması yapmışlardır. Sundukları karma tamsayılı model, dağıtım merkezi için kuruluş yeri seçimi, teknoloji ve kapasite belirleme, tedarikçi seçimi, taşıma biçiminin planlaması gibi stratejik kararlar içermektedir. Amaç, vergiler sonrasındaki karı maksimize etmektir. Ancak bu iki çalışmada da CO2 salınımı ile ilgili herhangi bir çevresel karar yoktur. Pan vd. [22], stratejik seviyede lojistik yardımlaşmanın (tedarik zincirlerinin birleştirilmesi) CO2 salınımının azaltılması için etkin bir yaklaşım olduğunu savunmuşlar, kara ve demiryolu taşımacılığını karşılaştırarak demiryolu taşımacılığının CO2 salınımını azaltmada önemli bir etken olduğunu göstermişlerdir. Ancak çalışmada ekonomik boyut dikkate alınmamıştır. Paksoy vd. [23], yeşil tedarik zinciri ağı optimizasyonu için çok amaçlı bir model önermişlerdir. Modelde, taşıma biçiminden dolayı ortaya çıkan CO2 salınımına, farklı oranlarda geri dönüştürülebilir hammaddelerden üretilmiş ürünlere, müşterileri geri dönüştürülebilir ürünleri kullanmaya teşvik edecek bazı önlemlere ve CO2 salınımından dolayı ortaya çıkan cezalara yer verilmektedir. Ancak bu modelde, kuruluş yeri seçimine ve tesislerin CO2 salınımına yer verilmemiştir. Bouzembrak vd. [24], çevreyi de dikkate alan çok amaçlı yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı konusunda bir çalışma yapmışlardır. CO2 salınımını üstten sınırlayan, depo ve dağıtım merkezi kurulumuna karar veren, taşıma ve tesis kurulum maliyetlerini ve tesis teknolojilerini dikkate alan, farklı taşıma biçimlerini içeren iki amaçlı bir model oluşturmuşlardır. Ancak modelin kapalı devre olmaması yeşil olma seviyesini düşürmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Tedarik zinciri ağ tasarımı literatürü incelendiğinde tasarımda dikkate alınabilecek olan birçok kriterin var olduğu görülür. Literatür özeti bölümünde de bahsedildiği gibi yapılan çalışmalarda kapsamların genişletilebilmesi mümkündür. Kapsamın genişletilmesi sayesinde elde edilecek model çok daha fazla kriteri göz önüne alacağından gerçek hayat problemlerine uygulanabilirliği artacaktır.

Bu çalışmadaki amacımız, özellikle son yıllarda giderek artan evre duyarlılığını da dikkate alan hangi tedarikçi/tedarikçileri seçeceğine, depo ve dağıtım merkezlerini nereye kurması gerektiğine karar veren, ürünlerin üretilmesi ve taşınması esnasında ortaya çıkacak CO2 salınımını, taşıma ve tesis kurma maliyetlerini minimize eden, bunu yaparken farklı taşıma biçimlerini hesaba katan, bunun yanında kurulması şirketin avantajına olacak tesislere öncelik veren (tesislerin önem yüzdelerini maksimize eden) ve böylece optimal dağılımı veren çok amaçlı çok aşamalı yeşil bir kapalı devre tedarik zinciri modeli oluşturarak literatüre kazandırmaktır.

1.3 Hipotez

Tezin amacı doğrultusunda, oluşturulacak karma tamsayılı lineer matematiksel modelin, Zimmermann'ın minimum operatörü kullanılarak oluşturulan bulanık yaklaşımla amaçların ortak tatminini maksimize edecek şekilde çözüm üretmesi sağlanmışır. Model, verilen parametrelere göre hammadde yada yarı mamln hangi tedarikçiden alınacağını, kurulacak depo ve dağıtım merkezlerini, tesisler arasında taşınacak ürün miktarını, taşınacak ürünün hangi taşıma biçimiyle taşınması gerektiğini, müşteri taleplerini de sağlayarak belirlemiştir.

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

2.1 Tedarik Zinciri Tarihçesi

İnsanlığın varoluşundan bu yana kişiler arası basit alışverişlerin artık uluslararası düzeyde büyük çaptaki karmaşık ticaret ilişkilerine evrildiği görülmektedir. Tarih dönemleri boyunca devletlerin ticaret yolları için verdikleri mücadele artık yerini şirketlerin müşteri memnuniyetlerini ve dolayısıyla pazar paylarını arttırmak için verdikleri mücadeleye bırakmıştır. Önceleri verilen mücadeleler askeri boyutta olduğundan tedarik zinciri gibi birçok kavram askeri kökenlidir. Ordunun gereksinimlerini zamanında ve doğru bir şekilde karşılamak günümüzde yerini müşterilerin gereksinimlerine bırakmıştır. Özellikle sanayi devriminden sonra sanayileşmenin ve kentleşmenin artması, insanların gelirlerinin artmasıyla yaşam biçimlerinin ve dolayısıyla ihtiyaçlarının artması ve çeşitlenmesi, işi fark yaratmak olanların yepyeni bakış açılarıyla konuya eğilmelerini zorunlu kılmıştır.

1. ve 2. Dünya Savaşları'ndan sonra nihayet 1960'lı yıllarda tedarik zincirinin temelleri fiziksel dağıtım aşaması adı altında Bowersox tarafından literatüre kazandırılmıştır [25]. 1970'li yıllarda Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) sisteminin oluşturulması ile kalite, üretim maliyeti ve yeni ürün geliştirme unsurlarının önemi ortaya çıkmıştır. Bu dönemde her bir faaliyetin ayrı ayrı maliyetini düşürmek yerine sistemin genelini göz önüne alarak en iyileme çalışmalarının yapılmasının daha kazançlı olacağı fark edilmiştir [26]. Sistemin maliyetinin bir bütün olarak ele alınmasıyla fiziksel dağıtım yönetimi aşamasına geçilmiştir [27].

Küresel rekabetin daha da artması beraberinde daha optimum olma yolunda çeşitli önlemler alınması gereğini ortaya koymuştur. Nitekim 1980'li yıllarda artık minimum maliyet, maksimum kalitenin yanısıra tasarım ve güvenilirlik gibi ölçütler dikkate alınmaya başlanmıştır. Bu dönem lojistik aşaması [27] veya lojistiğin entegrasyonu [26] olarak adlandırılmıştır. 80'li yılların ikinci yarısında tekstil endüstrisinde müşteri talebini karşılama üzerine yapılan bir araştırmada nihai ürünün müşteriye ulaşması için geçen sürenin büyük bir kısmının depolarda geçtiği anlaşılmış ve bu sorunun çözümü için yapılan çalışmaların sonunda Hızlı Yanıt (Quick Response-QR) yöntemi geliştirilmiş bu da modern anlamda tedarik zincirinin temelleri sayılmıştır. 1990'lı yıllarda Etkin Müşteri Yanıtı (Efficient Consumer Response-ECR) ve ardından gelen Sürekli İkmal Planlaması (Continuous Replenishment Planning-CRP) gelişimdeki önemli basamakları oluşturur. 2000'li yıllara yaklaşıldığında ise yöneticiler, herhangi bir ürünün müşteriye en uygun şartlarda teslim edilmesinde hammadde aşamasından nihai ürünün müşteriye ulaşması aşamasına kadar olan aşağı ve yukarı yöndeki tüm ara kademelerin bütün üzerinde ayrı ayrı öneme sahip olduğunu ve sistemin bir bütün olarak ele alınması gerektiğini fark etmişlerdir [28]. Bu aşama, tedarik zinciri yönetimi aşaması olarak literatürdeki yerini almıştır [26].

2.2 Tedarik Zinciri Kavramı

Tedarik zinciri, ürünlerin ya da hizmetlerin üretim tesliminde yer alan birçok bağımsız birim/bölüm ya da organizasyondan ve bu birim/bölüm ya da organizasyonların tesisleri, fonksiyonları ve faaliyetlerinden oluşan bir yapıdır. Zincir boyunca yapılan eylemlerle ürüne katılan değerden dolayı değer zinciri olarak da ifade edilir [29]. Bir diğer deyişle tedarik zinciri, malzemelerin elde edilmesi, bu malzemelerin son ürünlere dönüştürülmesi ve bu son ürünlerin de müşterilere dağıtım işlevlerini gerçekleştiren tesis ve dağıtım seçeneklerinin ağıdır [30].

2.3 Tedarik Zincirinin Yapısı ve Bileşenleri

Tedarik zincirinin birbirine bağlı organizasyonlardan ve bunların arasındaki bilgi akışlarından meydana geldiği söylenebilir. Bu organizasyonlar, ana hatları ile hammadde ve malzeme tedarikçileri, fabrikalar, depolar, dağıtım merkezleri, lojistik

hizmet sağlayan aracilar ve msterilerdir. Bilgi akışı ise bu organizasyonların kullanabileceği her türlü bilginin tedarik zincirinin bileşenleri arasındaki yolculuğunu temsil etmektedir. Bilgi akışının takibi oldukęa zordur ve sistemin devamlılığı açısından çok önemli bir yere sahiptir. Bilginin etkinliği sistemin performansını doğrudan etkileyen bir unsurdur [31].

Tedarik zinciri iki temel bütünleşik süreci kapsamına alır: (1) retim Planlama ve Stok Kontrol ve (2) Dağıtım ve Lojistik. Üretim planlama ve stok kontrol süreci; uygun hammaddelerin belirlenmesi ve elde edilmesi, imalat sürecinin tasarım ve yönetimi aşamalarını içinde barındırır. Dağıtım ve lojistik sürecinde ise ürünlerin üreticiden tüketicie hangi şartlarda ulatırılacağı ile ilgilenilir. Bu süreçte envanter düzenleme (msterinin istediği malzeme, parça ve ürün stoklarını bir araya getirme), taşıma ve nihai ürünün tesliminin yönetimi yapılmaktadır.

Tedarik zincirinde bulunan işletmeler 5 temel alanda kararlar almak durumundadırlar. Bu alanlar üretim, envanter, konum, taşıma ve bilgidir. Üretim alanında; hangi ürünün, ne kadarının, hangi zamanda retilereği ile ilgili kararlar alınır. Envanter alanı, optimum stok düzeyinin ve yeniden sipariş verme zamanının belirlenmesini içerir. Konum; retim, depo ve dağıtım tesislerinin optimum maliyetli konumlara yerleştirilmesi, yeni tesislerin mi açılması gerektiği yoksa var olanların mı kullanılması gerektiği, tesislerin konumlandırılması ile beraber ürünlerin taşınması sırasında izleyecekleri optimum yolun tespiti ile ilgilenilen alandır. Taşıma, hangi taşıma biçiminin, hangi tesisler arasında, ne zaman kullanılması gerektiği ile ilgili kararları içerir. Bilgi alanında ise toplanması ve paylaşılması gereken bilginin ne olacağı ile ilgili kararlar alınır. Bilginin doğruluğu ve etkin kullanımı ile sistemin sağlıklı bir şekilde işlemesi sağlanır.

Günümüzde tedarik zincirinde yer alan katılımcıları üç sınıfta toplamak mümkündür. Bunlar; (1) tedarikçinin tedarikçisi, (2) zincirdeki işletmelere servis sağlayan işletmeler, dağıtıcılar, toptancılar ve perakendeciler ve (3) msterinin msterisi şeklindedir. Bu 3 sınıfta toplanmış olan katılımcıların açıklaması aşağıda verilmiştir:

Üreticiler (İmalatçılar): Hammadde reticileri ve nihai ürün üreticileri bu gruptadır. Petrol, gaz, maden, vb. retenler, tarım ve hayvancılık alanında üretim yapanlar, yazılımcılar, tasarımcılar vb. Üreticiler olarak kabul edilir.

Dağıtıcılar (Distribütörler): Toptancı olarak da bilinen dağıtıcılar, üreticilerden müşterilerin alabileceğinden çok daha fazla miktarda ürün ya da hizmet olarak bunların müşterilere zaman ve yer avantajı sağlayacak şekilde ulaştırılmasını sağlarlar. Aynı zamanda ellerinde stok tutarak zincirin bütününe talep dalgalanmalarına karşı da korumuş olurlar.

Perakendeciler: Nihai tüketicilerle doğrudan iletişim halinde olan, dağıtıcılara göre daha küçük boyutta stok yapan ve müşterilerine yine küçük ölçekte satışlar yaparak ürün ya da hizmetin nihai tüketiciye sağlıklı bir şekilde ulaşmasını sağlayan tedarik zinciri katılımcısıdır.

Müşteriler: Tedarik zincirinde üretilmiş olan ürünü satın alarak sisteme kazanç sağlayan; talep, beklenti ve şikayetleri en üst düzeyde dikkate alınması gereken, sistemin varlığını doğrudan etkileyen en önemli katılımcıdır.

Hizmet Sağlayıcılar: Genellikle akla ilk gelen servis sağlayıcı işletmeler, taşıma ve depolama işletmeleridir (lojistik sağlayıcılar). Ayrıca banka ve kredi sağlayıcı şirketler gibi finansal hizmet sağlayıcıları, pazar araştırmaları ve reklam hizmetleri, mühendislik hizmetleri, hukuki hizmetler ve bilişim hizmetleri sunan hizmet sağlayıcılar da mevcuttur. Bu işletmeler genellikle konularında uzman kadrolara sahip, hız ve maliyet anlamında tedarik zincirine önemli faydalar sağlayan işletmelerdir.

2.4 Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri ortaya çıktığı zamandan bu yana katılımcı sayısını arttırarak daha da gelişmiştir ve gelişmeye de devam edecektir. Bu gelişme beraberinde katılımcılar arasındaki koordinasyonun ve ilişkilerin daha da zorlaşmasına ve karmaşıklaşmasına neden olmuştur. Ortaya çıkan bu durum zincirin tamamının dikkate alınarak etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesini zorunlu hale getirmiştir. Tedarik zinciri yönetimi (TZY) kavramı, bu oluşan yeni koşullara zincirin uyum sağlayabilmesini ve dolayısıyla da var olabilmesini sağlayacak olan tüm planlamaları içeren kararlar bütünü olarak belirtilebilir.

TZY sadece işletmenin kendi içindeki faaliyetlerinin değil zincirin tüm katılımcılarının faaliyetlerinin dikkate alındığı bütünsel anlamda analizleri ve kararları barındıran çok kapsamlı bir iştir.

Bilindiği gibi bir zincirin gücü en zayıf halkasının gücü ile ölçülür. Eğer bir tedarik zincirinde, uzmanlık alanı anlamında birbirinden bu denli farklı olan faaliyetler yine uzmanlık gerektiren bir şekilde bütünleştirilemezse tedarik zinciri en zayıf olduğu faaliyetten başlayarak sorunlar üretmeye başlayacak ve bu sorunların diğer faaliyetleri doğrudan etkilemesiyle de tedarik zinciri çöküşe geçecektir. Yöneticilerin yönetim faaliyetindeki uzmanlığı sayesinde sorunlar önceden tespit edilebilir, eksik taraflar belirlenip önlemler alınabilir. Tedarik zincirinin koordinasyonundaki uzmanlık neticesinde sistemin toplam maliyetindeki düşüş ve müşteri tatminindeki artış beraberinde rekabet gücünün artmasını getirecek ve sistemin varlığını sürdürebilmesini sağlayacaktır. İyi bir tedarik zinciri yönetimi beraberinde getirdiği mükemmel planlama ile sadece stok ve stok maliyetlerini düşürmekle kalmaz bunun yanı sıra zaman ve enerji kayıplarını da azaltır. Makro ölçekte düşünüldüğünde ekonomik dalgalanmaların azaltılması yönünde katkılarının olduğu bile söylenebilir.

Tedarik zinciri yönetiminin ilgilendiği konular arasında en dikkat çekici olanlarından birkaçı tedarik zinciri tasarımı ve lojistik yönetimidir. Tedarik zinciri tasarımı, etkin bir bütünleşmeyi amaçlayan bir süreçtir. Etkin bütünleşme, zinciri oluşturan her bir parça arasındaki mükemmel uyumu simgeler. Bunun yanında TZ'nin pazardaki ve ekonomideki değişimlere uyum sağlaması da önemlidir. Daha da önemlisi bu uyum sürecinin uzun olmaması yani TZ'nin çevik olmasıdır. Çeviklik bir zincirin en önemli özelliğidir ve “rakiplerden daima bir adım önde olma” felsefesine dayanır. Lojistik yönetimi, TZY'nin daha çok taşıma ile ilgili kısmıyla ilgilenir. Tersine lojistik faaliyetlerini bünyesinde barındıran kapalı devre tedarik zinciri ve yeşil tedarik zinciri içerisindeki lojistik faaliyetleri lojistik yönetiminin son yıllarda üzerinde en çok durduğu alanlar arasındadır.

Bir tedarik zincirinin etkin bir şekilde yönetilmesi için göz önünde bulundurulması gereken 5 farklı süreç vardır. Bunlar planlama, uygulama, bilgi teknolojisi, örgütler arası yapı ve ölçümdür. (1) Planlama süreci, zincirin omurgasının oluşturulduğu süreçtir.

İçerisinde toplam kalite yönetimini, sistematik düşünmeyi, maliyet analizini ve yeniden yapılandırmayı barındırır. Toplam kalite yönetimi, zincirin bütünlüğünün sağlanması ile ilgilidir. Sistematik düşünce sayesinde alınan kararların zincir üzerindeki etkisinin kontrolü sağlanabilmektedir. Maliyet analizi, TZ içerisindeki satın alma, üretim, taşıma vb. maliyetlerin etkinliğinin incelenmesini kapsar. Yeniden yapılandırma, sadece örgüt içi değil aynı zamanda örgütler arası faaliyetlerin de yeniden yapılandırılması ile ilgilendirilmesidir. (2) Uygulama süreci, daha çok sistemin uygulanmasından sonra ortaya çıkan sorunlar üzerine odaklanılan bir süreç olarak tanımlanmıştır. (3) Bilgi teknolojisi sürecinde, TZ içerisindeki bilginin nasıl toplanacağı, nasıl iletileceği ve nasıl analiz edileceği ile ilgili konulara odaklanılır. (4) Örgütsel yapı sürecinde, zincirin paydaşları arasındaki işbirliği ve ortaklıklar üzerinde durulur. (5) Ölçüm süreci ise zincirin işlevsel tüm süreçlerinin uygun bir şekilde ölçülmesi ile ilgilidir. Ölçümün uygun olmayan bir şekilde yapılması elde edilecek verilerin yanıltıcı olmasına sebep olacağından bu süreç verilerin sağlıklı olması ve dolayısıyla alınacak kararların etkin olması açısından önemlidir.

2.5 Tersine Lojistik ve Kapalı Devre Tedarik Zinciri

Hammaddenin tedarikçinin tedarikçisinden itibaren başlayan ve tüm ara aşamalardan geçerek müşterinin müşterisine (nihai müşteriye) nihai ürün olarak ulaşması süreci geleneksel tedarik zinciri süreci olarak ifade edilebilir. Bu süreç tek yönlüdür (tedarikçiden müşteriye) ve müşteriye ulaştırılmış ürünün sosyal, çevresel ve ekonomik anlamda geri kazanılması ve yeniden değerlendirilmesi aşamalarını dikkate almaz. Ancak son yıllarda çevreye olan duyarlılığın artması, sosyal sorumluluk bilincinin yükselmesi, ülkelerin çevre ile ilgili yasal tedbirler alması ve bunları denetlemesi, kaynakların tükenebileceği düşüncesiyle daha az kaynak tüketme bilinci gibi etkenlerin de eklenmesiyle tersine lojistik kavramı ortaya çıkmıştır. Geleneksel anlamda bilinen ileri yönlü lojistik faaliyetlerine tersine lojistik faaliyetlerinin de eklenmesiyle kapalı devre tedarik zinciri olarak adlandırılan daha gelişmiş bir TZ yapısı oluşturulmuş olur.

Bir ürünün tersine lojistik sürecine girmesinin birçok nedeni olabilir. Bunlar, üretim fazlası olması, kalite kontrolde başarısız olması, ürünün bir hasar sonucu iade edilmiş olması, ürünün kullanım süresinin dolması, tamir amaçlı veya yeniden değerlendirme

amaçlı geri dönüşler, yasal düzenlemelere bağlı geri dönüşler olarak sınıflandırılabilir. Geri dönen bu ürünler tersine lojistik sürecinde farklı aşamalardan geçerek ya müşteriye gönderilmek üzere tekrar ileri yönlü lojistik faaliyetine katılır ya da hurda olarak tedarik zinciri sürecinin dışına çıkarılır. Bu süreçte ürünün geçebileceği aşamalar toplama, sınıflandırma, tamir etme ve neredeyse yeni hale getirme, sökme ve ayrıştırma. Ürünler önce müşterilerden toplanır ve toplama merkezlerinde sınıflandırılırlar. Sadece tamir edilerek ya da parça değişimi ile tekrar pazara sunulabilecek ürünler dağıtım merkezleri ve perakendeciler aracılığı ile müşterilere ulaştırılarak değerlendirilirler. Uzmanların sökülerek değerlendirilmesini uygun bulduğu ürünler ise sökme aşamasından geçerek üretim merkezlerinde tekrar üretim aşamasına sokulur. Sadece hammadde aşamasında değerlendirilebilecek ürünler ise ayrıştırma aşamasından geçerek hammaddelerine ayrıştırılır ve bu hammaddeler zincire geri kazandırılırlar ve böylece hammaddesine kadar ayrıştırılmış ürünler ile geri dönüşüm tamamlanmış olur. Eğer ürünün parçalarının herhangi bir şekilde değerlendirilme şansı yoksa o zaman bu parçalar gömülür ya da enerji elde etmek amacıyla yakılır. Bu işlemler elbette ki zincire fazladan maliyet bindirecektir. Ancak getirileri göz önüne alındığında bu maliyetin katlanılabilir bir maliyet olacağı açıktır.

