

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMINA
YÖNELİK KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ**

Endüstri Yük. Müh. Vildan ÖZKIR

FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi: 3 Temmuz 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN (İTÜ)

: Doç.Dr. İlker BİRBİL (Sabancı Üniv.)

: Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL (YTÜ)

: Yrd. Doç. Dr. SEMİH ÖNÜT (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 PROBLEMİN TANIMI	2
1.2 ARAŞTIRMANIN AMACI	4
1.3 ARAŞTIRMANIN ORGANİZASYONU	5
2. TEDARİK ZİNCİRİ SİSTEMLERİ	7
2.1 TEDARİK ZİNCİRİ KAVRAMI	7
2.2 TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI	9
2.3 TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI PERFORMANSI	11
2.4 TERSİNE TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI	13
2.5 GERİ KAZANIM AĞLARI TASARIMI	14
2.6 TEDARİK ZİNCİRİ BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ	15
2.7 KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ KAVRAMI VE TERMİNOLOJİ	17
2.8 KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI	21
2.9 KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI PERFORMANSI	24
2.9.1 Sürdürülebilirlik	24
2.9.2 Ürün Yaşam Çevrimi	25
2.9.3 Belirsizlik	26
2.9.4 Geri Dönüşüm	27
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	28
3.1 TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI	28
3.2 TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI PERFORMANSI	30
3.3 TERSİNE TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI	32
3.4 GERİ KAZANIM AĞLARI TASARIMI	36

3.5	KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI.....	37
3.6	KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMI PERFORMANSI	39
4.	ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	41
4.1	KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA.....	41
4.2	BULANIK ÇOK AMAÇLI KARAR VERME.....	44
4.3	BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA.....	48
4.4	BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA	51
5.	GELİŞTİRİLEN KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ MODELİ.....	57
5.1	MODELİN KAVRAMSAL TASARIMI VE ORGANİZASYONU	57
5.2	MÜŞTERİ MEMNUNİYETİ FONKSİYONLARI.....	60
5.2.1	Müşterinin Ürün Taleplerinin Tatmini	61
5.2.2	Müşterinin Fiyat Beklentilerinin Tatmini	63
5.3	GELİR FONKSİYONLARI	70
5.4	MALİYET FONKSİYONLARI	71
5.4.1	Satın Alma Maliyetleri	71
5.4.2	İşleme Maliyetleri	72
5.4.3	Taşıma Maliyetleri.....	74
5.4.4	Kurulma Maliyetleri	76
5.4.5	Sabit Maliyetler	77
5.4.6	Depolama ve Elde Bulundurma Maliyetleri	78
5.4.7	Ceza Maliyetleri.....	80
5.5	KARAR BİLEŞENLERİ	81
5.6	KISIT DENKLEMLERİ.....	88
5.7	MODELİN ÇIKTILARI.....	90
5.8	ÇIKTILARIN ANALİZİ VE MODELİN DOĞRULANMASI	104
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	111
	ÖZGEÇMİŞ.....	138
	EKLER	125