Görüldüğü gibi tersine lojistik daha çok ürünlerin geri kazanımı üzerine yoğunlaşmış bir kavramdır. Çevreye olan duyarlılığı sınırlıdır. Ekonomik önceliğin bir kenara bırakılarak çevresel etkenlerin de konunun merkezine yerleştirildiği yeni nesil tedarik zinciri yapısı yeşil tedarik zinciri (YTZ) olarak anılmakta ve bu felsefe yardımıyla önümüzdeki yıllarda karşılaşılabilecek olası birçok sorunun önüne geçileceği ve çözüme kavuşturulacağı düşünülmektedir.

2.6 Yeşil Tedarik Zinciri

19. yüzyılda Avrupa’da Sanayi Devrimi gerçekleşmiş ve üretimde yeni makineler kullanılmaya başlanmıştı. Özellikle buhar gücü ile çalışan bu makineler sayesinde üretim hızlanmış ve kolaylaşmış ancak bu makinelerin çalışmak için genellikle kömür kullanmaları sonucunda çevresel anlamda ortaya kötü sonuçlar çıkmaya başlamıştı. Şehirleşme oranının artması, şehir nüfusunun artması, tüketim toplumunun doğması beraberinde daha çok tüketimi ve bu da daha çok üretimi tetiklemiştir. Bunun bir

sonucu olarak da üretimde kullanılan kömür, akaryakıt ve elektrik enerjisi ihtiyacını ve kullanımını arttırmıştır. Çevresel sorunların çıkış noktasının sanayi devrimine bağlanmasının nedeni budur. 1960'lı yıllara kadar fabrikaların ve taşıtların havaya yaydığı zehirli gazların ve atıkların doğaya ve dolaylı olarak da biz insanlara zarar veriyor olması çok fazla dikkate alınmamıştı. Ancak son yıllarda bu gazların atmosferde değişikliklere neden olması ve bunun sonucunda küresel ısınmanın meydana gelmesi gelecek nesiller adına bir duyarlılık oluşmasına neden olmuştur.

1970'li yıllarda benimsenmiş olan kirliliği azaltma anlayışı, işletmelere olan faydasının düşük olması nedeniyle 1980'li yılların başında yerini çevre yönetimi yaklaşımına bırakmıştır. Bu yaklaşımda faaliyetlerin yeniden yapılandırılması söz konusudur. Çevreye olan duyarlılık arttırılmaya ve enerji performansları iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bilimdeki yüksek ivmelenme bu yaklaşımların da yerlerini sürekli olarak daha iyilerine bırakmasına neden olmuştur. 1980'li yılların ortalarından itibaren ise endüstriyel ekoloji yaklaşımı ön plana çıkmıştır. Frosch ve Gallopoulos [32] tarafından gündeme getirilmiş olan endüstriyel ekoloji, doğadaki birbirlerinin atıklarını kullanarak hayatta kalma döngüsünden esinlenmiş, benzeri bir döngünün endüstride de uygulanabileceği düşünülmüştür. Bu sayede atıklar girdi olarak tekrar kullanılarak atıkların çevreye en az ölçüde zarar vermesi sağlanacaktır.

2000'li yıllarda endüstriyel ekolojinin şirketler arasında işbirliği içinde uygulanmasına yönelik bir strateji olarak eko-endüstriyel park ortaya konmuştur [33]. Eko-endüstriyel park, çevre ve kaynak yönetiminde işbirliği yaparak, çevresel ve ekonomik performansını arttırmak isteyen, üretim ve hizmet sektörlerindeki şirketlerin oluşturduğu topluluk olarak tanımlanmıştır [34]. Son yıllarda farklı sektörlerde üretim yapan bir çok firma, çevreye duyarlı olma yaklaşımı ile ürün hayat eğrisinin her aşamasında sadece ekonomik anlamda değil ekolojik anlamda da değer üretme yoluna gitmeyi benimsemişlerdir [35]. Firmaları bunu yapmaya teşvik eden yada zorlayan bazı etkenlerin var olduğu bilinmektedir [36]. Bu etkenlerden özellikle dört temel olanı ön plana çıkarılmıştır. En önemli etken devletin gücü ve ona bağlı olarak çıkarılan yasalardır. Bir diğer etken, firmaların çevresel anlamda yanlış yönetimleri sonucunda yaşadıkları olumsuz finansal ve yasal sonuçlardır. Uzun vadede düşünüldüğünde çevresel yönetimin maliyet minimizasyonu, karlılık ve verimlilik olarak geri

döndüğünün ortaya çıkması da bir başka etken olarak sayılabilir [37]. Son olarak, tüketicilerin bilinçlenmesinin bir sonucu olarak talep edilen ürün ya da hizmetlerin çevresel duyarlılık göz önüne alınarak üretilmesini ve sunulmasını zorunlu kılmıştır. Bu temel sebeplerin etkisiyle artık tüm işletmeler, ürünlerinin geçecekleri tüm aşamalarda çevre bilincini en üst düzeyde dikkate almak zorunda oldukları gerçeği ile karşı karşıyadırlar [38], [39].

Tedarik zinciri yönetimi kavramına çevre duyarlılığının yani “yeşil” sıfatının eklenmesi, zincirin her aşamasının bu duyarlılığı içerecek şekilde yeniden organize edilmesini gündeme getirmiştir [40]. Yeşil tedarik zincirinin işletmelere birçok kazanımlarının olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [40], [41], [42], [43]. Alınacak kararlardaki olumsuzlukları azalttığı, geri dönüşüme olanak sağladığı ve kaynak kullanımını etkinleştirdiği bilinmektedir [44].

Yeşil tedarik zinciri yönetimi, yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil dağıtım ve tersine lojistik süreçlerinin bir bütünü olarak tanımlanabilir [43], [45], [46], [47]. Yeşil sıfatının eklenmesi ile elde edilmek istenen temel amaç, tedarik zinciri sürecini, CO₂ ve zehirli gazlar, katı atıklar gibi her türlü atıkların çevreye olan olumsuz etkilerinden ve bunların ortaya çıkaracağı maliyetlerden arındırmaktır [48]. Önceleri sanıldığığının aksine yeşil olma özelliğinin maliyet azaltıcı olması da dikkat çekici olan bir diğer noktadır. Yeşil stratejilerin bir sonucu olarak hizmet kalitesinde ve buna bağlı olarak müşteri memnuniyetinde bir artış göze çarpmaktadır. Ürünlerin geri dönüştürülebilir maddelerden yapılması, geri dönüştürülmüş maddeleri kullanarak üretim yapmak kaynak israfını önlemektedir. Dağıtım aşamasında taşıma türünün ve taşıyan aracın kullanacağı yakıtın belirlenmesi, taşıma sıklığı ve müşteriye olan yakınlık çevresel anlamda dikkate alınan ölçütlerdir [42]. Depoların ve dağıtım merkezlerinin üretim tesisleri ve pazara olan yakınlığı, açılacak depo ve dağıtım merkezi sayısı taşıma ve depolama esnasında oluşacak salınımı doğrudan etkilemektedir.

2.6.1 Taşıma Biçiminin Etkisi

Firmaların piyasada rekabet gücünü arttırabilmeleri için, ürünün toplam maliyetinin önemli bir kısmını oluşturan lojistik maliyetlerini azaltmaları gerekmektedir. Taşıma, lojistiğin en önemli bileşenidir. Toplam lojistik maliyeti içinde taşıma, %40'lara varan

önemli bir paya sahip bulunmaktadır [49], [50]. Taşımacılıkta lojistik anlayışının gelişmesi, çeşitli taşımacılık alt sistemlerinden en verimli şekilde yararlanılması olanağını vermektedir. Bir taşımacılık sistemi, farklı özelliklere sahip karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu ve boru hattı gibi çeşitli alt taşımacılık sistemlerinden oluşur ve her biri ayrı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Her bir taşımacılık alt sisteminin ekonomik koşullarda taşıdığı yük tipleri, taşıma maliyetleri, taşıma şekilleri, taşıma mesafesi ve çevresel özellikleri farklıdır. Bu farklılıklar, her bir alt taşımacılık sisteminin seçimi için karar değişkenlerini oluşturmaktadır [50].

Yük taşımacılığında; maliyet, sürat, güvenlik her ulaşım türünde aranması gereken özelliklerdir. Bunların yanında çevreyi en az kirletmesi, ülkede mevcut enerji kaynaklarını kullanması ve bu sırada ton-km başına tükettiği enerjinin az olması, ilk tesis ve bakım-onarım kolaylığı ulaştırma türlerinin tercihinde göz önünde tutulması gereken diğer unsurlardır. Dünyada yolcu ve yük taşınmasında ulaşım türlerinden yalnız birinden yararlanan ülke yoktur. Hemen her ülkede demiryolu, karayolu, havayolu ulaştırmasının yanında ülkenin coğrafi konumuna göre deniz yolu ulaştırması ile sıvı yük taşımacılığında boru hatlarından yararlanılmaktadır. Tüm dünyada son yıllarda görülen genel yaklaşım, taşımacılığı tek bir bütün olarak ele alıp, aynı taşımacılıkta her ulaşım alt sisteminden en etkin bir şekilde yararlanma yoluna gitmektir, bu sayede taşıma maliyetlerinin ve toplam taşıma süresinin azaltılmasından çevreye verilen zararın azaltılmasına kadar birçok konuda avantaj sağlanmaktadır [51].

Taşımacılık sistemleri tek tek incelendiğinde denizyolu ve demiryolu taşımalarının birim taşıma maliyetlerinin karayolu taşımalarına göre oldukça avantajlı olduğu görülmektedir. Karayolu taşımalarındaki maliyet ancak taşıma mesafesinin kısaldığı durumlarda ekonomik olabilir. Bu mesafe şartlara göre değişmekle beraber 100 km ve altı olarak söylenebilir [51].

Taşıma biçiminin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus, taşıma sırasında çevreye verilen zararın en düşük seviyede tutulmasıdır. Çevre kirliliği konusunda önemli bir sorun sera etkisi oluşturan gaz salınımlarının azaltılmasıdır. Özellikle CO₂ gazı salınımı küresel ısınma sorununun en büyük nedenidir. Bu konuda

yük ile ilgili ton-km rakamları esas alındığı zaman denizyolu ve demiryolu taşımalarının gaz salınımlarının oranı yönünden daha düşük kalmaktadır [51].



BULANIK MATEMATİK

3.1 Bulanık Mantık

Klasik matematiksel yöntemlerde, verilerin tam olması gereksiniminden dolayı bu yöntemlerle gerçek hayattaki sistemleri modellemek ve kontrol etmek oldukça zordur. 1965 yılında L.A. Zadeh'in "Bulanık Kümeler" adlı makalesi ile temeli atılan Bulanık mantık, matematiğin gerçek dünyayı yorumlamasında daha geniş bir uyarılma alanı oluşturmak suretiyle bu zorluğu ortadan kaldırmış ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlamıştır. Örneğin bir kişi için "1.70 boyundadır" tanımlaması yerine, sadece "orta boyludur" tanımlamasının yapılması birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi gerçekleştirilerek matematiksel bir tanımlama yerine, dilsel (linguistik) değişken adı verilen daha kolay anlaşılabilen bir değişken ile niteliksel bir tanımlama yapılabilir [52].

Bulanık mantık, mantık kurallarının esnek bir şekilde uygulanması olarak da tanımlanabilir. Klasik mantıkta sadece "doğru" ve "yanlış" ya da "1" ve "0" değerleri vardır. Bulanık mantıkta ise, ikisinin arasında değerler alabilen önermeler ve ifadelerle izin verilir. Gerçek hayatta "kesinlikle doğru" veya "kesinlikle yanlış" değerlendirmeleri yerine genelde "kısmen doğru" veya "belli bir olasılıkla" doğru şeklinde değerlendirmeler yapıldığı göz önüne alınırsa bulanık mantığın işlevi daha iyi fark edilmiş olacaktır.

3.2 Bulanık Kümeler

Bulanık kümeler teorisinin amacı, belirsizlik ifade eden, tanımlanması güç kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmektir. Belirlilik getirme yaklaşımı, iki değerli kümeler teorisinin çok değerli teoriye dönüşümünden oluşur [53].

Klasik mantıkta küme, ayırt edilebilen belirli nesnelerin topluluğu olarak ifade edilir. Sözü edilen kümeye hangi elemanların ait olup, olmadığı kesin olarak bellidir. Böyle kümelere kesin (krisp) kümeler denir.

Bulanık küme teorisinde ise elemanlar aldıkları üyelik dereceleriyle kümeye ait olurlar. Başka bir ifadeyle bir eleman için kesinlikle kümeye aittir ya da ait değildir ifadeleri yerine x_i elemanı $\mu_{\tilde{A}}(x_i)$ üyelik derecesiyle kümeye aittir ifadesi kullanılır.

Tanım 3.1 Bulanık Küme

X bir evrensel küme olsun. X kümesinde bulanık bir $\tilde{A}$ alt kümesi,

$$\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$$

üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. $\mu_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonu her bir $x \in X$ 'i $[0,1]$ aralığında bir $\mu_{\tilde{A}}(x)$ reel sayısına atayan fonksiyondur. x noktasındaki $\mu_{\tilde{A}}(x)$ değeri ise x ' in $\tilde{A}$ kümesindeki üyelik derecesini belirtir.

Bulanık A kümesi x elemanı ve bunun üyelik derecesi $\mu_A(x)$ 'ten oluşan sıralı ikililer ile

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (3.1)$$

şeklinde gösterilebilir.

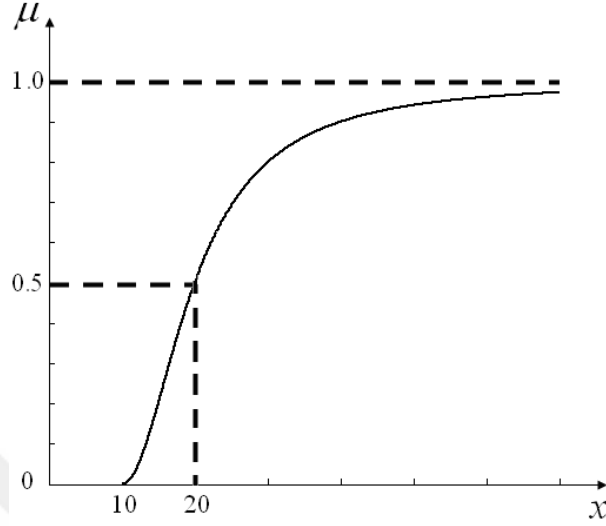
$\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu sadece 0 ve 1 değerlerini içeriyorsa, A kümesi bulanık bir küme değil, kesin bir kümedir.

Örnek 3.1

$R^1 = (-\infty, \infty)$ reel ekseninde, 10'dan büyük olan reel sayılar kümesi kesin bir küme, fakat "10'dan çok büyük olan reel sayılar" kümesi bulanık bir kümedir. Ve aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 10 \\ 1 - (1 + (0.1(x - 10))^2)^{-1} & , \quad x > 10 \end{cases}$$

Üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 3.1 ile gösterilmiştir [54].



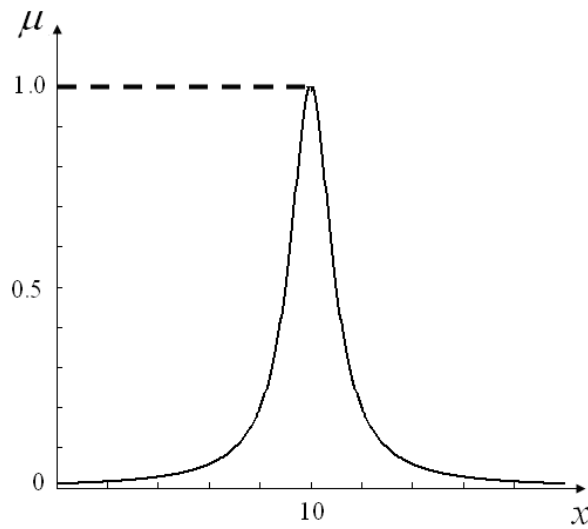
Şekil 3. 1 Örnek 3.1'e ait üyelik fonksiyonu.

Örnek 3.2

$\tilde{B}$ = “ 10’a yakın reel sayılar ” bulanık kümesi

$$\tilde{B} = \{ (x, \mu_{\tilde{B}}(x)) \mid \mu_{\tilde{B}}(x) = (1 + (x - 10)^2)^{-1} \}$$

şeklinde belirtilebilir. İlgili üyelik fonksiyonu Şekil 3.2 ile gösterilmiştir [55].



Şekil 3. 2 Örnek 3.2'e ait üyelik fonksiyonu.

Tanım 3.2 Destek Kümesi

Bir bulanık A kümesinin desteği, $S(A)$; X kümesinde üyelik derecesi pozitif olan noktaların oluşturduğu kesin kümedir. Başka bir ifadeyle A kümesinin desteği,

$$S(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanır.

Tanım 3.3 Alfa Kesen

Bulanık A kümesinde üyelik derecesi bir $\alpha \in [0,1]$ sayısına eşit veya daha büyük olan $x \in X$ elemanlarının oluşturduğu kesin kümeye bulanık A kümesinin α -keseni veya α -seviyesi denir.

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (3.3)$$

Örnek 3.3

$D = \{(3,0.4), (4,0.8), (5,1), (6,0.8), (7,0.4)\}$ bulanık kümesinin bazı α -kesenleri şu şekildedir.

$$D_{0.3} = \{3,4,5,6,7\}$$

$$D_{0.7} = \{4,5,6\}$$

$$D_1 = \{5\}.$$

Tanım 3.4 Konvekslik

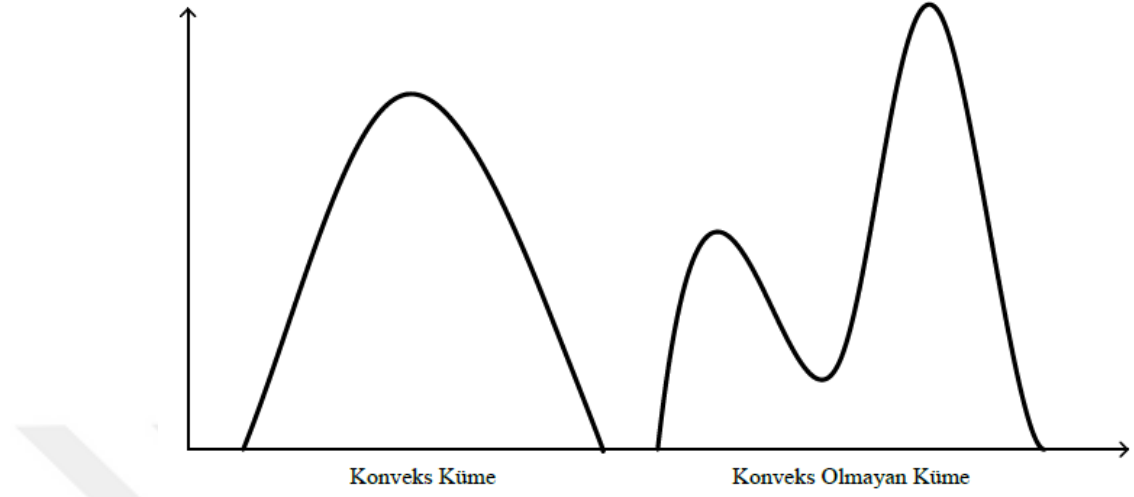
X kümesindeki bulanık bir A kümesinin konveks olması için gerek ve yeter şart onun bütün α -kesenlerinin konveks olmasıdır. Konveks bulanık kümenin alternatif ve daha açık bir tanımı da şu şekilde verilebilir.

Bulanık bir A kümesinin konveks olması için gerek ve yeter şart $\forall x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1]$ için

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \quad (3.4)$$

eşitsizliğinin sağlanmasıdır.

Şekil 3.3’de konveks ve konveks olmayan bir küme gösterilmektedir.



Şekil 3. 3 Konveks küme ve konveks olmayan bulanık küme.

Tanım 3.5 Yükseklik

$\mu_A(x)$ üyelik derecesinin en küçük üst sınırına bulanık A kümesinin yüksekliği denir.

$hgt(A)$ ile gösterilir.

$$hgt(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x) \quad (3.5)$$

Tanım 3.6 Normallik

$\mu_A(x)=1$ eşitliğini sağlayan en az bir $x \in X$ elemanı mevcutsa bulanık A kümesi normaldir denir. Herhangi bir A bulanık kümesi normal değilse, ilgili kümenin üyelik değeri $\mu_A(x)$, kümenin yüksekliğine bölünerek normalize edilebilir.

Tanım 3.6 Kardinalite

Sonlu bir bulanık A kümesinin kardinalitesi $|A|$,

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x) \quad (3.6)$$

olarak tanımlanır.

$$\|A\| = \frac{|A|}{|X|} \quad (3.7)$$

ise A bulanık kümesinin göreceli kardinelitesi olarak tanımlanır.

Örnek 3.3.'te verilen $D = \{(3,0.4), (4,0.8), (5,1), (6,0.8), (7,0.4)\}$ bulanık kümesinin kardinalitesi ve göreceli kardinalitesi sırasıyla

$$|D| = 0.4 + 0.8 + 1 + 0.8 + 0.4 \text{ ve } \|D\| = \frac{3.4}{9} = 0.38$$

olarak hesaplanır.

Eğer X evrenseli sonlu değilse A 'nın kardinalitesi

$$|A| = \int_X \mu_A(x) dx \quad (3.8)$$

ile tanımlanır ve bu durumda kardinalite daima var olmayabilir [55].

3.2.1 Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

Bir bulanık kümenin en önemli belirteci üyelik fonksiyonudur. Bu sebeple temel küme teorisi işlemleri bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları aracılığıyla tanımlanır. Zadeh tarafından önerilen temel küme teorisi işlemleri şu şekildedir [54].

A ve B , X evrenselinde tanımlı iki bulanık küme olsun.

Tanım 3.7 Eşitlik

A ve B kümelerinin eşit olması için gerek ve yeter şart X üzerindeki tüm noktalar için bu bulanık kümelerin üyelik derecelerinin eşit olmasıdır.

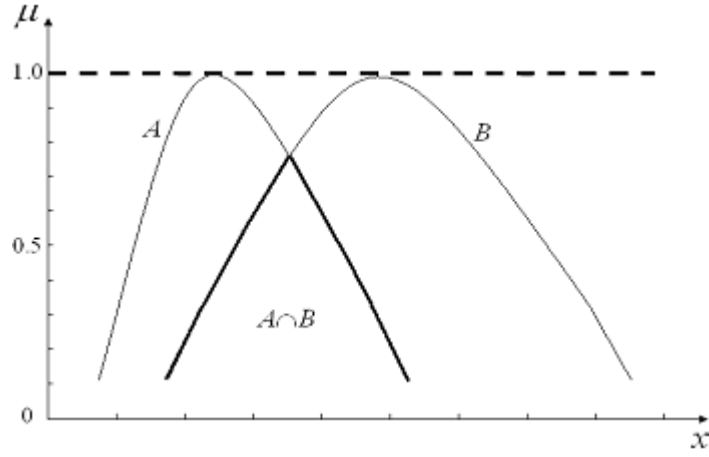
$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in X \quad (3.9)$$

Tanım 3.8 Kesişme

A ve B bulanık kümelerinin kesişimi $A \cap B$ ile gösterilir ve

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in X \quad (3.10)$$

üyelik fonksiyonu ile tanımlanır ve Şekil 3.4'deki gibi gösterilir.



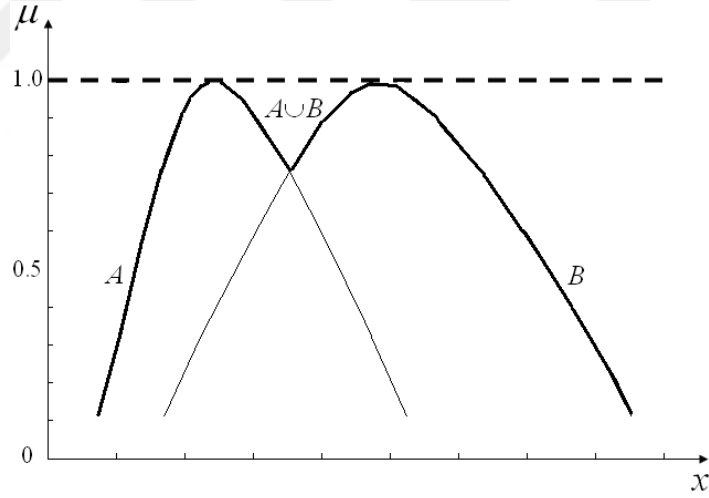
Şekil 3. 4 İki bulanık kümenin kesişimi.

Tanım 3.9 Birleşme

A ve B bulanık kümelerinin birleşimi $A \cup B$ ile gösterilir ve

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in X \quad (3.11)$$

üyelik fonksiyonu ile tanımlanır ve Şekil 3.5'deki gibi gösterilir.



Şekil 3. 5 İki bulanık kümenin birleşimi.

Tanım 3.10 Tümlleyen

A bulanık kümesinin tümlayeni $\bar{A}$ ile gösterilir ve,

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in X \quad (3.12)$$

üyelik fonksiyonu ile tanımlanır.

Örnek 3.3.'te verilen $X = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ evrenselinde tanımlı olan $D = \{(3, 0.4), (4, 0.8), (5, 1), (6, 0.8), (7, 0.4)\}$ bulanık kümesinin tümlayeni

$$\bar{D} = \{(1,1.0), (2,1.0), (3,0.6), (4,0.2), (6,0.2), (7,0.6), (8,1.0), (9,1.0)\} \text{ 'dir.}$$

3.3 Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar, 'Yaklaşık 4', 'aşağı yukarı 8', '2'den büyük ve yaklaşık' gibi ifadelerin belirsizliğinin bulanık küme teorisinde ele alınması amacıyla kullanılırlar ve üyelik fonksiyonları ile tanımlanırlar [56].

Tanım 3.11 Bulanık Sayı

Konveks ve normal olan bulanık kümeye bulanık sayı denir.

Bir M bulanık sayısı, tüm negatif (pozitif) x değerleri için sıfır üyelik değerini alıyorsa bu bulanık sayı pozitif (negatif) denir.

$$M \text{ bulanık sayısı pozitif} \Leftrightarrow \forall x < 0 \text{ için } \mu_M(x) = 0 \quad (3.13)$$

$$M \text{ bulanık sayısı negatif} \Leftrightarrow \forall x > 0 \text{ için } \mu_M(x) = 0 \quad (3.14)$$

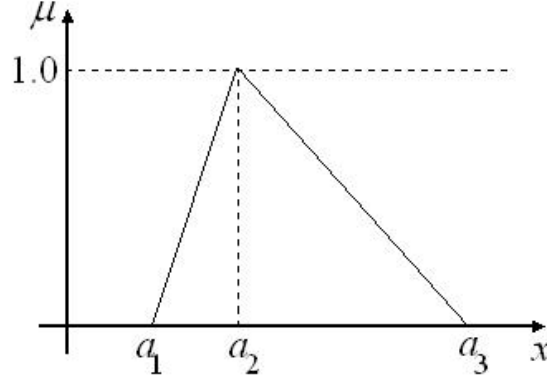
Literatürde en sık kullanılan bulanık sayı çeşitleri, üçgensel bulanık sayı ve yamuksal bulanık sayıdır.

3.3.1 Üçgensel Bulanık Sayı

$a_1, a_2, a_3 \in R$ ve $a_1 < a_2 < a_3$ olmak üzere (a_1, a_2, a_3) sıralı üçlüsü ile verilen ve

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & , a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & , x > a_3 \end{cases} \quad (3.15)$$

üyelik fonksiyonu ile tanımlanan $A = (a_1, a_2, a_3)$ bulanık sayısına üçgensel bulanık sayı denir. Üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonu Şekil 3.6 ile gösterilmiştir.



Şekil 3. 6 Üçgensel bulanık sayı.

İki üçgensel bulanık sayı $A=(a_1, a_2, a_3)$ ve $B=(b_1, b_2, b_3)$ arasında tanımlanan toplama, çıkarma ve simetri işlemleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} A(+)B &= (a_1, a_2, a_3) + (b_1, b_2, b_3) \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} A(-)B &= (a_1, a_2, a_3) - (b_1, b_2, b_3) \\ &= (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$-(A) = (-a_3, -a_2, -a_1) \quad (3.18)$$

Görüldüğü gibi iki üçgensel bulanık sayının toplanması veya çıkarılması sonucu yine bir üçgensel bulanık sayı elde edilir.

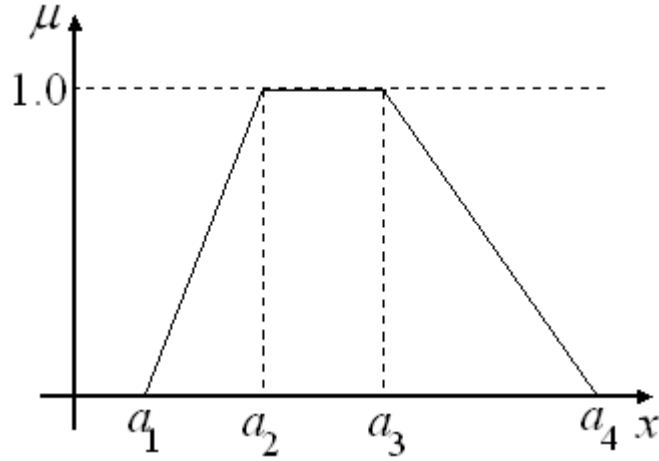
3.3.2 Yamuksal Bulanık Sayı

$a_1, a_2, a_3, a_4 \in R$ ve $a_1 < a_2 < a_3 < a_4$ olmak üzere (a_1, a_2, a_3, a_4) sıralı dördlüsü ile verilen ve

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & , a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & , a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & , x > a_4 \end{cases} \quad (3.19)$$

üyelik fonksiyonu ile tanımlanan $A=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ bulanık sayısına yamuksal bulanık

sayı denir. Yamuksal bulanık sayının üyelik fonksiyonu Şekil 3.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 3. 7 Yamuksal bulanık sayı.

İki yamuksal bulanık sayı $A=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $B=(b_1, b_2, b_3, b_4)$ arasında tanımlanan toplama, çıkarma ve simetri işlemleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} A(+)B &= (a_1, a_2, a_3, a_4) + (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} A(-)B &= (a_1, a_2, a_3, a_4) - (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_4) \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$-(A) = (-a_4, -a_3, -a_2, -a_1) \quad (3.22)$$

Görüldüğü gibi iki yamuksal bulanık sayının toplanması veya çıkarılması sonucu yine bir yamuksal bulanık sayı elde edilir.

3.4 Bulanık Karar Verme

“Karar” terimi, bir avukat, bir iş adamı, bir psikolog veya bir istatistikçinin bu terimi kullanmasına bağlı olarak çok farklı anlamalara sahiptir. Bir durumda, yasal bir yapıyı, bir diğerinde matematiksel bir modeli, davranışsal bir eylemi betimleyebilir. Karar’ın bazı anlamları yapısal bir karaktere sahipken bazıları gerçek karar vermeyi tanımlayabilir.

Klasik anlamda karar verme teorisinde bir karar; bir karar alternatifleri kümesi (karar uzayı), durum uzayı kümesi, her ikiliye kararı ve sonucu atayan bir bağıntı ve nihai

olarak sonuçları arzu edilebilirliklerine göre sıralayan bir fayda fonksiyonu ile karakterize edilebilir. Belirlilik altında karar verirken Karar Verici (KV) hangi sonucu alacağını bilir ve geçerli durum uzayında en yüksek faydalı karar alternatifini seçer. Risk altında karar verirken ise hangi durumun gerçekleşeceği tam olarak bilinmez, sadece durumların olasılık fonksiyonları bilinir. Ve böylece karar vermek daha güç bir hale gelir [55].

Matematiksel anlamda “karar verme”, mevcut tüm alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun, mümkün bir veya birkaçını seçme sürecidir. İnsanın yaşamına başlaması ile çıkan bu olgu, bütün ömrü boyunca çok çeşitli şekillerde ve ortamlarda devam eder. Aynı şekilde aileler, şirketler, endüstri, hükümet ve benzeri kurumlar çeşitli ortamlarda zincirleme karar verme olgusunu daima yaşarlar [57].

Gerçek dünya uygulamalarındaki birçok karar uzmanların sezgisel yargısı ile alınmakta ve dilsel olarak ifade edilmektedir. Ve ayrıca bu kararlar, oldukça karmaşık durumları ifade etmeleri sebebiyle de matematiksel olarak tam anlamıyla ifade edilememektedir. Böylece karar verme süreci bulanık hale gelmektedir.

Bellman ve Zadeh 1970’de bulanıklık altında karar verme işlemi için; bulanık hedef (G), bulanık kısıt (C) ve bulanık karar (D) temel kavramlarını tanıtmışlar ve bunların uygulamaları ile ilgili birçok çalışma yapmışlardır.

Alternatifler uzayı X kümesi üzerinde bir bulanık hedef;

$$\mu_G : X \rightarrow [0,1]$$

üyelik fonksiyonu ile; bir bulanık kısıt ise

$$\mu_C : X \rightarrow [0,1]$$

üyelik fonksiyonu ile tanımlanan bir bulanık küme olsun.

Bellman ve Zadeh’in bulanık karar tanımında, bulanık hedef ile bulanık kısıtın aynı anda sağlanması istenir. Böylece Bellman ve Zadeh bulanık karar D ’yi; bulanık hedef G ve bulanık kısıt C ’nin kesişimi ile tanımlamaktadır. Daha açık bir şekilde X üzerinde tanımlı bir bulanık karar kümesi D ;

$$D = G \cap C \tag{3.23}$$

ile tanımlanır ve

$$\mu_D(x) = \min(\mu_G(x), \mu_C(x)) \quad (3.24)$$

üyelik fonksiyonu ile belirtilir. Bu tanım yardımıyla maksimize edici karar

$$\max_{x \in X} \mu_D(x) = \max_{x \in X} \min(\mu_G(x), \mu_C(x)) \quad (3.25)$$

şeklinde tanımlanır.

Örnek 3.4:

“x, 10’den yeteri kadar büyük olmalı” amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu

$$\mu_G(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq 10 \\ (1 + (x - 10)^{-2})^{-1} & , x > 10 \end{cases}$$

“x, 11 civarında olmalı” kısıtının üyelik fonksiyonu ise

$$\mu_C(x) = (1 + (x - 11)^4)^{-1}$$

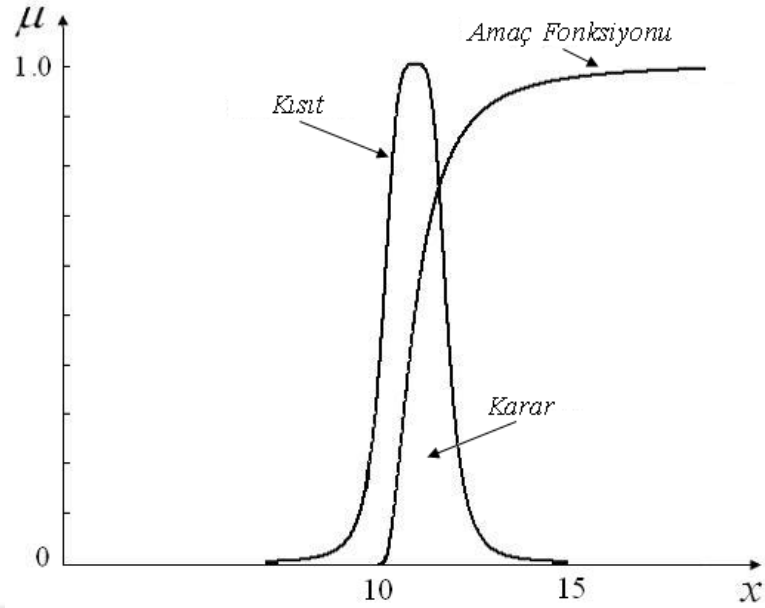
olmak üzere kararın üyelik fonksiyonu

$$\mu_D(x) = \min(\mu_G(x), \mu_C(x))$$

$$\Rightarrow \mu_D(x) = \begin{cases} \min\{(1 + (x - 10)^{-2})^{-1}, (1 + (x - 11)^4)^{-1}\} & , x > 10 \\ 0 & , x \leq 10 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \mu_D(x) = \begin{cases} (1 + (x - 11)^4)^{-1} & , x > 11.75 \\ 0 & , x \leq 11.75 \end{cases}$$

şeklinde belirlenir. Bu örnekteki bulanık karar Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 8 Bulanık bir karar.

Bellman ve Zadeh'in önerdiği bu tanımın daha genel hali şu şekilde verilmektedir:

n tane bulanık hedef, $C_1, C_2, \dots, C_m$ m tane bulanık kısıt olmak üzere, bulanık karar D ,

$$D = G_1 \cap G_2 \cap \dots \cap G_n \cap C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_m \quad (3.26)$$

ile tanımlanır. Bulanık kararın üyelik fonksiyonu

$$\begin{aligned} \mu_D &= \min \{ \mu_{G_1}, \mu_{G_2}, \dots, \mu_{G_n}, \mu_{C_1}, \mu_{C_2}, \dots, \mu_{C_m} \} \\ &= \min \{ \mu_{G_i}, \mu_{C_j} \} \\ &= \min \{ \mu_i \} \end{aligned} \quad (3.27)$$

ve maksimize edici karar ise

$$\max_{x \in X} \mu_D(x) = \max_{x \in X} \min(\mu_{G_1}(x), \dots, \mu_{G_k}(x), \mu_{C_1}(x), \dots, \mu_{C_l}(x)) \quad (3.28)$$

şeklindedir [55].

3.4.1 Bulanık Lineer Programlama

Bulanık küme teorisi, ilk kez 1976 yılında H. J. Zimmermann tarafından geleneksel LP problemlerine uygulanmıştır. Bu uygulama Bellman ve Zadeh'in bulanık karar tanımından yola çıkılarak lineer üyelik fonksiyonları sayesinde yapılmış ve ilgili bulanık LP problemine eşdeğer olan bir LP probleminin varlığı ispatlanmıştır. Bundan sonra

bulanık LP, birçok yönde çeşitli başarılı uygulamalar ile geliştirilmiş ve bugünlerde de bulanıklık altında çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü için önemli bir hale gelmiştir [54].

LP modelleri karar modelinin özel bir şekli olarak düşünülebilir. Karar uzayı kısıtlarla, hedef (fayda fonksiyonu) ise amaç fonksiyonu ile tanımlanır. LP problemlerinin klasik modeli (3.29) ile gösterilmiştir.

$$\text{Amaç : } \max z(x) = c^T x$$

$$\text{Kısıtlar: } Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

$$c, x \in R^n, b \in R^m, A \in R^{m \times n} \quad (3.29)$$

BLP’da, klasik modeldeki tüm bileşenlerin kesin sayı olmaları, $\leq$ ’in kesin anlamda olması ve $\max$ ’ın zorunlu şart olması kabulleri daha esnek bir hale gelir. KV amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek yerine bazı istek seviyelerine ulaşmak ve böylece mevcut maliyet durumunu iyileştirmek isteyebilir. Kısıtlar, “ $\leq$ ” işaretinin kesin matematiksel anlam ifade etmeyip küçük bozulmaları (sapmaları) kabul edebilir olması şeklinde belirsiz olabilir. Veya kısıtların, duyulara ilişkin gereksinimleri temsil etmesi durumunda da belirsizlik oluşabilir. Ayrıca; b, c vektörlerinin ve A matrisinin bileşenlerinin bulanık yapıda olmaları sebebiyle de belirsizlik oluşabilir.

Sonuç olarak BLP, klasik LP’nin tersine tek bir şekilde model tipi olarak tanımlanmaz. Modellenecek gerçek durumun özelliklerine ve kabullerine bağlı olarak birçok varyasyonlar mümkündür [55].

Problemin amaç fonksiyonuna bir hedef verilmesi ve problemin kısıtlarının bulanık olarak verilmesi halinde oluşan BLP problemini ele alalım. Amaç fonksiyonuna z_0 değerinden büyük olma hedefi koyulduğu varsayıldığında, problemin matematiksel yapısı

$$c^T x \underset{\sim}{\geq} z_0$$

$$Ax \underset{\sim}{\leq} b$$

$$x \geq 0$$

$$(3.30)$$

olarak yazılabilir. Burada " $\leq$ ", kesin matematiksel anlamda verilen " $\leq$ " nin, " $\geq$ " ise "

" in bulanık şeklidir. $\begin{pmatrix} -c \\ A \end{pmatrix} = B$ ve $\begin{pmatrix} -z_0 \\ b \end{pmatrix} = d$ dönüşümleri yapıldığında problem;

$$\begin{aligned} Bx &\leq d \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.31)$$

şeklinde gösterilir. $(m+1)$ tane satır denkleminden oluşan $Bx \leq d$, her bir satırına ait üyelik fonksiyonu $\mu_i(x)$ olan bulanık kümelerle ifade edilirse, (3.24) ile kararın üyelik fonksiyonu,

$$\mu_D(x) = \min_i \{\mu_i(x)\} \quad (3.32)$$

ile belirlenir. B_i , B 'nin i . satırını göstermek üzere; $\mu_i(x)$ üyelik değeri, x 'in $B_i(x) \leq d_i$ eşitsizliğini sağlama derecesi olarak yorumlanabilir. Bu durumda maksimize edici karar;

$$\max_{x \geq 0} \min_i \{\mu_i(x)\} = \max_{x \geq 0} \mu_D(x) \quad (3.33)$$

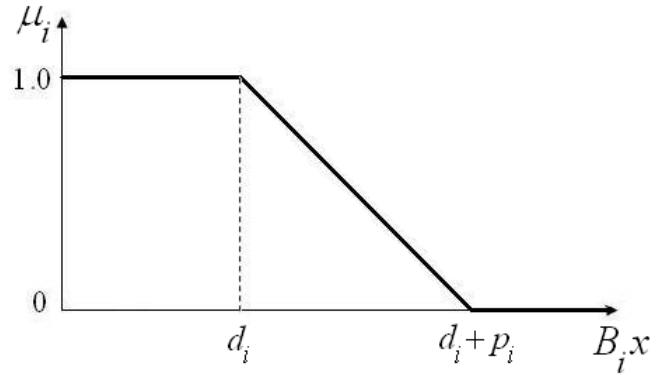
olası non-lineer programlama probleminin çözümü olarak belirlenir. Burada $\mu_i(x)$ üyelik fonksiyonları belirlenmelidir. Amaç fonksiyonuna ait kısıt da dahil olmak üzere kısıtlar kuvvetli olarak bozulmuşsa $\mu_i(x)$, 0 değerini almakta; kısıtlar kesin anlamda (çok iyi) sağlanmış ise 1 değerini almaktadır. p_i ($i=1,2,\dots,m+1$) kısıtların kabul edilebilir bozulma miktarları veya kısıtlarda yapılabilecek olası maksimum sapma miktarı olmak üzere, her bir satırın "tolerans aralığı", $[d_i, d_i + p_i]$ olarak belirlenir. Bu durumda tolerans aralığında monoton azalan olan $\mu_i(x)$ üyelik fonksiyonu;

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & , B_i(x) \leq d_i \\ \in [0,1] & , d_i < B_i(x) \leq d_i + p_i \\ 0 & , B_i(x) > d_i + p_i \end{cases} \quad i=1,\dots,m+1 \quad (3.34)$$

olarak yazılabilir. Lineer üyelik fonksiyonları kullanılarak üyelik fonksiyonları (3.34);

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & , B_i(x) \leq d_i \\ 1 - \frac{B_i(x) - d_i}{p_i} & , d_i < B_i(x) \leq d_i + p_i \\ 0 & , B_i(x) > d_i + p_i \end{cases} \quad i=1,\dots,m+1 \quad (3.35)$$

şeklinde belirlenir. Üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 4.1 ile verilmiştir.