KISALTMA LİSTESİ

GSCF	Küresel Tedarik Zinciri Yönetim Forumu Kuruluşu
APICS	Yöneylem Araştırması Birliği
AB	Avrupa Birliği
SCOR	Tedarik Zinciri Operasyonları Referans Modeli
ÇADP	Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (MOLP)
BÇAP	Bulanık Çok Amaçlı Programlama
KTDOP	Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama (MINLP)
DOP	Doğrusal Olmayan Programlama (NLP)
KTP	Karma Tamsayılı Programlama (MIP)
ÇADOP	Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama (MINLP)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Tedarik zinciri kavramsal modeli.....	7
Şekil 2.2 Tedarik zinciri yönetim süreçleri	8
Şekil 2.3 Tedarik zinciri tasarımı metodolojisi	11
Şekil 2.4 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri ve Geri Kazanım Seçenekleri	18
Şekil 2.5 İadeleri içeren Envanter Sistemi.....	21
Şekil 2.6 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri ve Geri Kazanımı Seçenekleri	22
Şekil 2.7 Kapalı çevrim tedarik zincirinde geri kazanım	22
Şekil 2.8 Ürün Yaşam Çevrimi	25
Şekil 3.1 SCOR Modeli.	30
Şekil 5.1 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Genel Modeli.....	57
Şekil 5.2 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Birimleri ve İlişkileri	58
Şekil 5.3 Ürün geri kazanımı süreci	60
Şekil 5.4 İade fiyatlandırması ile ilgili üyelik fonksiyonları.	64
Şekil 5.5 Durum 1 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları.....	65
Şekil 5.6 Durum 2 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları.....	65
Şekil 5.7 Geri kazanılmış ürün için dağıtım merkezi üyelik fonksiyonu	66
Şekil 5.8 Geri kazanılmış ürün için müşteri üyelik fonksiyonu	67
Şekil 5.9 Durum 1 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları.....	68
Şekil 5.10 Durum 2 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları.....	68
Şekil 5.11 Durum 1 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları.....	69
Şekil 5.12 İncelenen tedarik zinciri ağı	83
Şekil 5.13 Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri modeli	105
Şekil 5.14 Örnek durum 1 ve 2 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi.....	107
Şekil 5.15 Örnek durum 3 ve 4 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi.....	107
Şekil 5.16 Örnek durum 1 ve 3 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi.....	108
Şekil 5.17 Örnek durum 2 ve 4 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi.....	108
Şekil 5.18 Örnek durum 5 ve 6 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi.....	109
Şekil 5.19 Tüm örnek durumların gelir ve kâr açısından optimal çözümünden sapmaları	110

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Prensipleri.....	23
Çizelge 4.1 Tedarik zinciri problemleri ve çözüm yöntemleri.....	54
Çizelge 5.1 Karar Bileşenleri ve Kümeleri.....	81
Çizelge 5.2 Tesis Açılması Karar Değişkenleri.....	82
Çizelge 5.3 Atama Karar Değişkenleri.....	82
Çizelge 5.4 Üyelik fonksiyonuyla ifade edilen karar değişkenleri.....	83
Çizelge 5.5 Fiyatlarla ilgili sürekli karar değişkenleri	84
Çizelge 5.6 Tamsayılı değişkenler tablosu	84
Çizelge 5.7 Karar modelinin parametreleri	85
Çizelge 5.8 Birinci seviyede elde edilen değişken değerleri	91
Çizelge 5.9 Amaç fonksiyonu ve bileşenlerinin değerleri.....	92
Çizelge 5.10 Üyelik dereceleri değerleri	93
Çizelge 5.11 $xdcy(i, d, c, t)$ Değerleri	94
Çizelge 5.12 $xdce(i, d, c, t)$ Değerleri	95
Çizelge 5.13 $xpd(i, p, d, t)$ Değerleri	96
Çizelge 5.14 $xfd(i, f, d, t)$ Değerleri	97
Çizelge 5.15 $xrp(i, r, p, t)$ Değerleri	98
Çizelge 5.16 $xrf(i, r, f, t)$ Değerleri	99
Çizelge 5.17 $xjr(i, j, r, t)$ Değerleri.....	100
Çizelge 5.18 $xcj(i, c, j, t)$ Değerleri	101
Çizelge 5.19 Kurulma Değişkenlerinin Değerleri	102
Çizelge 5.20 Atama Değişkenlerinin Değerleri.....	103

ÖNSÖZ

Sürekli yeni birşeyler öğrenmenin ve öğrendiklerimi başkalarına aktarmanın en büyük keyif olduğunu anladığım sürece kadar, akademisyen olmak isteyeceğimi tahmin bile edemezdim. Bu mesleğin ilk ve temel aşaması olan doktora tezi çalışmalarımın sonuçlarını vermesi sürecinde, sadece bilimsel anlamda değil, kişisel anlamda da büyük kazanımlarım oldu. Bu çalışmayla öğrendiğim bilgilerin sayısı sonsuz; emek, uğraş, hayal kırıklığı, sabır ve başarı... Şüphesiz; yanımda olan onlarca insanın, değerli fikirlerinin, yardımlarının ve desteklerinin büyük payı var bu güzel sonda.

Herşeyden önce, bu tezin oluşmasında danışmanım olarak tezime sağladığı katkılar nedeniyle Hocam Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL'e teşekkür ediyorum. Kendisi, Y.T.Ü. bünyesinde öğrenim gördüğüm ve çalıştığım süre boyunca bana yol gösteren ve yardımcı esirgemeyen, her zaman bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli bir akademisyen olmuştur. Çalışmalarımı her zaman titizlikle inceleyen, yorumlarını ve fikirlerini paylaşmaktan yorulmayan, hızlı bir şekilde ilerleme elde etmem için beni düzenli teşvik eden hocama en güzel hediye olarak bu tez ile birlikte saygılarımı sunuyorum.

Bununla birlikte, tez denetleme jurimde olmaları nedeniyle, her zaman onur duyduğum Sayın Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL'e teşekkürü borç biliyorum. Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN çalışkanlığı, tecrübesi, itinalı ve incelikli tutumu ve mükemmel hoşgörüsüyle beni her zaman etkilemiş değerli bir insandır. Kendisi, yalnızca doktora tezimin gelişimine katkıda bulunmakla kalmayıp, öncesindeki ve beraberindeki çalışmalarına önem vermiş ve benimle değerli görüşlerini paylaşmaktan hiçbir zaman çekinmemiştir. Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL bana Yöneylem Araştırması'nın temellerini öğreten ve sevdiren, karşılaştığım problemlerde her zaman bana yol gösteren ve destek olan, kapısını çekinmeden çalabileceğim, bilgilerini, fikirlerini ve yorumlarını her zaman benimle paylaşan çok değerli bir akademisyendir. Kendisi ile aynı Anabilim dalında çalışmak ve birlikte bu doktora tezini meydana getirmek benim için mutluluk ve övünç kaynağıdır.

Bu doktora tezi ve öğrenim sürecimde başından sonuna benimle birlikte uğraş veren Aileme sonsuz teşekkür ediyorum. Başta, okumam ve doktor olmam konusunda en büyük hevese ve isteğe sahip olan dünya tatlısı insan, koruyucu meleğim, pamuk anneannem Türkan Pişkinbaş'a ve bir devlet büyüğü olmamı arzulayan, kocaman sevgi dolu ve cesur bir yüreğe sahip, fedakârlık, çalışkanlık ve iyilik timsali büyük insan rahmetli dedem Halit Pişkinbaş'a destekleri için sonsuz minnettarım.

Ne kadar değerli olduğunu ancak anne olduktan sonra anlamaya başladığım, 29 yıldır bana hayatımın her anında destek olan, oğluma da bana öğrettiği tüm güzellikleri öğretmeye devam eden, sonsuz sabır, özveri, iyilik ve asalet timsali yüce varlık annem Nurdan ÇETİNSAYA'ya bana kazandırdığı tüm değerler için ne kadar teşekkür etsem azdır. Ve 23 yıllık okul serüvenimde her zaman yorulduğuma kıyamayan, hiçbir zaman maddi-manevi desteğini esirgemeyen ve mimar olmamı arzulayan, hayatım boyunca tanıyabileceğim en çalışkan ve esprili insan babam Nuh ÇETİNSAYA'ya çok teşekkür ediyorum.

Sırada, doğduğum günden bu yana, hayatımızı, evimizi, arabamızı, acımızı ve tatlımızı paylaştığımız, birbirimize bir bakışla dünyaları anlattığımız, beraber gülüp, beraber ağlayıp, beraber büyüdüğümüz en yakın dostlarım kardeşlerim var. Bana sonsuz desteğini her zaman bildiğim ve hissettiğim, ayrılığının acısını her an kalbimde yaşadığım, kendisini tarif etmek için kelimelerimin yetersiz kaldığı, yeryüzündeki tüm maddi ve manevi güzellikleri üstünde

toplamlış hayat dolu insan abim Hakan ÇETİNSAYA'ya teşekkürü borç biliyorum.