Şekil 3. 9 “ $\leq$ ” yapısındaki kısıtlara ait üyelik fonksiyonu.

Elde edilen üyelik fonksiyonları, (3.33)’te yerine konulup gerekli düzenlemeler yapılırsa maksimize edici karar

$$\max_{x \geq 0} \min_i \left(1 - \frac{B_i(x) - d_i}{p_i} \right)$$

veya $\min_i \{\mu_i(x)\} = \lambda$ alınarak problem,

Amaç : $\max \lambda$

Kısıtlar: $\lambda p_i + B_i x \leq d_i + p_i \quad i = 1, \dots, m+1$

$$x \geq 0 \tag{3.36}$$

olarak belirlenir. Gerçekten;

$$\min_i \{\mu_i(x)\} = \lambda \Rightarrow \forall i (i = 1, 2, \dots, m+1) \text{ için } \mu_i(x) \geq \lambda$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{B_i(x) - d_i}{p_i} \geq \lambda$$

$$\Rightarrow 1 - \lambda \geq \frac{B_i(x) - d_i}{p_i}$$

$$\Rightarrow p_i(1 - \lambda) \geq B_i(x) - d_i$$

$$\Rightarrow \lambda p_i + B_i x \leq d_i + p_i$$

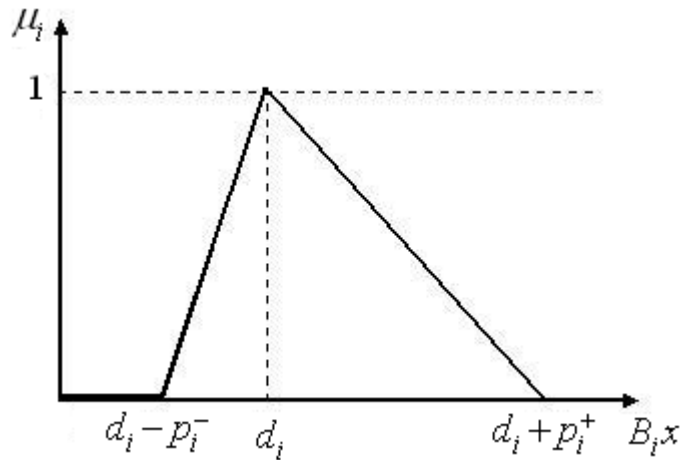
olacaktır.

Burada maksimize edici kararın, (3.30) ile verilen modelden sadece bir tane fazla değişkene ve bir tane fazla kısıta sahip klasik LP çözülerek elde edildiğine dikkat edilmelidir[55].

$B_i x \leq d_i$ bulanık yapısında olan ve p_i tolerans miktarına sahip kısıtlar, $[d_i, d_i + p_i]$ aralığında monoton azalan olup, Zimmermann'ın yaklaşımıyla $\lambda p_i + B_i x \leq d_i + p_i$ yapısındaki kesin kısıta dönüşmektedir. Buna benzer şekilde $B_i x \geq d_i$ bulanık yapısında olan ve p_i tolerans miktarına sahip kısıtlar, $[d_i - p_i, d_i]$ aralığında monoton artan olup, Zimmermann'ın yaklaşımıyla $B_i x - \lambda p_i \geq d_i - p_i$ yapısındaki kesin kısıta dönüşmektedir. Ayrıca $B_i x \cong d_i$ yapısında olup p_i^- ve p_i^+ tolerans miktarlarına sahip kısıtlar, $[d_i - p_i^-, d_i]$ aralığında monoton artan, $[d_i, d_i + p_i^+]$ aralığında ise monoton azalandır. Buna göre kısıtların üyelik fonksiyonu,

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & , B_i(x) \leq d_i - p_i^- \\ 1 + \frac{B_i(x) - d_i}{p_i^-} & , d_i - p_i^- < B_i(x) \leq d_i \\ 1 - \frac{B_i(x) - d_i}{p_i^+} & , d_i < B_i(x) \leq d_i + p_i^+ \\ 0 & , B_i(x) > d_i + p_i^+ \end{cases} \quad (3.37)$$

şeklinde belirlenir. Üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 3.10 ile verilmiştir.



Şekil 3. 10 “ $\cong$ ” yapısındaki kısıtın üyelik fonksiyonu.

Böylece Zimmermann'ın max-min yaklaşımıyla $B_i x \cong d_i$ yapısındaki bulanık kısıt $\lambda p_i^- + B_i x \leq d_i + p_i^-$ ve $B_i x - \lambda p_i^+ \geq d_i + p_i^+$ olarak iki kesin kısıta dönüşmektedir.

Örnek 3.5:

$$\min z(x) = 41400x_1 + 44300x_2 + 48100x_3 + 49100x_4$$

$$0.84x_1 + 1.44x_2 + 2.16x_3 + 2.4x_4 \geq 170$$

$$16x_1 + 16x_2 + 16x_3 + 16x_4 \geq 1,300$$

$$x_1 \geq 6$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

Klasik LP probleminde amaç fonksiyonu için verilen hedef $z(x) \leq 3,700,000$ ve amaç ve kısıtların tolerans miktarları sırasıyla $p_1 = 500000$, $p_2 = 10$, $p_3 = 100$, $p_4 = 6$ olsun.

Problem (3.36) 'ya göre düzenlenir ve her bir kısıt λ değişkeninin katsayısına bölünürse, (3.38) LP problemi elde edilir. Verilen klasik LP probleminin ve (3.10) BLP probleminin çözümleri Çizelge 3.1' de gösterilmiştir.

Amaç : $\max \lambda$

$$\text{Kısıtlar: } 0.083x_1 + 0.089x_2 + 0.096x_3 + 0.098x_4 + \lambda \leq 8.4$$

$$0.084x_1 + 0.144x_2 + 0.216x_3 + 0.24x_4 - \lambda \geq 16$$

$$0.16x_1 + 0.16x_2 + 0.16x_3 + 0.16x_4 - \lambda \geq 12$$

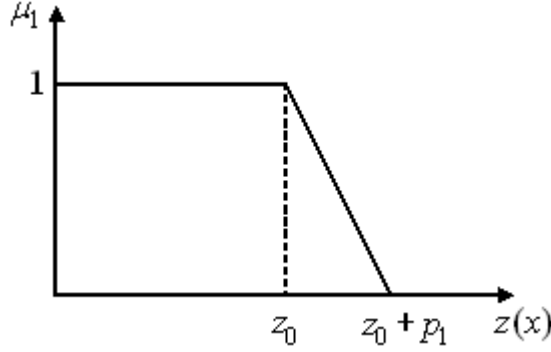
$$0.167x_1 - \lambda \geq 0$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, \lambda \geq 0 \quad (3.38)$$

Çizelge 3. 1 Örnek 3.5'in sonuç değerleri.

	Değişkenler				Amaç	Kısıtlar		
	x_1	x_2	x_3	x_4	z	1.	2.	3.
Klasik LP	6	16.29	0	58.96	3864975	170	1300	6
BLP	15.366	0	0	64.597	3807865.1	167.941	1279.41	4765

Görüldüğü gibi kısıtlarda belli miktarda bozulmalara müsaade edilmesi durumunda klasik LP'deki amaç fonksiyon değerinden daha iyi bir çözüm elde edilmiştir. Amacın üyelik fonksiyonunun Şekil 3.11 yapısında olduğu göz önüne alınırsa amacın 0.7843 seviyesinde tatmin olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 11 Amacın üyelik fonksiyonu (Örnek 3.5).

3.5 Çok Amaçlı Karar Verme

Günümüzde faaliyetlerin arzu edilebilirliklerine göre karşılaştırılmaları, ürünlerin uygunluğuna karar verilmesi veya karar problemlerinde optimal çözümlerin belirlenmesi gibi çoğu durumda nihai karar tek kriter veya tek amaç fonksiyonu kullanılarak elde edilemez. Bu durum *çok kriterli karar verme* tekniklerine başvurma ihtiyacı doğurur.

Literatürde çok kriterli karar verme genelde iki başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar *çok amaçlı karar verme* ve *çok nitelikli karar verme*'dir. Bu iki alan arasındaki temel fark karar uzaylarının yapısıdır. Çok amaçlı karar verme sürekli karar uzaylarındaki problemlere, Çok nitelikli karar verme ise ayrık karar uzaylarındaki problemlere odaklanmıştır. Bu ayrımда çok amaçlı tamsayılı programlama gibi bazı istisnalar da mevcuttur.

Çok amaçlı karar vermede literatür, son zamanlarda oldukça büyük gelişim göstermiştir ve bulanık küme teorisinin de bu alana oldukça önemli katkıları olmuştur [55]. Bu bölümde tezde ele alınan ÇAÇAYKDTZ problemine ve çözüm prosedürüne temel olması açısından öncelikle çok amaçlı lineer programlama (ÇALP) probleminin matematiksel

modeli, kullanılacak temel kavramlar ve ardından problemin çözümü için bulanık bir yaklaşım verilecektir.

3.5.1 ÇALP Problemi

ÇALP problemi, verilen lineer kısıtlar altında birden fazla lineer amacı optimize etmeye çalışan problem olarak tanımlanabilir. Problemin matematiksel modeli şu şekildedir:

Amaçlar: $\max z_1(x) = c_1 x$

$\max z_2(x) = c_2 x$

.....

$\max z_K(x) = c_K x$

Kısıtlar: $Ax \leq b$

$x \geq 0$

(3.39)

Burada $c_i = (c_{i1}, \dots, c_{in})$, $i = 1, \dots, K$; $x = (x_1, \dots, x_n)^T$; $A = \begin{bmatrix} a_{11}, \dots, a_{1n} \\ \dots\dots\dots \\ a_{m1}, \dots, a_{mn} \end{bmatrix}$; $b = (b_1, \dots, b_n)^T$

yapısındadır. Verilen ÇALP problemi $z(x) = (z_1(x), \dots, z_K(x))^T$ K – boyutlu vektör ve $C = (c_1, c_2, \dots, c_K)^T$ $K \times n$ lik bir matris olmak üzere vektör-maksimizasyon problemi olarak ifade edilebilir.

Tanım 3.12: (Vektör-Maksimizasyon Problemi)

$z(x) = (z_1(x), \dots, z_K(x))$; $x \in R^n$ 'den R^K 'ya tanımlı vektör değerli bir fonksiyon ve X çözüm uzayı olmak üzere;

$$\text{"max"} \{ z(x) | x \in X \} \quad (3.40)$$

problemine vektör-maksimizasyon problemi denir. Benzer şekilde

$$\text{"min"} \{ z(x) | x \in X \} \quad (3.41)$$

problemine de vektör-minimizasyon problemi denir.

Buna göre (3.39)

Amaç : $\max z(x) = Cx$

Kısıtlar : $Ax \leq b, x \geq 0$ (3.42)

olarak ifade edilir.

Klasik LP probleminde verilen kısıtların oluşturduğu uygun çözümler bölgesinde amacın en iyi değerini aldığı nokta “optimal nokta”dır. Bir amaç fonksiyonu yerine k tane amaç fonksiyonu içeren ÇALP problemi için “optimal nokta” ise verilen kısıtlar altında tüm amaç fonksiyonlarının aynı anda en iyi değerini aldığı noktadır. Bu nokta *ideal nokta* olarak isimlendirilir.

3.5.2 Temel Kavramlar

Tanım 3.13: (İdeal Nokta)

$z_i^* = \max \{z_i(x) \mid Ax \leq b, x \geq 0\}$, $i = 1, \dots, K$ her bir amacın optimal değeri olmak üzere $z_i^* = (z_1^*, z_2^*, \dots, z_K^*)$ noktasına ideal nokta denir.

ÇALP problemlerinde, her bir amacın tatmin seviyesini maksimum yapmak, başka bir ifadeyle aynı anda tüm amaç fonksiyonlarını en iyi yapan ideal noktayı bulmak oldukça zordur. Çünkü genellikle göz önüne alınan amaçlar, birbiri ile çelişkili ve negatif yönde etkileşimlidir. Örneğin bir fabrikanın kalite kontrol kısmının temel problemi en genel haliyle, kaliteyi arttırmak, kalite kontrol masraflarını azaltmak gibi amaçlar içerir. Aslında bu iki amaç birbirini ters yönde etkilemektedir. Bu halde ideal noktaya ulaşmak neredeyse imkansız olmakta, böylece her bir amaç için optimum olan çözümlerin belirli bir şekilde KV'nin tercihlerini de dikkate alarak uzlaştırılması en çıkar yol olarak görülmektedir. Sonuçta ulaşılan çözüme de tek amaçlı karar problemlerindeki optimum çözüm yerine, optimal uzlaşık çözüm demek daha doğru olacaktır [57].

Tanım 3.14: (Etkin Çözüm)

"max" $\{z(x) \mid x \in X\}$, Tanım 3.12 ile verilen bir vektör-maksimizasyon problemi olmak üzere,

$$\forall i=1,2,\dots,K \text{ için } z_i(x) \geq z_i(\bar{x}) \text{ ve en az bir } i=1,2,\dots,K \text{ için } z_i(x) > z_i(\bar{x}) \quad (3.43)$$

eşitsizliklerini sağlayan hiçbir $x \in X$ bulunamıyorsa, $\bar{x}$ çözümüne bir etkin çözüm denir. Tüm etkin çözümlerin kümesine genelde “ tam çözüm ” denir. Burada $z_i(\bar{x})$ değerleri ise basılamaz çözüm olarak isimlendirilir.

Tanım 3.15: (Uzlaşık Çözüm)

Bir vektör-maksimizasyonu probleminin optimal uzlaşık çözümü $x \in X$, vektör değerli amaç fonksiyonunun içerdiği tüm kriterler göz önüne alınarak KV'nin tüm diğer çözümlere tercih ettiği çözümdür.

Genel kabulden ayrılmamak üzere, optimal uzlaşık çözümün, aynı zamanda etkin bir çözüm olduğu varsayılacaktır.

3.5.3 ÇALP problemine Bulanık Yaklaşım

Kesin verilere sahip bir ÇALP probleminin çözüm aşamasında ilk yapılması gereken amaçlara ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasıdır. Üyelik fonksiyonları oluşturmak için ise amaç fonksiyonlarının en iyi ve en kötü tatmin düzeylerine karşılık gelen alt (z_k^-) ve üst (z_k^+) sınır değerleri belirlenmelidir. Literatürde bu değerleri elde etmek için en yaygın şekilde kullanılan iki yaklaşım bulunmaktadır [58].

İlk yaklaşım ödemeler matrisi (pay-off matrix) olarak isimlendirilir. Bu yaklaşımda öncelikle her bir amaç, problemin orijinal kısıtları altında, tek amaçlı bir lineer problem olarak çözülerek tüm amaçların bireysel maximum değerleri (z_k^+) elde edilir. Daha sonra ise elde edilen bireysel maximumu veren noktalar, diğer tüm amaçlarda yerine konulur. Elde edilen değerlerin minimumu ilgili amacın alt sınır değerini (z_k^-) verir. Buna göre bir vektör-maksimizasyon problemi için, amaçların bireysel optimal noktaları sırasıyla $x^{1*}, x^{2*}, \dots, x^{K*}$ olmak üzere, oluşturulan ödemeler matrisi

$$\begin{bmatrix} z_1(x^{1*}) & z_1(x^{2*}) & \cdots & z_1(x^{K*}) \\ z_2(x^{1*}) & z_2(x^{2*}) & \cdots & z_2(x^{K*}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_K(x^{1*}) & z_K(x^{2*}) & \cdots & z_K(x^{K*}) \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

şeklinde olacaktır. (3.44) matrisinin köşegen elemanları sırasıyla her bir amacın bireysel maksimum değeri z_k^+ 'yi, her bir satırının minimum değeri ise z_k^- 'yi belirler.

Alt ve üst sınır değerlerini belirleyen ikinci yaklaşımda ise her bir amaç, problemin orijinal kısıtları altında minimize ve maksimize edilir. Başka bir ifadeyle amaçların bireysel minimum ve maksimum değerleri hesaplanır. S problemin orijinal kısıtlarının oluşturduğu uygun çözümler bölgesi olmak üzere, elde edilen sınır değerleri şu şekildedir:

$$z_k^- = \min_{x \in S} z_k(x), \quad z_k^+ = \max_{x \in S} z_k(x), \quad k=1,2,\dots,K \quad (3.45)$$

Sınır değerleri elde edildikten sonra üyelik fonksiyonları tanımlanmalıdır. Literatürde çeşitli tiplerde üyelik fonksiyonları mevcuttur. Bunlardan bazıları lineer, üstel, hiperbolik, ters hiperbolik, parçalı lineer üyelik fonksiyonlarıdır [54]. Çalışmamızda işlem kolaylığı açısından lineer üyelik fonksiyonlarını kullanılmıştır. Buna göre, ele alınan vektör-maksimizasyon probleminin, k . ($k \in \{1,2,\dots,K\}$) amaç fonksiyonuna karşılık gelen lineer yapıya sahip $\mu_k(z_k(x))$ üyelik fonksiyonu

$$\mu_k(z_k(x)) = \begin{cases} 0 & , z_k(x) < z_k^-, \\ \frac{z_k(x) - z_k^-}{z_k^+ - z_k^-} & , z_k^- \leq z_k(x) \leq z_k^+, \\ 1 & , z_k(x) > z_k^+ \end{cases} \quad (3.46)$$

olarak tanımlanır. Burada tüm amaçlar için alt ve üst sınır değerlerin birbirinden farklı olduğu kabul edilmiştir ($z_k^- \neq z_k^+, k=1,2,\dots,K$). Eğer sınır değerler birbirine eşit ise ilgili amacın üyelik fonksiyonu 1 olarak alınacaktır ($z_k^- = z_k^+ \Rightarrow \mu_k(z_k(x)) = 1$). Görüldüğü gibi $\mu_k(z_k(x))$ üyelik fonksiyonları $[z_k^-, z_k^+]$ aralığında lineer ve monoton artandır.

Zimmermann'ın [59] daki minimum operatörü kullanılarak, vektör-maksimizasyon probleminin son hali

$$\max_{x \in S} \min_k \mu_k(z_k(x)) \quad (3.47)$$

olarak elde edilir. Yardımcı bir λ değişkeni kullanılırsa,

$$\min_k \mu_k(z_k(x)) = \lambda \Rightarrow \mu_k(z_k(x)) \geq \lambda \quad (3.48)$$

olacaktır. Böylece (3.47) problemine eşdeğer olarak aşağıdaki tek amaçlı lineer programlama problemi oluşturulabilir:

$$\begin{aligned} &\max \lambda \\ &\mu_k(z_k(x)) \geq \lambda, \quad k=1,2,\dots,K \\ &x \in S \\ &\lambda \in [0,1] \end{aligned} \quad (3.49)$$

Burada (3.49), ele alınan vektör-maksimizasyon problemine karşılık gelen minimum operatör modelidir. Bu problemin optimal değeri λ^* , problemin bütün amaçlarının en düşük tatmin seviyesinin maksimize edildiği değere karşılık gelir ve orijinal problemdeki amaçların en temel tatmin düzeyi olarak yorumlanabilir.

Vektör-maksimizasyon problemi için verilen minimum operatör modeli benzer şekilde vektör-minimizasyon problemine de uyarlanabilir. Bu durumda, üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan ödemeler matrisi yaklaşımında, (3.44) matrisinin köşegen elemanları sırasıyla her bir amacın bireysel minimum değeri z_k^- 'yi, her bir satırının maksimum değeri ise z_k^+ 'yi belirleyecektir. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan ikinci yaklaşımda ise (3.45) hesaplamaları aynen geçerlidir. Bu aşamada farklılık belirlenen alt ve üst sınır değerleri aracılığıyla yazılan üyelik fonksiyonlarındadır. Bir vektör-minimizasyon probleminin tüm amaçları minimizasyonu hedeflediği için ilgili lineer üyelik fonksiyonları (3.46) yapısında değil,

$$\mu_k(z_k(x)) = \begin{cases} 1 & , z_k(x) < z_k^-, \\ \frac{z_k^+ - z_k(x)}{z_k^+ - z_k^-} & , z_k^- \leq z_k(x) \leq z_k^+, \\ 0 & , z_k(x) > z_k^+ \end{cases} \quad (3.50)$$

yapısında olacaktır. (3.18) ile verilen üyelik fonksiyonları $[z_k^-, z_k^+]$ aralığında lineer ve monoton azalandır. Üyelik fonksiyonları belirlendikten sonraki prosedür vektör-

maksimizasyon problemindeki ile aynıdır. (3.49) modeli oluşturularak, bütün amaçlarının en düşük tatmin seviyesinin maksimize edildiği uzlaşık çözüm elde edilir.

Örnek 3.6 ([55]):

Amaçlar : $\max z_1(x) = -x_1 + 2x_2$

$\max z_2(x) = 2x_1 + x_2$

Kısıtlar : $-x_1 + 3x_2 \leq 21$

$x_1 + 3x_2 \leq 27$

$4x_1 + 3x_2 \leq 45$

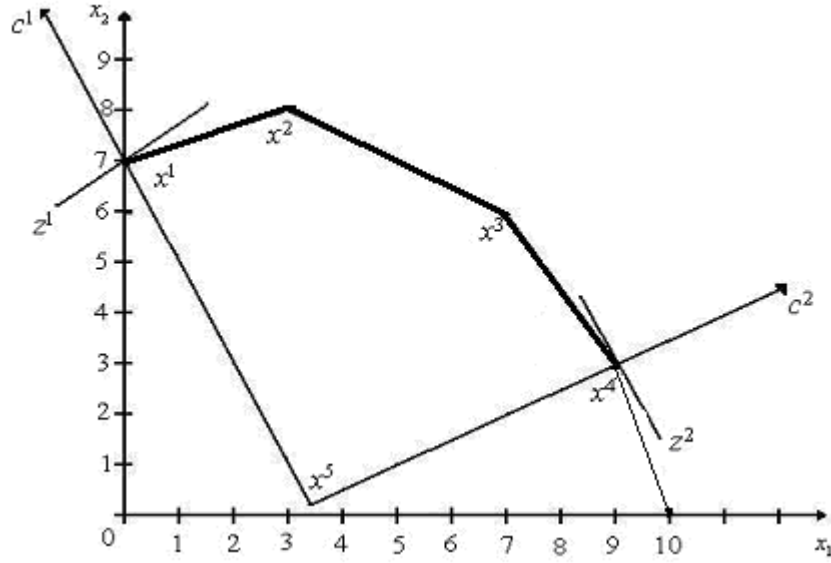
$3x_1 + x_2 \leq 30$

$x_1, x_2 \geq 0$

ÇALP problemi verilmiş olsun. Problemin çözüm uzayı Şekil 3. 11 ile gösterilmiştir. $z_1(x)$ amacı $x^1 = (0,7)$ noktasında, $z_2(x)$ amacı ise $x^4 = (9,3)$ noktasında optimal değerini almaktadır. Bu durumda amaçların optimal noktaları için oluşturulan (3.44)'e karşılık gelen ödemeler matrisi, Çizelge 3.2 ile detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2 Ödemeler matrisi (Örnek 3.6).

	$z_1(x)$	$z_2(x)$	x
$\max z_1(x)$	$z_1^* = 14$	$z_2(x^1) = 7$	$x^1 = (0,7)$
$\max z_2(x)$	$z_1(x^4) = -3$	$z_2^* = 21$	$x^4 = (9,3)$



Şekil 3.12 Çözüm uzayı (Örnek 3.6).

Çizelge 3.2'deki değerlere göre $z_1^- = -3$, $z_1^+ = 14$, $z_2^- = 7$, $z_2^+ = 21$ ' dir. Amaçların üyelik fonksiyonları ise (3.46) aracılığıyla,

$$\mu_1(z_1(x)) = \begin{cases} 0 & , z_1(x) < -3 \\ \frac{z_1(x) + 3}{17} & , -3 \leq z_1(x) \leq 14 \\ 1 & , z_1(x) > 14 \end{cases}$$

$$\mu_2(z_2(x)) = \begin{cases} 0 & , z_2(x) < 7 \\ \frac{z_2(x) - 7}{14} & , 7 \leq z_2(x) \leq 21 \\ 1 & , z_2(x) > 21 \end{cases}$$

olarak belirlenir. Buradan problemin (3.49)'a eşdeğer min operatör modeli

Amaç : $\max \lambda$

Kısıtlar: $\frac{z_1(x) + 3}{17} \geq \lambda,$

$$\frac{z_2(x) - 7}{14} \geq \lambda,$$

$$-x_1 + 3x_2 \leq 21,$$

$$x_1 + 3x_2 \leq 27,$$

$$4x_1 + 3x_2 \leq 45,$$

$$3x_1 + x_2 \leq 30,$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

olarak belirlenir. Gerekli düzenlemeler yapıldığında modelin son hali,

Amaç : $\max \lambda$

Kısıtlar: $x_1 - 2x_2 + 17\lambda \leq 3,$

$$2x_1 + x_2 - 14\lambda \geq 7,$$

$$-x_1 + 3x_2 \leq 21,$$

$$x_1 + 3x_2 \leq 27,$$

$$4x_1 + 3x_2 \leq 45,$$

$$3x_1 + x_2 \leq 30,$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

'dir. Problemin çözümü

$$x_1 = 5.0323, x_2 = 7.3226 \text{ ve } \lambda = 0.7419$$

olarak bulunur. $x^0 = (5.03; 7.32)$ uzlaşık çözümüne karşılık gelen amaç fonksiyon değerleri $z_1(x^0) = 9.6129$ ve $z_2(x^0) = 17.3872$ 'dir.

ÇOK AMAÇLI ÇOK AŞAMALI YEŞİL KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİNE BULANIK BİR YAKLAŞIM

Bu çalışmada çok amaçlı çok aşamalı kapalı devre yeşil tedarik zinciri için karma tamsayılı lineer bir model önerilmiştir. Önerilen bu modelde depo ve dağıtım merkezlerinin kuruluş yerlerine karar verilmesinin yanı sıra müşteri taleplerinin karşılanması esas alınmıştır. Modelde karar verilmesi gereken bir başka unsur da yapılacak taşımaların hangi taşıma biçimiyle ve ne miktarda yapılacağıdır. Model bu kararları verirken hem maliyet minimizasyonu yaparak ekonomik, hem de CO2 salınımı minimizasyonu yaparak çevresel ölçütleri göz önüne alarak yeşil tedarik zincirine örnek teşkil eder. Modelde aynı zamanda geri dönüşüm prosedürü işletilerek müşterilerden ürünlerin bir kısmı toplanıp ayrıştırılmak suretiyle tekrar üretime katılması sağlanmaktadır. Modelin çözümü aşamasında Zimmermann'ın “min” operatörü kullanılarak bulanık bir yaklaşımla çözüm üretilmesi sağlanmıştır.

4.1 Modelin Varsayımları

Bu çalışmada oluşturulan matematiksel model bazı varsayımlardan yola çıkılarak oluşturulmuştur. Bu varsayımlar aşağıdaki gibidir:

1. Tüm amaç ve kısıtlar doğrusaldır.
2. Tedarikçiler, üretim tesisi, müşteriler ve geri dönüşüm merkezinin konumları sabittir ve önceden bilinmektedir.

3. Ürünlerin mesafeler baz alınarak hesaplanmış olan birim taşıma maliyetleri ve bu taşımalarından dolayı ortaya çıkacak olan birim CO₂ salınımı miktarları belirlidir.
4. Miktar indirimleri dikkate alınmamıştır.
5. Stoklama durumu dikkate alınmamıştır.
6. Her bir depo ve dağıtım merkezinin önceden belirlenmiş tercih edilme seviyesini gösteren önem yüzdeleri vardır.
7. Her bir depo ve dağıtım merkezinin kurulum maliyetleri belirlidir.
8. Zaman parametresi dikkate alınmamıştır.
9. Üretilen ürün tek tiptir ve iki bileşenden oluştuğu kabul edilmiştir.
10. Taşıma işlemi karayolu ile fakat 3 farklı filo seçeneği ile sunulmuştur.
11. Her bir tesisin kapasitesi ve CO₂ salınımı miktarı belirlidir.

4.2 Modelin Matematiksel Yapısı

Modelimizin indis kümeleri, karar değişkenleri, parametreleri aşağıdaki gibidir:

İndis Kümeleri

s : Tedarikçi indisi ($s = 1, 2, \dots, S$)

p : Fabrika indisi ($p = 1, 2, \dots, P$)

w : Depo indisi ($w = 1, 2, \dots, W$)

d : Dağıtım merkezi indisi ($d = 1, 2, \dots, D$)

cz : Müşteri indisi ($cz = 1, 2, \dots, CZ$)

r : Geri dönüşüm merkezi indisi ($r = 1, 2, \dots, R$)

i : Ürün bileşeni indisi ($i = 1, 2, \dots, I$)

h : İmha merkezi indisi ($h = 1, 2, \dots, H$)

j : Taşıma biçimi indisi ($j = 1, 2, \dots, J$)

İkili Karar Değişkenleri

$$yw_w = \begin{cases} 1 & , w. depo kurulursa \\ 0 & , aksi durumda \end{cases}$$

$$yd_d = \begin{cases} 1 & , d. dağıtım merkezi kurulursa \\ 0 & , aksi durumda \end{cases}$$

$$xp_{pw} = \begin{cases} 1 & , p. fabrikadan w. depoya bağlantı var sa \\ 0 & , aksi durumda \end{cases}$$

$$xw_{wd} = \begin{cases} 1 & , w. depodan d. dağıtım merkezine bağlantı var sa \\ 0 & , aksi durumda \end{cases}$$

$$xdc_{dcz} = \begin{cases} 1 & , d. dağıtım merkezinden cz. müşteriye bağlantı var sa \\ 0 & , aksi durumda \end{cases}$$

Sürekli Değişkenler

Qp_p : p. fabrikada üretilen ürün miktarı

$Qspji_{spji}$: s. tedarikçiden p. fabrikaya j. taşıma biçimiyle taşınan i. bileşen miktarı

Qpw_{pwj} : p. fabrikadan w. depoya j. taşıma biçimiyle taşınan ürün miktarı

Qwd_{wdj} : w. depodan d. dağıtım merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan ürün miktarı

$Qdcz_{dczj}$: d. dağıtım merkezinden cz. müşteriye j. taşıma biçimiyle taşınan ürün miktarı

$Qczz_{czzj}$: cz. müşteriden r. geri dönüşüm merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan ürün miktarı

$Qrpji_{rpji}$: r. geri dönüşüm merkezinden p. fabrikaya j. taşıma biçimiyle taşınan i. bileşen miktarı

$Qrih_{rihj}$: r. geri dönüşüm merkezinden h. imha merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan i. bileşen miktarı

Model Parametreleri

$SetupCostWH_w$: w. deponun kurulum maliyeti

$SetupCostDC_d$: d. dağıtım merkezinin kurulum maliyeti

Kp_p : p. fabrikanın üretim kapasitesi

Kw_w : w. deponun kapasitesi

Kd_d : d. dağıtım merkezinin kapasitesi

Dcz_{cz} : cz. müşterinin talep miktarı

ci_i : Ürünün i. bileşeninin oran katsayısı

alt: tek seferde taşınabilecek miktarın alt sınırı

$ratingW_w(\%)$: w. deponun bulunduğu bölgeye ait önem yüzdesi

$ratingD_d(\%)$: d. dağıtım merkezinin bulunduğu bölgeye ait önem yüzdesi

Cp_p : p. fabrikadaki birim üretim maliyeti

Cr_r : r. geri dönüşüm merkezindeki birim geri dönüşüm maliyeti

CPp_p : p. fabrikadaki birim üretim başına düşen CO2 salınım miktarı

CWw_w : w. depodaki birim CO2 salınım miktarı

CDd_d : d. dağıtım merkezindeki birim CO2 salınım miktarı

$CRri_{ri}$: r. geri dönüşüm merkezindeki i. bileşen için birim CO2 salınım miktarı

ror: Müşterilerden geri dönüşüm merkezlerine giden ürün miktar yüzdesi

roc: Geri dönüşüm merkezinde ayrıştırma sonucu geri kazanılan miktar yüzdesi

$Cspij_{spij}$: s. tedarikçiden p. fabrikaya j. taşıma biçimiyle taşınan i. bileşen için birim taşıma maliyeti

Cpw_{pwj} : p. fabrikadan w. depoya j. taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyeti

Cwd_{wdj} : w. depodan d. dağıtım merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyeti

$Cdcz_{dczj}$: d. dağıtım merkezinden cz. müşteriye j. taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyeti

$Cczr_{czrj}$: cz. müşteriden r. geri dönüşüm merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyeti

$Crpi_{rpij}$: r. geri dönüşüm merkezinden p. fabrikaya j. taşıma biçimiyle taşınan i. bileşen için birim taşıma maliyeti

$Crih_{rihj}$: r. geri dönüşüm merkezinden h. imha merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan i. bileşen için birim taşıma maliyeti

$CO2spj_{spj}$: s. tedarikçiden p. fabrikaya j. taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınım miktarı

$CO2pwj_{pwj}$: p. fabrikadan w. depoya j. taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınımı miktarı

$CO2wdj_{wdj}$: w. depodan d. dağıtım merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarı

$CO2dczj_{dczj}$: d. dağıtım merkezinden cz. müşteriye j. taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarı

$CO2czrj_{czrj}$: cz. müşteriden r. geri dönüşüm merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarı

$CO2rpj_{rpj}$: r. geri dönüşüm merkezinden p. fabrikaya j. taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınımı miktarı

$CO2rhj_{rhj}$: r. geri dönüşüm merkezinden h. imha merkezine j. taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınımı maliyeti.

Kısıtlar

Tanımlanan indis kümeleri, parametre ve değişkenler aracılığıyla oluşturulan kısıtlar şu şekildedir:

$$Qwd_{wdj} \geq alt \cdot xwd_{wdj} \quad \forall w, \forall d, \forall j \quad (4.1)$$

$$Qpw_{pwj} \geq alt \cdot xpw_{pwj} \quad \forall w, \forall p, \forall j \quad (4.2)$$

$$Qdcz_{dczj} \geq alt \cdot xdcz_{dczj} \quad \forall d, \forall cz, \forall j \quad (4.3)$$

$$\sum_w y_w \geq 1 \quad (4.4)$$

$$\sum_d y_d \geq 1 \quad (4.5)$$

$$Qpw_{pwj} \leq Kw_w xpw_{pwj} \quad \forall p, \forall w, \forall j \quad (4.6)$$

$$Qwd_{wdj} \leq Kw_w xwd_{wdj} \quad \forall w, \forall d, \forall j \quad (4.7)$$

$$Qwd_{wdj} \leq Kd_d xwd_{wdj} \quad \forall w, \forall d, \forall j \quad (4.8)$$

$$Qdcz_{dczj} \leq Kd_d xdcz_{dczj} \quad \forall d, \forall cz, \forall j \quad (4.9)$$

$$\sum_w \sum_j Qpw_{pwj} \leq Kp_p \quad \forall p \quad (4.10)$$

$$\sum_p \sum_j Qpw_{pwj} \leq Kw_w yw_w \quad \forall w \quad (4.11)$$

$$\sum_d \sum_j Qwd_{wdj} \leq Kw_w yw_w \quad \forall w \quad (4.12)$$

$$\sum_w \sum_j Qwd_{wdj} \leq Kd_d yd_d \quad \forall d \quad (4.13)$$

$$\sum_{cz} \sum_j Qdcz_{dczj} \leq Kd_d yd_d \quad \forall d \quad (4.14)$$

$$\sum_d \sum_j Qdcz_{dczj} = Dcz_{cz} \quad \forall cz \quad (4.15)$$

$$Qp_p = \sum_w \sum_j Qpw_{pwj} \quad \forall p \quad (4.16)$$

$$\sum_p^P \sum_j^J Qp w_{pwj} = \sum_d^D \sum_j^J Qw d_{wdj} \quad \forall w \quad (4.17)$$

$$\sum_w^W \sum_j^J Qw d_{wdj} = \sum_{cz}^{CZ} \sum_j^J Qd cz_{dczj} \quad \forall d \quad (4.18)$$

$$ror \cdot \left(\sum_d^D \sum_j^J Qd cz_{dczj} \right) = \sum_r^R \sum_j^J Qc zr_{czrj} \quad \forall cz \quad (4.19)$$

$$c_i \left(\sum_{cz}^{CZ} \sum_j^J Qc zr_{czrj} \cdot roc \right) = \sum_p^P \sum_j^J Qr pj_{rpji} \quad \forall i, \forall r \quad (4.20)$$

$$c_i \left(\sum_{cz}^{CZ} \sum_j^J Qc zr_{czrj} (1 - roc) \right) = \sum_h^H \sum_j^J Qr ih_{rihj} \quad \forall i, \forall r \quad (4.21)$$

$$\sum_s^S \sum_j^J Qs pj_{spji} + \sum_r^R \sum_j^J Qr pj_{rpji} = Qp_p \cdot c_i \quad \forall i, \forall p \quad (4.22)$$

$$xp w_{pwj} \leq yw_w \quad \forall p, \forall w, \forall j \quad (4.23)$$

$$xw d_{wdj} \leq yw_w \quad \forall w, \forall d, \forall j \quad (4.24)$$

$$xw d_{wdj} \leq yd_d \quad \forall w, \forall d, \forall j \quad (4.25)$$

$$xd cz_{dczj} \leq yd_d \quad \forall d, \forall cz, \forall j \quad (4.26)$$

$$\sum_p^P \sum_j^J xp w_{pwj} \geq yw_w \quad \forall w \quad (4.27)$$

$$\sum_d^D \sum_j^J xw d_{wdj} \geq yw_w \quad \forall w \quad (4.28)$$

$$\sum_w^W \sum_j^J xw d_{wdj} \geq yd_d \quad \forall d \quad (4.29)$$

$$\sum_{cz}^{CZ} \sum_j^J xd cz_{dczj} \geq yd_d \quad \forall d \quad (4.30)$$

Burada (4.1), (4.2) ve (4.3) nolu kısıtlar fabrikalardan depolara, depolardan dağıtım merkezlerine ve dağıtım merkezlerinden müşterilere yapılacak olası taşımaların belirli bir değerin altına düşmemesini garanti eder. (4.4) ve (4.5) depo ve dağıtım merkezlerinden en az bir tane kurulmasını sağlar. (4.6) - (4.9) kısıtları söz konusu tesisler arasında bağlantı yoksa taşıma yapmamasını, bağlantı varsa yapılacak taşımanın tesislerin kapasitesini aşmamasını sağlar. (4.10) fabrika için üretim kısıtı iken (4.11) - (4.14) depo ve dağıtım merkezleri için giren ve çıkan ürünler için kapasite

kısıttır. (4.15) müşteri taleplerinin karşılanmasını sağlayan kısıttır. (4.16) fabrikalardaki üretim miktarının depolara giden miktarlara eşit olmasını sağlayan ve böylece fabrikalardaki stoğu engelleyen kısıttır. (4.17) ve (4.18) depo ve dağıtım merkezleri için denge kısıtlarıdır. (4.19) - (4.21) geri dönüşüm işlemi için denge kısıtlarıdır. (4.22) kısıtı ürün bileşen dengesini sağlar. (4.23) - (4.26) ile herhangi bir depo ya da dağıtım merkezi kurulmadığında o tesise herhangi bir bağlantı (yol) koyulmaz. (4.27) - (4.30) nolu kısıtlar ile herhangi bir depo ya da dağıtım merkezi kurulduğunda en az bir bağlantı konulmasını sağlar.

Değişken tipi kısıtları

$\forall s, p, w, d, cz, r, i, h, j$ için tanımlanmış olan değişken tipi kısıtlarımız (4.31) ve (4.32) ile verilmiştir.

$$Qp_p, Qspji_{spji}, Qpw_{pwj}, Qwd_{wdj}, Qdcz_{dczj}, Qczt_{cztj}, Qrpji_{rpji}, Qrih_{rihj} \geq 0 \quad (4.31)$$

$$yw_w, yd_d, xpw_{pw}, xwd_{wd}, xdcz_{dcz} \in \{0,1\} \quad (4.32)$$

Amaç Fonksiyonları

1. Amaç Fonksiyonu

Taşıma, üretim, geri dönüştürme ve kurulum maliyetlerinin toplamı şeklinde ifade edilen fonksiyondur. Amaç toplam maliyeti minimize etmek olacaktır.

i. Taşıma Maliyetleri

$$\begin{aligned} & \sum_s \sum_p \sum_j \sum_i Qspji_{spji} Cspij_{spij} + \sum_p \sum_w \sum_j Qpw_{pwj} Cpw_{pwj} + \sum_w \sum_d \sum_j Qwd_{wdj} Cwd_{wdj} \\ & + \sum_d \sum_{cz} \sum_j Qdcz_{dczj} Cdcz_{dczj} + \sum_{cz} \sum_r \sum_j Qczt_{cztj} Cczt_{cztj} + \sum_r \sum_p \sum_j \sum_i Qrpji_{rpji} Crpi_{rpji} \\ & + \sum_r \sum_i \sum_h \sum_j Qrih_{rihj} Crih_{rihj} \end{aligned}$$

ii. Üretim Maliyeti

$$\sum_p Qp_p Cp_p$$

iii. Geri Dönüştürme Maliyeti

$$\sum_{cz} \sum_r \sum_j Qc_zr_{c_zr_j} Cr_r$$

iv. Depo ve Dağıtım Merkezleri Kurulum Maliyetleri

$$\sum_w SetupCostWH_w yw_w + \sum_d SetupCostDC_d yd_d$$

Buna göre, 1. amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned} Z_1 = & \sum_s \sum_p \sum_j \sum_i Qspji_{spji} Cspji_{spji} + \sum_p \sum_w \sum_j Qpw_{pwj} Cpw_{pwj} + \sum_w \sum_d \sum_j Qwd_{wdj} Cwd_{wdj} \\ & + \sum_d \sum_{cz} \sum_j Qdcz_{dczj} Cdcz_{dczj} + \sum_{cz} \sum_r \sum_j Qc_zr_{c_zr_j} Cc_zr_{c_zr_j} + \sum_r \sum_p \sum_j \sum_i Qrpji_{rpji} Crpi_{rpji} \\ & + \sum_r \sum_i \sum_h \sum_j Qrih_{rihj} Crih_{rihj} + \sum_p Qp_p Cp_p + \sum_{cz} \sum_r \sum_j Qc_zr_{c_zr_j} Cr_r + \sum_w SetupCostWH_w yw_w \\ & + \sum_d SetupCostDC_d yd_d \end{aligned} \quad (4.33)$$

biçiminde olacaktır.