Özellikle okul hayatımda bana sonsuz destek olan, bana öğrenmenin ilk adımı olan araştırmanın, incelemenin ve denemeler yapmanın temelini daha ilkokuldayken aşılayan, yaptığım yaramazlıkları, oynadığım oyunları, dinlediğim şarkıları, hayattan aldığım tüm dersleri ve zorluklara karşı ayakta durmayı öğreten, kardeşi olmakla her zaman onur duyduğum doğruluk ve dürüstlük timsali abim Selman ÇETİNSAYA'ya, güzel eşi Nurgöl'e ve kıymetli yeğenim Hakan'a teşekkür ediyorum.

Sorumluluk almanın, fedakârlık yapmanın ve teyze olmanın mükemmel duygular olduğunu gösteren, varlığıyla her zaman bana güç veren, en iyi arkadaşım, sırdaşım, iyilik ve güzellik timsali canım kız kardeşim İkbâl COŞKUNTUNA'ya, her zaman sohbetinden keyif aldığım eşi Coşkun'a ve tabii ki canım yeğenim Kaan'a bana her zaman destek oldukları için teşekkür ediyorum.

Ayrıca, çalışmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen annem Sevim ÖZKİR'a ve babam Mahmut ÖZKİR'a, bana yenge olmanın mutluluğunu tattıran güzel insan Esra ÖZDEMİRLER'e ve yakışıklı yeğenim Erdem'e teşekkür ediyorum.

Son olarak, çalışmalarım boyunca destekleri ile bana güç veren, birlikte paylaşmayı ve yaşamayı öğrendiğim, tecrübesine, bilgisine ve karakterine her zaman güvendiğim iyi ve kötü gün dostum, hayat arkadaşım Bülent'e teşekkür ediyorum. 2007'de doğumuyla bana dünyaları bahşeden, hayatımın anlamı, yaşam kaynağım, en büyük servetim biricik oğlum Halit Eren'e bana verdiği yaşam enerjisi için minnettarım.

Özetle, bu doktora tezini varlıklarıyla bana güç veren *Aileme* ithaf ediyorum.

Vildan ÇETİNSAYA ÖZKİR

ÖZET

Mevcut tedarik zinciri stratejileri öncelikli olarak envanter politikalarına, maliyeti ve temin sürelerini azaltma politikalarına ve yatırımın getirisi gibi finansal göstergelerde iyileştirme politikalarına odaklanırlar. Küresel Ticaret Girişiminin yayınladığı “Gelecek Tedarik Zinciri 2016: Müşterilere Sürdürülebilir Şekilde Hizmet Sunmak” adlı raporda, gelecekte endüstrinin CO₂ yayılımının azaltılması, enerji tüketiminin azaltılması, daha iyi izlenebilirlik ve daha az trafik oluşturma gibi ek parametreleri göz önünde bulundurmak suretiyle tasarım yapması gerekeceğini ortaya koymaktadır. Bu yeni parametrelerin tasarım süreçlerinde yer almasıyla birlikte, etkin gelişmeler sağlanacaktır.

Bu doktora tez çalışması ileri tedarik zinciri, tersine tedarik zinciri, geri kazanım ağları ve kapalı çevrim tedarik zinciri için tasarım prensiplerinin ve performans göstergelerinin bir rehberini sunmaktadır. Kapsamlı bir literatür araştırmasıyla, problemin tanımı kesinleştirilmiş, matematiksel model tasarlanmış ve ardından uygulanabilir çözüm yöntemleri araştırılmıştır. Uygun çözüm araçlarına karar verilmesiyle birlikte, sayısal bir örnek yardımıyla önerilen modelin kullanışlılığı gösterilmekte ve modelin doğrulanması sunulmaktadır.