2. Amaç Fonksiyonu

Kurulmak istenen depo ve dağıtım merkezlerinin toplam önem yüzdelerinden oluşan fonksiyondur. Amaç, toplam önem yüzdesini maksimum yapacak kurulum kararını vermek olacaktır.

$$Z_2 = \sum_w ratingW_w \sum_p \sum_j Qpw_{pwj} + \sum_d ratingD_d \sum_w \sum_j Qwd_{wdj} \quad (4.34)$$

3. Amaç Fonksiyonu

Taşımadan, üretimden ve tesislerdeki diğer işlemlerden dolayı ortaya çıkan CO2 salınımı miktarlarının toplamıdır. Amaç toplam CO2 salınımını minimize etmek olacaktır.

i. Taşımadan Dolayı Ortaya Çıkan CO2 Salınımı Miktarı

$$\begin{aligned} & \sum_s^S \sum_p^P \sum_j^J \sum_i^I CO2spj_{spj} Qspji_{spji} + \sum_p^P \sum_w^W \sum_j^J CO2pwj_{pwj} Qpw_{pwj} + \sum_w^W \sum_d^D \sum_j^J CO2wdj_{wdj} Qwd_{wdj} \\ & + \sum_d^D \sum_{cz}^{CZ} \sum_j^J CO2dczj_{dczj} Qdcz_{dczj} + \sum_{cz}^{CZ} \sum_r^R \sum_j^J CO2cztj_{cztj} Qczt_{cztj} + \sum_r^R \sum_p^P \sum_j^J \sum_i^I CO2rpji_{rpji} Qrpji_{rpji} \\ & + \sum_r^R \sum_i^I \sum_h^H \sum_j^J CO2rhj_{rhj} Qrih_{rih} \end{aligned}$$

ii. Üretimden Dolayı Ortaya Çıkan CO2 Salınımı Miktarı

$$\sum_p^P \sum_w^W \sum_j^J Qpw_{pwj} Cp_p$$

iii. Depo, Dağıtım Merkezi ve Geri Dönüşüm Merkezlerindeki İşlemlerden Dolayı Ortaya Çıkan CO2 salınımı Miktarı

$$\begin{aligned} & \sum_w^W \sum_d^D \sum_j^J Qwd_{wdj} CWw_w + \sum_d^D \sum_{cz}^{CZ} \sum_j^J Qdcz_{dczj} CDd_d \\ & + \sum_r^R \sum_p^P \sum_j^J \sum_i^I Qrpji_{rpji} CRri_{ri} + \sum_r^R \sum_i^I \sum_h^H \sum_j^J Qrih_{rih} CRri_{ri} \end{aligned}$$

Buna göre 3. amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned} Z_3 = & \sum_s^S \sum_p^P \sum_j^J \sum_i^I CO2spj_{spj} Qspji_{spji} + \sum_p^P \sum_w^W \sum_j^J CO2pwj_{pwj} Qpw_{pwj} + \sum_w^W \sum_d^D \sum_j^J CO2wdj_{wdj} Qwd_{wdj} \\ & + \sum_d^D \sum_{cz}^{CZ} \sum_j^J CO2dczj_{dczj} Qdcz_{dczj} + \sum_{cz}^{CZ} \sum_r^R \sum_j^J CO2cztj_{cztj} Qczt_{cztj} + \sum_r^R \sum_p^P \sum_j^J \sum_i^I CO2rpji_{rpji} Qrpji_{rpji} \\ & + \sum_r^R \sum_i^I \sum_h^H \sum_j^J CO2rhj_{rhj} Qrih_{rih} + \sum_p^P \sum_w^W \sum_j^J Qpw_{pwj} Cp_p + \sum_w^W \sum_d^D \sum_j^J Qwd_{wdj} CWw_w \\ & + \sum_d^D \sum_{cz}^{CZ} \sum_j^J Qdcz_{dczj} CDd_d + \sum_r^R \sum_p^P \sum_j^J \sum_i^I Qrpji_{rpji} CRri_{ri} + \sum_r^R \sum_i^I \sum_h^H \sum_j^J Qrih_{rih} CRri_{ri} \end{aligned} \quad (4.35)$$

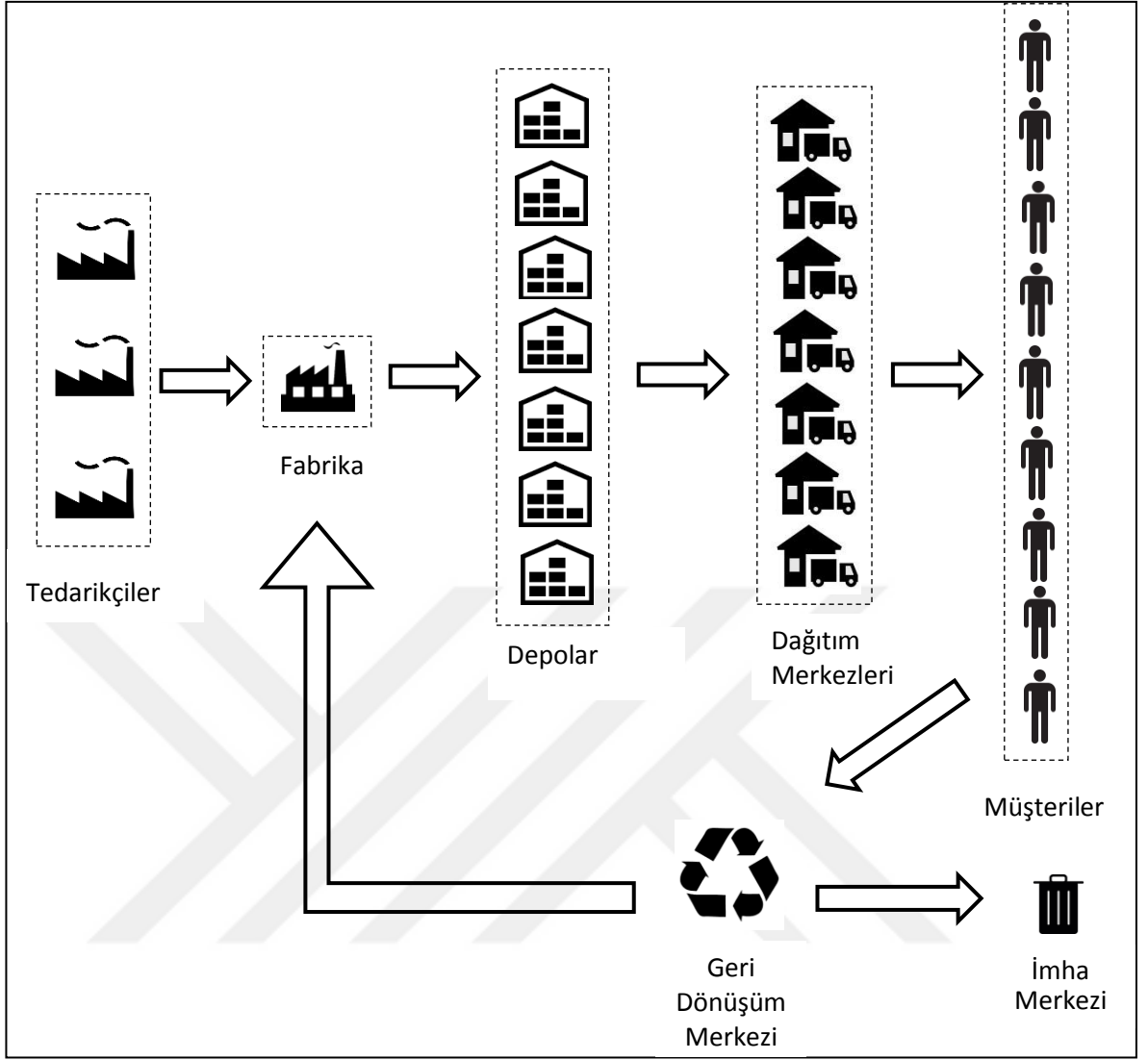
biçimindedir. Böylece ÇAÇAYKDTZ modelimiz (4.1)-(4.35) ile verilebilir. Tezin devamında (4.1)-(4.32) kısıtlarının oluşturduğu uygun çözümler bölgesi kısaca X_T ile gösterilecektir.

4.3 Uygulama

Fabrikası Afyon’da bulunan bir X şirketi, Türkiye’deki müşterilerine daha iyi hizmet sunabilmek için kendi içinde bir yapılandırmaya gitmek istemektedir. Ayrıca yasal zorunlulukları, maliyeti ve müşteri memnuniyetini de dikkate alan şirket bu yapılandırmayı yeşil tedarik zincirine geçme şeklinde yapacaktır.

Şirketin 3 tedarikçisi, 1 fabrikası, 9 müşterisi, 1 geri dönüşüm merkezi ve 1 imha merkezi bulunmaktadır. Şirket depo ve dağıtım merkezi kurmak istemektedir. 7’şer adet olası depo ve dağıtım merkezinden uygun olanları kuracak ve bunun kararını verirken müşteri taleplerini, kurulum ve taşıma maliyetlerini hesaba katacaktır. Ayrıca ürünlerin taşınması için 3 farklı şirketten mesafeye bağlı olarak ücretlendirme ve CO2 salınım miktarları bilgileri ile ilgili teklifler alınmıştır. Verilen teklifler en az 10000 birim taşıma yapılması göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Depo ve dağıtım merkezi kurma kararı alınırken kurulacak tesislerin CO2 salınım miktarları, taşıma sırasında oluşacak CO2 salınım miktarları ve taşıma maliyetleri minimize, bunun yanında kurulacak her bir tesisin pazara ve ulaşım merkezlerine olan konumuna, üretim ve pazarlama faaliyetlerindeki üstünlüğüne, verilen teşviğe, işgücü arzı, işgücü türü, altyapı hizmetleri gibi faktörlere göre önceden belirlenmiş olan önem yüzdeleri ise maksimize edilmek istenmektedir.

Şirketin tedarik zinciri ağ yapısı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4. 1 X şirketinin genel tedarik zinciri ağı.

Uygulamamıza ait sayısal indis verileri $S=3$; $P=1$; $W=7$; $D=7$; $CZ=9$; $R=1$; $I=2$; $H=1$; $J=3$ 'dir. Bazı parametrelerin sayısal değerleri ise, $Kp_1=7500000$, $ror=0.40$, $roc=0.70$, $Cp_1=3$, $Cr_1=0.2$, $CPp_1=0.5$, $alt=10000$, $ci_1=1$, $ci_2=2$, $CRri_{11}=2$, $CRri_{12}=1$ 'dir. Indis sırasına göre tedarikçilerin Kütahya, Uşak ve Burdur'da, depoların Çanakkale, Muğla, Sakarya, Niğde, Tokat, Şanlıurfa ve Erzurum'da, dağıtım merkezlerinin Uşak, Bursa, Bolu, Konya, Malatya, Trabzon ve Kars'ta, müşterilerin İzmir, İstanbul, Antalya, Ankara, Samsun, Adana, Kahramanmaraş, Ardahan ve Van'da, geri dönüşüm merkezinin Kırıkkale'de, imha merkezinin ise Sinop'ta olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım modelden elde edilen sonuçların daha rahat anlaşılmasını sağlayacaktır. Diğer parametrelerin sayısal değerleri, resmi kurumların web

sitelerinden ya da resmi kurumları kaynak gösteren bilimsel çalışmalardan derlenerek oluşturulmuştur. Tesisler arasındaki mesafe T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü web sitesinden alınmıştır. Mesafeye bağlı olarak karayolu için km başına ortalama birim taşıma maliyeti bilgisi Hakan Demirlioğlu'na ait Ocak 2008 tarihli İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılmış olan yüksek lisans tezinden alınmış ve mesafe bilgisi ile maliyet bilgisi çarpılarak tesisler arası taşıma maliyetleri elde edilmiştir. Yine aynı yüksek lisans tezinden karayolu için km başına ortalama CO2 salınım miktarı bilgisi alınarak mesafe bilgisi ile çarpılmış ve taşıma esnasında ortaya çıkan CO2 salınım miktarları elde edilmiştir. Tesislerin CO2 salınım verileri T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın TÜBİTAK KAMAG 106G110,2009 nolu projesindeki veriler baz alınarak oluşturulmuştur. Geri dönüşüm maliyet verisi ise YTÜ Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (2011), 126-131 sayfalarındaki bir araştırma makalesi baz alınarak üretilmiştir. Modele ait bu parametrelerin sayısal değerleri ise Çizelge 4.1-Çizelge 4.29 ile verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Depoların kurulum maliyetleri ($SetupCost_{WH_w}$)

Depo 1	7310000
Depo 2	7800000
Depo 3	7650000
Depo 4	7850000
Depo 5	7890000
Depo 6	7900000
Depo 7	8790000

Çizelge 4. 2 Dağıtım merkezlerinin kurulum maliyetleri ($SetupCost_{DC_d}$)

Dağıtım merkezi 1	18400000
Dağıtım merkezi 2	16500000
Dağıtım merkezi 3	18500000
Dağıtım merkezi 4	19500000
Dağıtım merkezi 5	20500000
Dağıtım merkezi 6	19200000
Dağıtım merkezi 7	19300000

Çizelge 4. 3 Depoların kapasitesi (Kw_w)

Depo 1	770000
Depo 2	600000
Depo 3	800000
Depo 4	700000
Depo 5	630000
Depo 6	800000
Depo 7	450000

Çizelge 4. 4 Dağıtım merkezlerinin kapasitesi (Kd_d).

Dağıtım merkezi 1	2100000
Dağıtım merkezi 2	1500000
Dağıtım merkezi 3	2000000
Dağıtım merkezi 4	2500000
Dağıtım merkezi 5	3000000
Dağıtım merkezi 6	1800000
Dağıtım merkezi 7	2200000

Çizelge 4. 5 Müşterilerin talep miktarları (Dcz_{cz}).

Müşteri 1	310000
Müşteri 2	450000
Müşteri 3	250000
Müşteri 4	290000
Müşteri 5	220000
Müşteri 6	270000
Müşteri 7	220000
Müşteri 8	120000
Müşteri 9	160000

Çizelge 4. 6 Tedarikçilerden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim taşıma maliyetleri ($Cspij_{spij}$).

		Fabrika 1		
		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Tedarikçi 1	Bileşen 1	1.875	0.375	0.0625
	Bileşen 2	1.875	0.375	0.0625
Tedarikçi 2	Bileşen 1	2.175	0.435	0.0725
	Bileşen 2	2.175	0.435	0.0725

Çizelge 4. 6 Tedarikçilerden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim taşıma maliyetleri ($Cspij_{spij}$)(devamı).

		Fabrika 1		
		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Tedarikçi 3	Bileşen 1	3.1875	0.6375	0.10625
	Bileşen 2	3.1875	0.6375	0.10625

Çizelge 4. 7 Fabrikadan depolara her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri (Cpw_{pwj}).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Fabrika 1	Depo 1	9.88125	1.97625	0.329375
	Depo 2	6.9	1.38	0.23
	Depo 3	5.7375	1.1475	0.19125
	Depo 4	8.60625	1.72125	0.286875
	Depo 5	11.90625	2.38125	0.396875
	Depo 6	17.2875	3.4575	0.57625
	Depo 7	21.20625	4.24125	0.706875

Çizelge 4. 8 Depolardan dağıtım merkezlerine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri (Cwd_{wdj}).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Depo 1	Dağıtım Merkezi 1	7.95	1.59	0.265
	Dağıtım Merkezi 2	5.08125	1.01625	0.169375
	Dağıtım Merkezi 3	10.2	2.04	0.34
	Dağıtım Merkezi 4	14.0625	2.8125	0.46875
	Dağıtım Merkezi 5	24.39375	4.87875	0.813125
	Dağıtım Merkezi 6	25.25625	5.05125	0.841875
	Dağıtım Merkezi 7	32.0625	6.4125	1.06875
Depo 2	Dağıtım Merkezi 1	5.53125	1.10625	0.184375
	Dağıtım Merkezi 2	4.51875	0.90375	0.150625
	Dağıtım Merkezi 3	14.0625	2.8125	0.46875
	Dağıtım Merkezi 4	10.40625	2.08125	0.346875
	Dağıtım Merkezi 5	22.35	4.47	0.745
	Dağıtım Merkezi 6	25.575	5.115	0.8525
	Dağıtım Merkezi 7	31.55625	6.31125	1.051875

Çizelge 4. 8 Depolardan dağıtım merkezlerine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri (Cwd_{wdj}) (devamı).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Depo 3	Dağıtım Merkezi 1	6.46875	1.29375	0.215625
	Dağıtım Merkezi 2	2.98125	0.59625	0.099375
	Dağıtım Merkezi 3	2.1375	0.4275	0.07125
	Dağıtım Merkezi 4	9.6375	1.9275	0.32125
	Dağıtım Merkezi 5	18.0375	3.6075	0.60125
	Dağıtım Merkezi 6	17.19375	3.43875	0.573125
	Dağıtım Merkezi 7	24	4.8	0.8
Depo 4	Dağıtım Merkezi 1	10.78125	2.15625	0.359375
	Dağıtım Merkezi 2	13.44375	2.68875	0.448125
	Dağıtım Merkezi 3	10.03125	2.00625	0.334375
	Dağıtım Merkezi 4	4.5375	0.9075	0.15125
	Dağıtım Merkezi 5	8.75625	1.75125	0.291875
	Dağıtım Merkezi 6	13.9125	2.7825	0.46375
	Dağıtım Merkezi 7	17.9625	3.5925	0.59875
Depo 5	Dağıtım Merkezi 1	14.00625	2.80125	0.466875
	Dağıtım Merkezi 2	14.30625	2.86125	0.476875
	Dağıtım Merkezi 3	9.80625	1.96125	0.326875
	Dağıtım Merkezi 4	10.44375	2.08875	0.348125
	Dağıtım Merkezi 5	6.6375	1.3275	0.22125
	Dağıtım Merkezi 6	7.4625	1.4925	0.24875
	Dağıtım Merkezi 7	13.05	2.61	0.435
Depo 6	Dağıtım Merkezi 1	19.4625	3.8925	0.64875
	Dağıtım Merkezi 2	22.06875	4.41375	0.735625
	Dağıtım Merkezi 3	18.65625	3.73125	0.621875
	Dağıtım Merkezi 4	13.21875	2.64375	0.440625
	Dağıtım Merkezi 5	4.9875	0.9975	0.16625
	Dağıtım Merkezi 6	15.075	3.015	0.5025
	Dağıtım Merkezi 7	13.18125	2.63625	0.439375
Depo 7	Dağıtım Merkezi 1	23.30625	4.66125	0.776875
	Dağıtım Merkezi 2	23.23125	4.64625	0.774375
	Dağıtım Merkezi 3	18.1125	3.6225	0.60375
	Dağıtım Merkezi 4	17.5125	3.5025	0.58375
	Dağıtım Merkezi 5	7.7625	1.5525	0.25875
	Dağıtım Merkezi 6	5.7	1.14	0.19
	Dağıtım Merkezi 7	3.80625	0.76125	0.126875

Çizelge 4. 9 Dağıtım merkezlerinden müşterilere her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri ($Cdcz_{dczj}$).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Dağıtım Merkezi 1	Müşteri 1	3.95625	0.79125	0.131875
	Müşteri 2	9.24375	1.84875	0.308125
	Müşteri 3	5.5125	1.1025	0.18375
	Müşteri 4	6.9	1.38	0.23
	Müşteri 5	14.64375	2.92875	0.488125
	Müşteri 6	12.91875	2.58375	0.430625
	Müşteri 7	16.51875	3.30375	0.550625
	Müşteri 8	27.31875	5.46375	0.910625
	Müşteri 9	28.89375	5.77875	0.963125
Dağıtım Merkezi 2	Müşteri 1	6.09375	1.21875	0.203125
	Müşteri 2	4.55625	0.91125	0.151875
	Müşteri 3	10.14375	2.02875	0.338125
	Müşteri 4	7.2	1.44	0.24
	Müşteri 5	13.96875	2.79375	0.465625
	Müşteri 6	15.73125	3.14625	0.524375
	Müşteri 7	18.075	3.615	0.6025
	Müşteri 8	26.64375	5.32875	0.888125
	Müşteri 9	29.90625	5.98125	0.996875
Dağıtım Merkezi 3	Müşteri 1	11.2125	2.2425	0.37375
	Müşteri 2	4.9125	0.9825	0.16375
	Müşteri 3	12.825	2.565	0.4275
	Müşteri 4	3.58125	0.71625	0.119375
	Müşteri 5	8.85	1.77	0.295
	Müşteri 6	12.69375	2.53875	0.423125
	Müşteri 7	14.6625	2.9325	0.48875
	Müşteri 8	21.525	4.305	0.7175
	Müşteri 9	25.8	5.16	0.86
Dağıtım Merkezi 4	Müşteri 1	10.3125	2.0625	0.34375
	Müşteri 2	12.4125	2.4825	0.41375
	Müşteri 3	6.0375	1.2075	0.20125
	Müşteri 4	4.8375	0.9675	0.16125
	Müşteri 5	11.08125	2.21625	0.369375
	Müşteri 6	6.675	1.335	0.2225
	Müşteri 7	10.275	2.055	0.3425
	Müşteri 8	21.675	4.335	0.7225
	Müşteri 9	22.65	4.53	0.755

Çizelge 4. 9 Dağıtım merkezlerinden müşterilere her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri ($Cdcz_{dczj}$) (devamı).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Dağıtım Merkezi 5	Müşteri 1	22.25625	4.45125	0.741875
	Müşteri 2	20.8125	4.1625	0.69375
	Müşteri 3	17.7	3.54	0.59
	Müşteri 4	12.31875	2.46375	0.410625
	Müşteri 5	10.95	2.19	0.365
	Müşteri 6	7.35	1.47	0.245
	Müşteri 7	4.125	0.825	0.1375
	Müşteri 8	12.075	2.415	0.4025
	Müşteri 9	10.59375	2.11875	0.353125
Dağıtım Merkezi 6	Müşteri 1	24.80625	4.96125	0.826875
	Müşteri 2	19.96875	3.99375	0.665625
	Müşteri 3	23.1	4.62	0.77
	Müşteri 4	13.95	2.79	0.465
	Müşteri 5	6.20625	1.24125	0.206875
	Müşteri 6	15.84375	3.16875	0.528125
	Müşteri 7	14.26875	2.85375	0.475625
	Müşteri 8	6.46875	1.29375	0.215625
	Müşteri 9	13.40625	2.68125	0.446875
Dağıtım Merkezi 7	Müşteri 1	31.0125	6.2025	1.03375
	Müşteri 2	26.775	5.355	0.8925
	Müşteri 3	27.15	5.43	0.905
	Müşteri 4	20.15625	4.03125	0.671875
	Müşteri 5	14.26875	2.85375	0.475625
	Müşteri 6	18.91875	3.78375	0.630625
	Müşteri 7	15.69375	3.13875	0.523125
	Müşteri 8	1.74375	0.34875	0.058125
	Müşteri 9	6.84375	1.36875	0.228125

Çizelge 4. 10 Müşterilerden geri dönüşüm merkezine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim taşıma maliyetleri ($Cczr_{czrj}$).

Geri dönüşüm merkezi			
	Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Müşteri 1	12.2625	2.4525	0.40875
Müşteri 2	9.9	1.98	0.33
Müşteri 3	10.63125	2.12625	0.354375
Müşteri 4	1.40625	0.28125	0.046875
Müşteri 5	6.3375	1.2675	0.21125
Müşteri 6	8.8875	1.7775	0.29625
Müşteri 7	9.75	1.95	0.325
Müşteri 8	19.0125	3.8025	0.63375
Müşteri 9	21.58125	4.31625	0.719375

Çizelge 4. 11 Geri dönüşüm merkezinden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim taşıma maliyetleri ($Crpi_{rpj}$).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Geri dönüşüm merkezi	Bileşen 1	12.525	2.505	0.4175
	Bileşen 2	12.525	2.505	0.4175

Çizelge 4. 12 Geri dönüşüm merkezinden imha merkezine her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim taşıma maliyetleri ($Crih_{rih}$).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Geri dönüşüm merkezi	Bileşen 1	7.2375	1.4475	0.24125
	Bileşen 2	7.2375	1.4475	0.24125

Çizelge 4. 13 Tedarikçilerden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınım miktarları ($CO2spj_{spj}$).

		Fabrika 1		
		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Tedarikçi 1		3	3.5	9
Tedarikçi 2		3.48	4.06	10.44
Tedarikçi 3		5.1	5.95	15.3

Çizelge 4. 14 Fabrikadan depolara her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2pwj_{pwj}$).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Fabrika 1	Depo 1	15.81	18.445	47.43
	Depo 2	11.04	12.88	33.12
	Depo 3	9.18	10.71	27.54
	Depo 4	13.77	16.065	41.31
	Depo 5	19.05	22.225	57.15
	Depo 6	27.66	32.27	82.98
	Depo 7	33.93	39.585	101.79

Çizelge 4. 15 Depolardan dağıtım merkezlerine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2wdj_{wdj}$).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Depo 1	Dağıtım Merkezi 1	12.72	14.84	38.16
	Dağıtım Merkezi 2	8.13	9.485	24.39
	Dağıtım Merkezi 3	16.32	19.04	48.96
	Dağıtım Merkezi 4	22.5	26.25	67.5
	Dağıtım Merkezi 5	39.03	45.535	117.09
	Dağıtım Merkezi 6	40.41	47.145	121.23
	Dağıtım Merkezi 7	51.3	59.85	153.9
Depo 2	Dağıtım Merkezi 1	8.85	10.325	26.55
	Dağıtım Merkezi 2	7.23	8.435	21.69
	Dağıtım Merkezi 3	22.5	26.25	67.5
	Dağıtım Merkezi 4	16.65	19.425	49.95
	Dağıtım Merkezi 5	35.76	41.72	107.28
	Dağıtım Merkezi 6	40.92	47.74	122.76
	Dağıtım Merkezi 7	50.49	58.905	151.47
Depo 3	Dağıtım Merkezi 1	10.35	12.075	31.05
	Dağıtım Merkezi 2	4.77	5.565	14.31
	Dağıtım Merkezi 3	3.42	3.99	10.26
	Dağıtım Merkezi 4	15.42	17.99	46.26
	Dağıtım Merkezi 5	28.86	33.67	86.58
	Dağıtım Merkezi 6	27.51	32.095	82.53
	Dağıtım Merkezi 7	38.4	44.8	115.2
Depo 4	Dağıtım Merkezi 1	17.25	20.125	51.75
	Dağıtım Merkezi 2	21.51	25.095	64.53
	Dağıtım Merkezi 3	16.05	18.725	48.15
	Dağıtım Merkezi 4	7.26	8.47	21.78
	Dağıtım Merkezi 5	14.01	16.345	42.03
	Dağıtım Merkezi 6	22.26	25.97	66.78
	Dağıtım Merkezi 7	28.74	33.53	86.22
Depo 5	Dağıtım Merkezi 1	22.41	26.145	67.23
	Dağıtım Merkezi 2	23.04	26.705	68.67
	Dağıtım Merkezi 3	15.69	18.305	47.07
	Dağıtım Merkezi 4	16.71	19.495	50.13
	Dağıtım Merkezi 5	10.62	12.39	31.86
	Dağıtım Merkezi 6	11.94	13.93	35.82
	Dağıtım Merkezi 7	20.88	24.36	62.64

Çizelge 4. 15 Depolardan dağıtım merkezlerine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2wdj_{wdj}$) (devamı).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Depo 6	Dağıtım Merkezi 1	31.14	36.33	93.42
	Dağıtım Merkezi 2	35.31	41.195	105.93
	Dağıtım Merkezi 3	29.85	34.825	89.55
	Dağıtım Merkezi 4	21.15	24.675	63.45
	Dağıtım Merkezi 5	7.98	9.31	23.94
	Dağıtım Merkezi 6	24.12	28.14	72.36
	Dağıtım Merkezi 7	21.09	24.605	63.27
Depo 7	Dağıtım Merkezi 1	37.29	43.505	111.87
	Dağıtım Merkezi 2	37.17	43.365	111.51
	Dağıtım Merkezi 3	28.98	33.81	86.94
	Dağıtım Merkezi 4	28.02	32.69	84.06
	Dağıtım Merkezi 5	12.42	14.49	37.26
	Dağıtım Merkezi 6	9.12	10.64	27.36
	Dağıtım Merkezi 7	6.09	7.105	18.27

Çizelge 4. 16 Dağıtım merkezlerinden müşterilere her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2dczj_{dczj}$).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Dağıtım Merkezi 1	Müşteri 1	6.33	7.385	18.99
	Müşteri 2	14.79	17.255	44.37
	Müşteri 3	8.82	10.29	26.46
	Müşteri 4	11.04	12.88	33.12
	Müşteri 5	23.43	27.335	70.29
	Müşteri 6	20.67	24.115	62.01
	Müşteri 7	26.43	30.835	79.29
	Müşteri 8	43.71	50.995	131.13
	Müşteri 9	46.23	53.935	138.69
Dağıtım Merkezi 2	Müşteri 1	9.75	11.375	29.25
	Müşteri 2	7.29	8.505	21.87
	Müşteri 3	16.23	18.935	48.69
	Müşteri 4	11.52	13.44	34.56
	Müşteri 5	22.35	26.075	67.05
	Müşteri 6	25.17	29.365	75.51
	Müşteri 7	28.92	33.74	86.76
	Müşteri 8	42.63	49.735	127.89
	Müşteri 9	47.85	55.825	143.55

Çizelge 4. 16 Dağıtım merkezlerinden müşterilere her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2dczj_{dczj}$) (devamı).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Dağıtım Merkezi 3	Müşteri 1	17.94	20.93	53.82
	Müşteri 2	7.86	9.17	23.58
	Müşteri 3	20.52	23.94	61.56
	Müşteri 4	5.73	6.685	17.19
	Müşteri 5	14.16	16.52	42.48
	Müşteri 6	20.31	23.695	60.93
	Müşteri 7	23.46	27.37	70.38
	Müşteri 8	34.44	40.18	103.32
	Müşteri 9	41.28	48.16	123.84
Dağıtım Merkezi 4	Müşteri 1	16.5	19.25	49.5
	Müşteri 2	19.86	23.17	59.58
	Müşteri 3	9.66	11.27	28.98
	Müşteri 4	7.74	9.03	23.22
	Müşteri 5	17.73	20.685	53.19
	Müşteri 6	10.68	12.46	32.04
	Müşteri 7	16.44	19.18	49.32
	Müşteri 8	34.68	40.46	104.04
	Müşteri 9	36.24	42.28	108.72
Dağıtım Merkezi 5	Müşteri 1	35.61	41.545	106.83
	Müşteri 2	33.3	38.85	99.9
	Müşteri 3	28.32	33.04	84.96
	Müşteri 4	19.71	22.995	59.13
	Müşteri 5	17.52	20.44	52.56
	Müşteri 6	11.76	13.72	35.28
	Müşteri 7	6.6	7.7	19.8
	Müşteri 8	19.32	22.54	57.96
	Müşteri 9	16.95	19.775	50.85
Dağıtım Merkezi 6	Müşteri 1	39.69	46.305	119.07
	Müşteri 2	31.95	37.275	95.85
	Müşteri 3	36.96	43.12	110.88
	Müşteri 4	22.32	26.04	66.96
	Müşteri 5	9.93	11.585	29.79
	Müşteri 6	25.35	29.575	76.05
	Müşteri 7	22.83	26.635	68.49
	Müşteri 8	10.35	12.075	31.05
	Müşteri 9	21.45	25.025	64.35

Çizelge 4. 16 Dağıtım merkezlerinden müşterilere her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2dczj_{dczj}$) (devamı).

		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Dağıtım Merkezi 7	Müşteri 1	49.62	57.89	148.86
	Müşteri 2	42.84	49.98	128.52
	Müşteri 3	43.44	50.68	130.32
	Müşteri 4	32.25	37.625	96.75
	Müşteri 5	22.83	26.635	68.49
	Müşteri 6	30.27	35.315	90.81
	Müşteri 7	25.11	29.295	75.33
	Müşteri 8	2.79	3.255	8.37
	Müşteri 9	10.95	12.775	32.85

Çizelge 4. 17 Müşterilerden geri dönüşüm merkezine her bir taşıma biçimiyle taşınan ürün için birim CO2 salınım miktarları ($CO2czrj_{czrj}$).

		Geri dönüşüm merkezi		
		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Müşteri 1		19.62	22.89	58.86
Müşteri 2		15.84	18.48	47.52
Müşteri 3		17.01	19.845	51.03
Müşteri 4		2.25	2.625	6.75
Müşteri 5		10.14	11.83	30.42
Müşteri 6		14.22	16.59	42.66
Müşteri 7		15.6	18.2	46.8
Müşteri 8		30.42	35.49	91.26
Müşteri 9		34.53	40.285	103.59

Çizelge 4. 18 Geri dönüşüm merkezinden fabrikaya her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınım miktarları ($CO2rpj_{rpj}$).

		Fabrika		
		Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Geri Dönüşüm Merkezi	Bileşen 1	20.04	23.38	60.12
	Bileşen 2	20.04	23.38	60.12

Çizelge 4. 19 Geri dönüşüm merkezinden imha merkezine her bir taşıma biçimiyle taşınan bileşen için birim CO2 salınım miktarları ($CO2rhj_{rhj}$).

	İmha Merkezi		
	Taşıma biçimi 1	Taşıma biçimi 2	Taşıma biçimi 3
Geri Dönüşüm Merkezi	11.58	13.51	34.74

Çizelge 4. 20 Depoların bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($ratingW_w(\%)$).

Depo 1	40
Depo 2	60
Depo 3	45
Depo 4	55
Depo 5	60
Depo 6	50
Depo 7	90

Çizelge 4. 21 Dağıtım merkezlerinin bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($ratingD_d(\%)$).

Dağıtım merkezi 1	60
Dağıtım merkezi 2	65
Dağıtım merkezi 3	70
Dağıtım merkezi 4	70
Dağıtım merkezi 5	65
Dağıtım merkezi 6	55
Dağıtım merkezi 7	40

Çizelge 4. 22 Depoların birim CO2 salınım miktarları (CWw_w).

Depo 1	8
Depo 2	1
Depo 3	9
Depo 4	7
Depo 5	8
Depo 6	9
Depo 7	5

Çizelge 4. 23 Dağıtım merkezlerinin birim CO2 salınım miktarları (CDd_d).

Dağıtım merkezi 1	4
Dağıtım merkezi 2	2
Dağıtım merkezi 3	1
Dağıtım merkezi 4	1
Dağıtım merkezi 5	1
Dağıtım merkezi 6	1
Dağıtım merkezi 7	6

4.4 Uygulamanın Çözümü

Sayısal verileri yukarıda verilen çok amaçlı lineer modelimiz Bölüm 3.5.3’de incelediğimiz bulanık yaklaşım ile çözülmüştür. Sonuçlar GAMS programı yardımı ile elde edilmiştir. Öncelikle bulanık yaklaşımın uygulanabilmesi için amaçların üyelik fonksiyonları belirlenmiştir.

Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Uygulamamızda lineer üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Ele aldığımız modelde toplam maliyet minimizasyonu, depo ve dağıtım merkezlerinin toplam önem yüzdesinin maksimizasyonu ve ele alınan tedarik zinciri ağındaki toplam CO2 salınımının minimizasyonu hedeflenmektedir. Sayısal veriler (4.1)-(4.34)’de yerine yazılırsa uygulamamıza ait kısıtlar ve amaç fonksiyonları aracılığıyla ÇAÇAYKDTZ problemi elde edilir. Çok amaçlı bu problem Bölüm 3.5.3’de incelediğimiz bulanık yaklaşım ile çözülecektir. İlk olarak amaçların üyelik fonksiyonları belirlenmelidir. Bunun için gerekli olan amaçların sınır değerleri (3.14) aracılığıyla, her bir amaç (4.1)-(4.31) kısıtları altında tek tek çözdürülerek elde edilir. Bu değerler Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4. 24 Amaçların bireysel maksimum ve minimumları.

	Maksimum	Minimum
Amaç 1	2.777567×10^8	3.605166×10^7
Amaç 2	3.081500×10^8	1.953000×10^8
Amaç 3	1.008636×10^9	1.712581×10^8

Çizelge 4.30'daki sınır değerleri kullanılarak oluşturulan, $[Z_k^-, Z_k^+]$ ($k=1,2,3$) aralığındaki üyelik fonksiyonları

$$\mu_1(Z_1(x)) = \frac{277756700 - Z_1}{277756700 - 36051660}$$

$$\mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2 - 195300000}{308150000 - 195300000}$$

$$\mu_3(Z_3(x)) = \frac{1008636000 - Z_3}{1008636000 - 171258100}$$

biçiminde oluşturulur. Buna göre uygulama için elde edilen min operatör modeli

Amaç : $\max \lambda$

$$\begin{aligned} \text{Kısıtlar : } & \frac{277756700 - Z_1}{277756700 - 36051660} \geq \lambda \\ & \frac{Z_2 - 195300000}{308150000 - 195300000} \geq \lambda \\ & \frac{1008636000 - Z_3}{1008636000 - 171258100} \geq \lambda \end{aligned}$$

$$x \in X_T$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (4.35)$$

şeklinde olacaktır. (4.35) modelinin çözümü ile edilen amaç fonksiyon değerleri ve amaçların temel tatmin seviyesi

$$\lambda = 0.732$$

$$Z_1 = 89579000$$

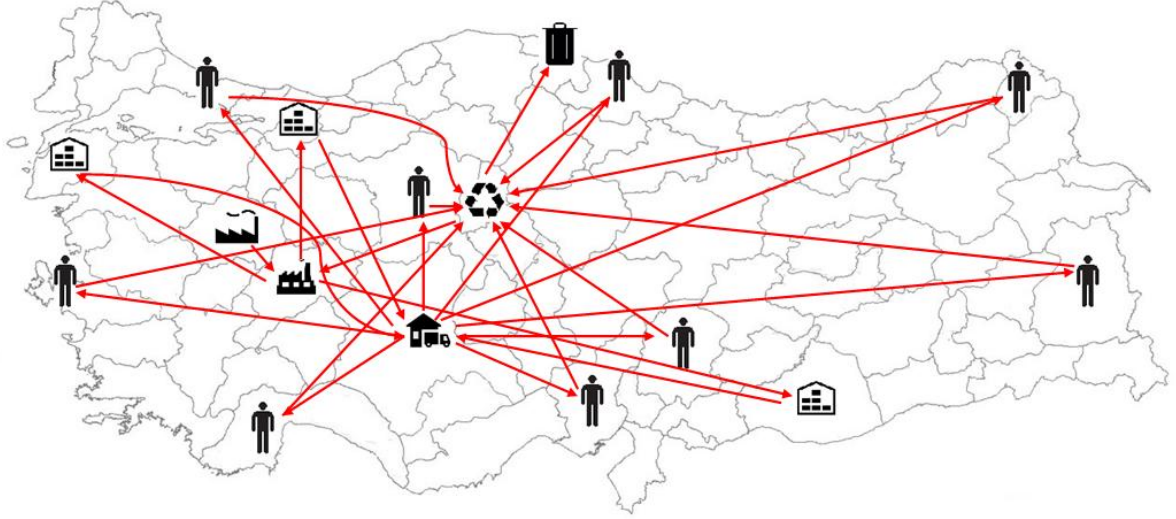
$$Z_2 = 277900000$$

$$Z_3 = 339090000$$

'dir.

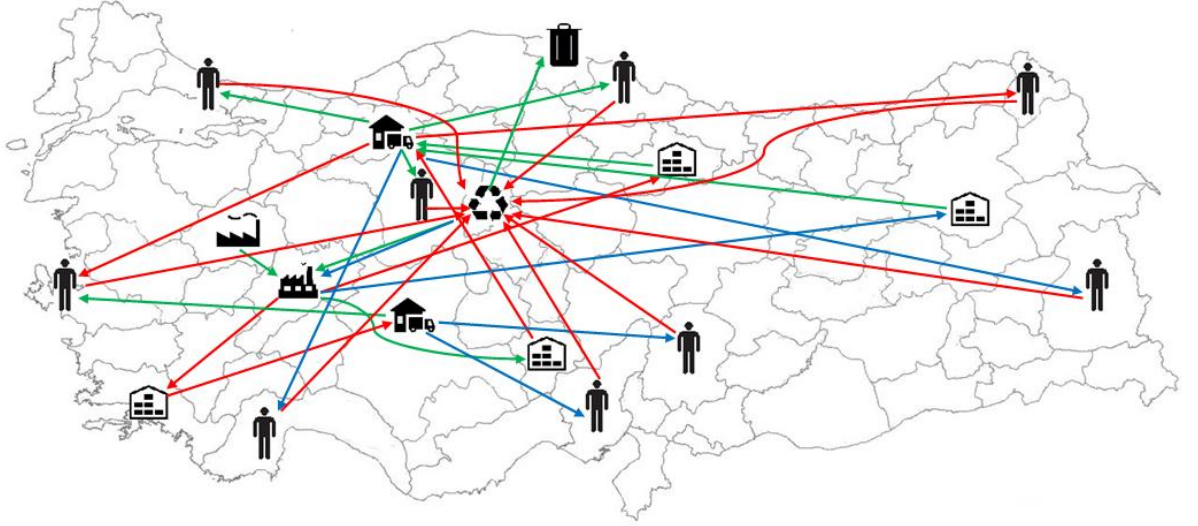
Şekil 4.2'de 1. Amaç fonksiyonunun minimize edilmesiyle elde edilmiş olan tedarik zinciri ağı, Şekil 4.3'te 2. Amaç fonksiyonunun maksimize edilmesiyle elde edilmiş olan tedarik zinciri ağı ve Şekil 4.4'te 3. Amaç fonksiyonunun minimize edilmesiyle elde edilmiş olan tedarik zinciri ağı ve son olarak Şekil 4.5'te her üç amaç fonksiyonunun da

dikkate alınarak ortak tatminlerinin maksimize edildiği optimal tedarik zinciri ağı görülmektedir. Şekil 4.2-Şekil 4.5’de farklı taşıma biçimleri farklı renklerdeki oklarla gösterilmiştir. Yeşil, mavi ve kırmızı oklar sırasıyla birinci ($j=1$), ikinci ($j=2$) ve üçüncü ($j=3$) taşıma biçimlerini ifade etmektedir.