Bu kapsamda, bu doktora tezi geri kazanım süreçlerini içeren bir kapalı çevrim tedarik zinciri kurmanın önemli özelliklerini açıklamaktadır. Problem, müşteri kaynaklı ürün iadelerini içeren geri kazanım ağlarını içermektedir. Müşterileri, toplama noktalarını, dönüşüm merkezlerini, geri kazanım tesislerini, fabrikaları ve dağıtım merkezlerini içeren genel bir kapalı çevrim tedarik zinciri tanımlamak suretiyle, üç farklı geri kazanım seçeneğini içeren çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli sunulmaktadır. Önerilen model kapsamında, sırasıyla, karşılıklı tarafların ortak tatmininin enbüyüklenmesi, müşterinin taleplerinin tatmininin enbüyüklenmesi ve toplam kapalı çevrim tedarik zinciri karının enbüyüklenmesi olmak üzere üç farklı öncelikte üç farklı amaç fonksiyonu tanımlanmaktadır. Önerilen modelin amacı, en uygun tesis sayısının, tesislerin yerlerinin, taşıma, üretim ve satınalma miktarlarının belirlenmesini içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri, Ağ Tasarımı, Çok amaçlı Programlama, Bulanık Mantık, Sürdürülebilirlik

A DECISION SUPPORT MODEL FOR CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN DESIGN

ABSTRACT

Current supply chain design strategies are primarily aimed at improving on-shelf availability, reducing cost, reducing lead times and supporting sound financial figures (like ROI or return on brand equity). According to the report of Global Commerce Initiative which is titled “The Future Supply Chain 2016: Serving Consumers in a Sustainable Way”, the industry must design for additional parameters like CO₂ emissions reduction, reduced energy consumption, better traceability and reduced traffic congestion in the future. The impact of these new parameters on the current bottom line may not yet be substantial but will grow in the coming years and efficiency improvements will almost certainly be realised.

This dissertation provides an overview of design principles and performance indicators for different supply chain types including forward flows, reverse flows and recovery chains. With a comprehensive literature survey, the problem definition is finalized, the mathematical model is formulated, and consequently applicable solution methods are investigated. A numerical example is presented to illustrate usefulness of the proposed model, the solution is derived by using GAMS optimization software and the model is validated against conformity.

In this context, this dissertation reveals the main features of establishing a closed-loop supply chain including recovery processes. The problem is handled through product recovery chain regarding the consumer sourced product returns, end-of-use products and end-of-life products. By defining general closed loop supply chain including customers, collection points, reverse centers, plants, recovery facilities and distribution centers, a multiple objective mixed integer nonlinear programming model is proposed regarding three recovery options such as material recovery, component recovery and product recovery. In this context, we conduct three level goal formulations as - maximizing satisfaction level of trade, maximizing satisfaction levels of customers and finally maximizing total CLSC profit function. The objective of proposed model is to seek the optimal number and the location(s) of these CLSC facilities and determine the optimal transportation, production, and purchasing quantities for the most attractive decision.

Anahtar Kelimeler: Closed Loop Supply Chain, Network Design, Multi-objective Programming, Fuzzy Logic, Sustainability.

1. GİRİŞ

Küreselleşme kavramının ortaya çıkmasıyla beraber önemi hızla artan ve günümüzde işletmelere rekabet avantajı sağlayabilecek en önemli faktör, içinde yer aldıkları tedarik zincirinin tasarımının ve yönetiminin sağlam temellere dayanılarak düzgün bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Tedarik zinciri yönetiminin iki temel prensibi olan, performans artışı ve ölçümünü gerçekleştirmeyi hedefleyen bir performans değerlendirme sistemi ve bu tedarik zincirinin nasıl yönetileceğini içeren tedarik zinciri yönetim sistemi kurulması işletmelere sayısız faydalar sağlamaktadır.