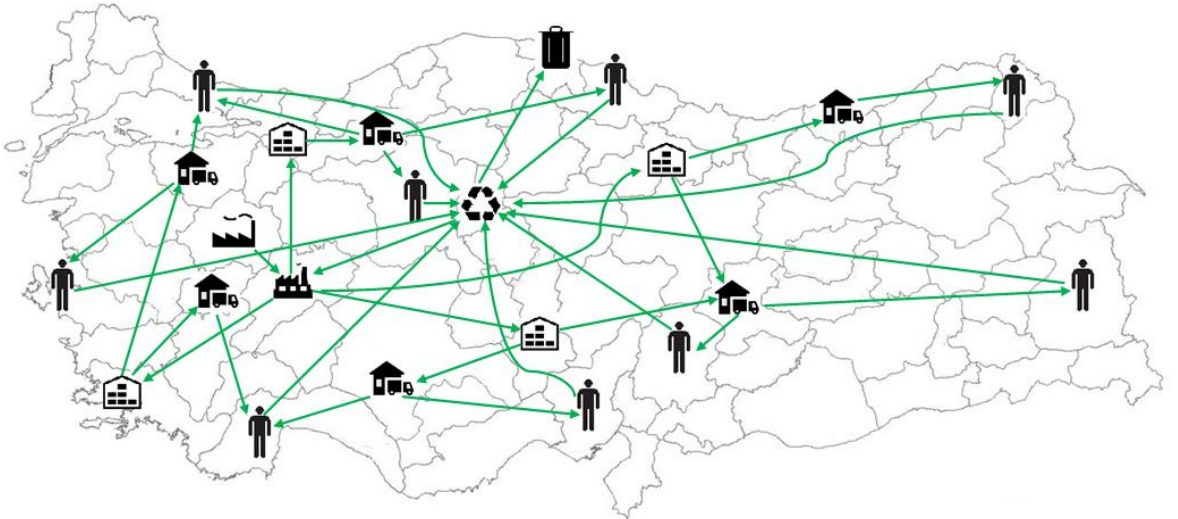
Şekil 4. 2 1. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAÇAYKDTZ ağı.

Şekil 4.2’deki ağda amaç, taşıma ve tesis kurulum maliyetlerinin minimize etmektir. Nitekim model, tesis kurulum maliyetlerini düşürmek için olabildiğince az tesis kurmuş, kurduğu tesisleri de talebin yoğun olduğu bölgelere yakın kurarak taşıma maliyetini olabildiğince azaltmıştır. Çanakkale, Sakarya ve Şanlıurfa’da olmak üzere 3 adet depo ve Konya’da 1 adet dağıtım merkezi kurulmuştur. Görüldüğü gibi Çanakkale ve Sakarya’daki depolar ile Konya’daki dağıtım merkezi talebin yoğun olduğu batı bölgelere yakındır. Tesisler arasındaki taşımalar $j=3$ taşıma biçimi ile yapılmıştır. Ki, bu taşıma şekli diğerlerine göre maliyeti en düşük olandır. Toplam maliyet 36052000 pb.’dir. Ancak amaç, salınımı dikkate almadığından CO2 salınım miktarının 635800000 birim gibi oldukça yüksek bir miktar çıktığı görülmektedir.



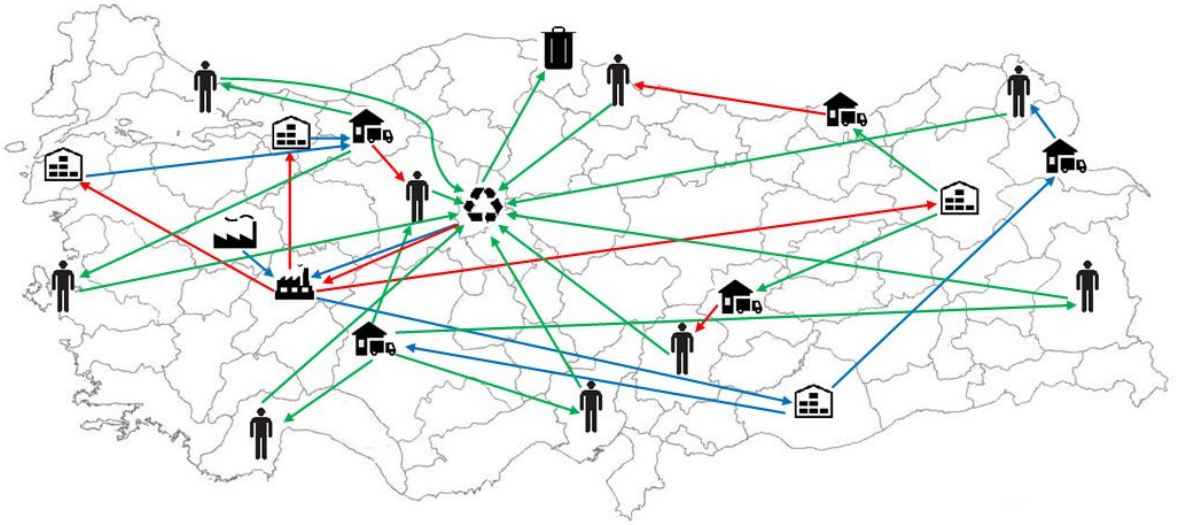
Şekil 4. 3 2. amaç fonksiyonunun bireysel maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAÇAYKDTZ ağı.

Şekil 4.3'teki ağda amaç, önceden belirlenmiş olan önem yüzdelerini maksimize edecek tesis kurulum ve taşıma kararlarını almaktır. Ağ incelendiğinde, önem yüzdeleri en yüksek olan 4 deponun ve yine en yüksek önem yüzdelerine sahip 2 dağıtım merkezinin kurulum kararının alındığı görülmektedir. Depolar Muğla, Niğde, Tokat ve Erzurum'da; dağıtım merkezleri ise Bolu ve Konya'da kurulmuştur. Tüm taşıma biçimlerinden de faydalanılmıştır. Toplam maliyet 91930000 pb. ve toplam CO2 salınım miktarı 404530000 birimdir.



Şekil 4. 4 3. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAÇAYKDTZ ağı.

Şekil 4.4'teki ağda amaç, CO2 salınımını minimize eden tesis kurulum ve taşıma biçimi kararlarını vermektir. Muğla, Sakarya, Niğde ve Şanlıurfa'da 4 depo, Uşak, Bursa, Bolu, Konya, Malatya ve Trabzon'da 6 dağıtım merkezi kurulmuştur. Ortaya çıkan ağ incelendiğinde, tüm taşımaların CO2 salınımı en düşük olan taşıma biçimiyle yapıldığı görülmektedir. Sadece CO2 salınımı dikkate alınarak ağ oluşturulduğundan toplam maliyet 139100000 pb. ve toplam önem yüzdesi 273550000 dir. Buna karşılık toplam CO2 salınım miktarı 171260000 birimdir.



Şekil 4. 5 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmininin maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAÇAYKDTZ ağı.

Şekil 4.5'teki ağda amaç, amaçların ortak tatminini maksimize etmektir. Böylece 3 amacın da olabildiğince yüksek seviyede tatminini sağlayan bir ağ ortaya çıkmıştır. Optimal durumda, 4 depo ve 5 dağıtım merkezi kurulma kararı alınmıştır. Depolar; Çanakkale, Sakarya, Şanlıurfa ve Erzurum'a; dağıtım merkezleri ise Bolu, Konya, Malatya, Trabzon ve Kars'a kurulmuştur. Taşıma biçimleri incelendiğinde, her 3 taşıma biçiminden de birbirine yakın oranlarda faydalandığı görülmektedir. Dağıtım merkezlerinin kurulduğu yerlere bakıldığında hizmet verdikleri müşterilere yakın konumda olmaları ağdaki tutarlılığı göstermektedir. Örneğin; Bolu'da kurulmuş olan dağıtım merkezi, İzmir, İstanbul ve Ankara'ya hizmet etmektedir. Toplam maliyet 89579000 pb. dir ve tatmin seviyesi 0.779 dur. Toplam önem yüzdesi 27790000 dir ve

0.732 seviyesinde tatmin edilmiştir. Toplam CO2 salınımı miktarı 339090000 birimdir ve tatmin seviyesi 0.800 dür. Böylece amaçların ortak tatmini 0.732 seviyesindedir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevre kirliliğinin günümüzdeki kadar dikkate alınmadığı yıllarda tedarik zinciri ağ tasarımlarında çevre faktörlerinin maliyeti arttıracakı düşünölmekteydi. Ancak yapılan bu çalışma zincirin kapalı devre olmasının, geridönüşüm faaliyetlerinden yararlanılmasının ve taşıma biçiminin dikkate alınmasının zincirin toplam maliyetini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Zincire yapılan bu eklemeler ile müşteri memnuniyeti ve buna bağılı olarak karlılık artmıştır. Tedarik zincirinin yeşil özellikler taşıması hem şirketler, hem müşteriler, hem de doğa için önemli kazanımlar sunacaktır.

Herbir amacın bireysel optimum değerleri ve ortaya çıkan ağlar incelendiğinde ve bunlar karşılaştırıldığında her bir amacın optimum değerine ulaştığı durumlarda diğer amaçlarla ilgili değerlerin bireysel optimum durumlarının oldukça uzağında olduğu görölmektedir. Ancak amaçların ortak tatmininin maksimize edildiğı son durumda tatminin 0.732 çıkması, amaçların %70'in üzerinde bir oranla tatmin edildiğini göstermektedir. Tesis kurulumunda ekonomi, çevre ve KV kararları arasında bir denge kurulduğu gösterilmiştir. Modelin kapalı devre olması ve böylece içerdığı geri dönüşüm prosedürü ile model kıt kaynakların israfının önlenmesine ve böylece gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakılmasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışmamızda, yeşil olma ve olmama anlamında birbiri ile çelişmesine rağmen ortak tatmin seviyelerinde buluşabilen amaçların karşılıklı ödünleştığı yeşil kapalı devre bir tedarik zinciri ağı tasarlanmıştır. Geri dönüştürölebilen hammadde ya da yarı mamölün kullanılmasının, tesisler arası taşımalarda çevreye duyarlı taşıma biçimlerinden

faýdalanılmasının, kurulacak tesislerin çevreyle dost olmasının sağlanmasının öneme dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

Son yıllarda yeşil tedarik zincirinin yerini artık sürdürülebilir tedarik zinciri kavramı almaya başlamıştır. Şirketlerin ürün ve hizmetlerinin ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerini göz önüne alarak stratejilerini belirleme yoluna gitmesi sürdürülebilirlik fikrinin bir sonucudur. Yapılan bu çalışma ekonomik ve çevresel anlamda sunduğu katkı bakımından sürdürülebilirliğe giden yolda bir basamak olarak algılanabilir.

Bu çalışmadan sonra da demiryolu ve denizyolu gibi çevre dostu taşıma biçimlerinin ağırlıklı olduğu kombine taşımacılığı içeren, tedarikçi seçiminde tekeltciliği engelleyici çalışmalar yapılması düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Fahimnia, B., Sarkis, J. ve Davarzani, H. (2015). "Green Supply Chain Management: A Review And Bibliometric Analysis", International Journal of Production Economics 162, 101-114.
- [2] Beamon, B.M., (1998). "Models and Methods", International Journal of Production Economics, 55, 3, 281-294.
- [3] Min, H. ve Zhou, G., (2002). "Supply chain modeling: past, present and future", Computer and Industrial Engineering, 43, 231-249.
- [4] Ghodsypour S.H. ve O'Brien C., (1998). "A decision support system for supplier selection using an integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming", International Journal of Production Economics, 56-57, 199-212.
- [5] Tsiakis, P., Shah, N. ve Pantelides C.C., (2001). "Design of Multiechelon Supply Chain Networks under Demand Uncertainty", Ind. Eng. Chem. Res., 40, 3585-3604.
- [6] Paksoy, T.,Tedarik zinciri yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu: malzeme ihtiyaç kısıtı altında stratejik bir üretim-dağıtım modeli,
http://www.sosyalbil.selcuk.edu.tr/sos_mak/makaleler/Turan%20PAKSOY/435-454.pdf, 19 Nisan 2012.
- [7] Paksoy,T., zceylan, E. ve Weber G.W., A Multi-Objective Mixed Integer Programming Model for Multi Echelon Supply Chain Network Design and Optimization, <http://144.122.137.13/iam/images/4/43/Preprint150.pdf>, 23 Nisan 2012.
- [8] Kumar, M., Vrat, P. ve Shankar, R., (2005). "A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in A Supply Chain", International Journal of Production Economics, 101, 273-285.
- [9] Amid, A., Ghodsypour, S.H. ve O'Brien C., (2005). "Fuzzy Multiobjective Linear Model for Supplier Selection in a Supply Chain", International Journal of Production Economics, 104, 394-407.

- [10] Chen, C-L., Yuan, T-W. ve Lee, W-C., (2007). "Multicriteria Fuzzy Optimization for Locating Warehouses and Distribution Centers in a Supply Chain Network", Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers, 38, 393-407.
- [11] Ahlatcıoğlu Özkök, B. ve Tiryaki, F. (2011). "A compensatory fuzzy approach to multi- objective linear supplier selection problem with multiple-item", Expert Systems with Applications, 38, 11363-11368.
- [12] Gonce Köçken, H., Ahlatcıoğlu Özkök, B. ve Ahlatcıoğlu, M. (2011). "Çok Aşamalı Çok Ürünlü Tedarik Zincirine Dengeleyici Bulanık Bir Yaklaşım", Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 10-12 Mayıs 2012, Konya, 665-674.
- [13] Ahlatcıoğlu Özkök, B., Gonce Köçken, H. ve Budak, E. (2011). "Çok Aşamalı Çok Amaçlı Kapalı Devre Tedarik Zincirine Bulanık Bir Yaklaşım", Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 10-12 Mayıs 2012, Konya.
- [14] ReVelle, C.S. ve Eiselt, H.A. (2005). "Location analysis: A synthesis and survey", European Journal of Operational Research , 165 ,1–19.
- [15] Arntzen, B., Brown G., Harrison, T. ve Trafton, L. (1995). "Global supply chain management at digital equipment corporation ". Interfaces, 21 (1), 69-93.
- [16] Daskin, M., Snyder, L. ve Berger, R. (2005). "Facility location in supply chain design. Logistics Systems: Design and Optimization ". Springer, New York, 39-65.
- [17] Martel, A. (2005). "The design of production-distribution networks: A mathematical programming approach", In: Geunes, J., Pardalos, P. (Eds.), Supply Chain Optimization. Springer , 265-306.
- [18] Klose, A. ve Drexler, A. (2005). "Facility location models for distribution system design ", European Journal of Operational Research, 162, 4-29.
- [19] Cordeau, J.F., Pasin, F. ve Solomon, M.M. (2006). "An integrated model for logistics network design", Annals of Operations Research, 144, 59-82.
- [20] Amiri, A. (2006). "Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure ", European Journal of Operational Research, 171, 567-576.
- [21] Wilhelm, W., Liang, D., Rao, B., Warrier, D., Zhu, X. ve Bulusu, S. (2005). "Design of international assembly systems and their supply chains under NAFTA", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 41, 467-493.
- [22] Pan, S., Ballot, E. ve Fontane, F. (2009). "The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by merging supply chains ", International Conference of Industrial Engineering and Systems Management, IESM, Montreal, Kanada.
- [23] Paksoy, T., Özceylan, E. ve Weber, G.W. (2010). "A multi-objective model for optimization of a green supply chain network ", Proceedings of PCO 2010, 3rd Global Conference on Power Control and Optimization, 24 Şubat 2010, Gold Coast, Queensland, Avustralya.

- [24] Bouzembrak, Y., Allaoui, H., Goncalves, G. ve Bouchriha, H. (2011). "A multi-objective green supply chain network design", Logistics (LOGISTIQUE), 2011 4th International Conference, Hammamet, Tunus, 357-361.
- [25] Bowersox, D.J. (1969). "Readings in Physical Distribution Management: The Logistics of Marketing", Eds. Bowersox, D.J., La Londe, B.J., and Smykay, E.W., MacMillan, New York.
- [26] Ross, D.F. (1998). "Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships", Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [27] Metz, P.J. (1998). "Demystifying Supply Chain Management", Supply Chain Management Review V.1, No.4, P.46-55, Evanston.
- [28] Handfield, R.B. ve Nicolas, E.L. (1999). "Introduction to Supply Chain Management", Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [29] Timur, M.N., Başkol, M., Çekerol, G.S. ve Suvacı, B. (2013). Tedarik Zinciri Yönetimi, 1. Baskı, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2889, Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 1846, Eskişehir.
- [30] Ganeshan, R. ve Harrinson, T.P. (1995). "An Introduction to Supply Chain", Department of management sciences and information systems, 303.
- [31] Özbay, B. (2008). "Tedarik Zincirinde Optimizasyon ve Bir İplik İşletmesinde Uygulama", Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Pamukkale.
- [32] Frosch, R. ve Gallopoulos, N. (1989). "Strategies for Manufacturing", Scientific American 261; (September), 144–15.
- [33] Fleig, A. K. (2000). "Eco-Industrial Parks as a Strategy Towards Industrial Ecology in Developing and Newly Industrialised Countries". (Report prepared for The Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (German Technical Cooperation).
- [34] Lowe, E. A., Moran, S. R. ve Holmes, D. B. (1998). Eco-Industrial Parks – a handbook for local development teams, Draft. Indigo Development, RPP International, Oakland, CA.
- [35] Zhu, Q., Sarkis, J. ve Lai, K. (2008). "Green Supply Chain Management Implications For Closing The Loop", Transportation Research Part E, 44, 1-18.
- [36] Neto, J., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Van Nunen, J., ve Van Heck, E. (2008). "Designing And Evaluating Sustainable Logistics Networks", International Journal of Production Economics 111, 195-208.
- [37] PWC (2008). "Going Green: Sustainable Growth Strategies", Research Report, PricewaterhouseCoopers.
- [38] Linton, J., Klassen, R. ve Jayaraman, V. (2007). "Sustainable Supply Chains: An Introduction", Journal of Operations Management, 25, 1075-1082.

- [39] Corbett, C. J. (2008). "Yeni Ufuklar Açmak: Operasyonel Mükemmelliği Sağlayan Bir Araç Olarak Yeşil Tedarik Zincirleri", 10. Lojistik Zirvesi Sunumu, 9-10 Nisan 2008, İstanbul.
- [40] Simpson, D. ve Power, D. (2005). "Use The Supply Relationship To Develop Lean And Green Suppliers", Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 10, Iss: 1, pp. 60-68.
- [41] Van Hoek, R. I. (1999). "From Reversed Logistics To Green Supply Chains", supply Chain Management, 4, 3, 129-134.
- [42] Sarkis, J. (2003). "A Strategic Framework For Green Supply Chain Management", Journal of Cleaner Production, 11, 397-409.
- [43] Zhu, Q. ve Sarkis, J. (2004). "Relationships Between Operational Practices And Performance Among Early Adopters Of Green Supply Chain Management Practices In Chinese Manufacturing Enterprises", Journal of Operations Management, 22, 265-289.
- [44] Wilkerson, T. (2005). "Best Practices in Implementing Green Supply Chains", North America Supply Chain World Conference and Exposition, http://postconflict.unep.ch/humanitarianaction/documents/02_08-04_05-25.pdf, 25 Şubat 2016.
- [45] Sarkis, J. (1998). "Theory And Methodology: Evaluating Environmentally Conscious Business Practices", European Journal of Operational Research, 107, 159-174.
- [46] Sarkis, J. , Hervani A. A. ve Helms M. M. (2005). "Performance Measurement For Green Supply Chain Management", Benchmarking: An International Journal, 12, 4, 330-353.
- [47] Büyüközkan, G. ve Çapan, A. (2007). "Improving Green Supply Chain Management Practices: A Case Study", Proceeding of the 5th International Logistics and Supply Chain Congress, 597-605, 8-9 Kasım 2007, İstanbul.
- [48] Büyüközkan, G. ve Vardaloğlu, Z. (2008). "Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi", Lojistik Dergisi, 8, 66-73.
- [49] Fawcett, S. E. , Vellanga, D. B. ve Truitt, L. J. (1995). "An Evaluation of Logistics and Transportation Professional Organizations", Journal of Business Logistics, 16, 1, 300.
- [50] Köfteci, S. ve Gerçek, H. (2010). "Yük Taşımacılığında Taşıma Türü Seçimi İçin Lojistik Maliyetlere Dayalı İkili Lojit Model", İMO Teknik Dergi 2010, 5087-5112.
- [51] Demirlioğlu, H. (2008). "Türkiye Denizyolu Konteyner Taşımacılığının Kombine Taşımacılık İle Geliştirilmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [52] Ülker, E. ve Çomak, E., (2004). "İki Boyutta Verilen 4 Kontrol Noktasına Göre Bulanık Mantık Kullanılarak Eğri Uydurulması", IJSIT Lecture Notes of 1st International Conference on Informatics, 1 (2).

- [53] Aksoy, Y., Özkan, E.M. ve Karanfil, S., (2003). Bulanık Mantığa Giriş, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 4, İstanbul.
- [54] Sakawa, M., (1993). Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization, Plenum Press, Newyork.
- [55] Zimmermann H.-J., (1993). Fuzzy Set Theory-and Its Applications, Second, Revised Edition, Sixth Printing, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London.
- [56] Şen, Z., Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri, Bilge Kültür Sanat Yayınları, İstanbul, 2001.
- [57] Evren, R. ve Ülengin, F., (1992). Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- [58] Köçken, G. H., (2011). Şebeke Analizlerine Bulanık Yaklaşımlar, Doktora, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [59] Zimmermann, H.-J., (1978). "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", Fuzzy Sets and Systems,1: 45-55.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Koray KÖÇKEN
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.08.1980-Almanya
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : koraykocken@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Ortaöğretim Alan Öğretmenliği	İstanbul Üniversitesi	2007
Lisans	Matematik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2004
Lise	Fen Bilimleri	Bahçelievler Anadolu Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-Halen	Esenyurt Anadolu Lisesi	Matematik Öğretmeni
2007-2009	Sınav Dergisi Dersanesi	Matematik Öğretmeni
2003-2006	Yeni İletişim Dersanesi	Matematik Öğretmeni

2001-2003	Alfa Dersanesi	Matematik Öğretmeni (Yarı Zamanlı)
1995-1999	Silen Ticaret	Satış Elemanı (Yarı Zamanlı)