Bir tedarik zincirinin modellenmesi, kapsadığı alanın geniş ve karar bileşenlerin çok olması nedeniyle oldukça zordur. Tedarik zinciri, hammaddenin tedarikçiden başlayıp, ürünün nihai tüketiciye ulaşmasına kadar olan zincirin yönetilmesinin yanı sıra, herhangi bir nedenle kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin toplanıp, tekrar üretimin belirli bir aşamasına dâhil edilmesinin yönetimini de içerir. Başarılı bir tedarik zinciri tasarımını oluşturabilmek, oldukça yoğun bir çalışma ve farklı disiplinlerden yüksek derecede tecrübeyi gerektirir.

Tedarik zinciri kavramı, müşteri memnuniyetini ve kârlılığını artırması nedeniyle araştırmacıların ve işletmecilerin ilgi odağı olmaya devam etmektedir. Tedarik zinciri tasarımı ve yönetimi konusunda gerek işletmeler gerekse araştırmacılar sürekli olarak yeni alanlar keşfetmekte ve bu alanlarda yaşanan problemleri çözmek amacıyla yeni yaklaşımlar önermektedirler.

Teknolojinin hızla gelişmesi, tüketimin artması, ürünlerin standartlaşması, ürün yaşam çevriminin kısalması gibi birçok neden ülkeleri atıklar ve iadeler konusunda hukuki düzenlemeler yapmaya zorlamıştır. Bu durum; tedarik zincirinin aslında tedarikçinin tedarikçisinden müşterinin müşterisine uzanan ucu açık bir zincir şeklinde değil, ürünün tasarım aşamasından itibaren tüketiciye giden yoldaki tüm aşamalarını ve kullanım fonksiyonunu tamamlamış olan ürünlerin geri dönüşümü aşamalarının tamamını içeren kapalı bir zincir şeklinde tasarlanması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Literatürde, tedarik zinciri sistemlerinin tasarımına yönelik olarak; ileriye akışı veya tersine akışı modellemek üzere önerilen pek çok çalışma yer almakla beraber, bu iki akışı birleştirmeyi hedefleyen araştırmaların sayısı yeterli değildir.

Bu tez çalışması, bu eksikliğin giderilmesi amacına hizmet etmek üzere her iki zincirin fonksiyonlarını incelemekte ve bütünü kapsayacak genel bir çalışma çerçevesi sunmaktadır. Ürünlerin tasarımından itibaren tedarik zinciri boyunca geçtiği tüm kapalı çevrim tedarik zinciri aşamaları bu çalışma kapsamında detaylı bir şekilde incelenmiştir.

1.1 Problemin Tanımı

Bu tez çalışmasında, literatürde oldukça az yer alan kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı kapsamında ürün geri kazanımı seçeneklerinin değerlendirilmesi yer almaktadır.

İleri tedarik zinciri, hammadde ve bileşenlerin tedarik edilmesi, üretim, montaj, depolama, envanter ve sipariş yönetimi, dağıtım, müşterilere teslim ve tüm bu aktivitelerin gözlenmesi için gereken bilgi sistemleri dahil olmak üzere, hammadde evresinden müşteriye kadar bir ürünün dağıtımında yer alan tüm aktiviteleri içerir.

Ürünlerin müşterilerde kullanım ömrünü tamamlanmasıyla birlikte, bu ürünlerin müşterilerden toplanıp doğaya zarar vermeyecek şekilde dönüştürülmesi sorumluluğu çeşitli ülkelerde yasalarla üreticilere verilmiştir. Tersine tedarik zinciri, en genel anlamda, müşterilerden ömrünü tamamlamış ürünlerin toplamasıyla başlayan tedarik zinciri ağı olarak tanımlanabilmektedir. Tersine tedarik zinciri; toplama, tersine üretim, de-montaj, tamir, yenileme, geri dönüştürme ve dönüştürülemeyen kısımların kontrollü yok edilmesi çabalarını içeren ve tüm bu aktivitelerin gözlenmesi için gereken bilgi sistemleri dâhil olmak üzere, malların toplama evresinden ileri tedarik zincirine dâhil oldukları noktaya kadar yer alan tüm aktiviteleri içerir (Rogers ve Tibben Lembke, 1999).

Kapalı çevrim tedarik zinciri ise, ileri tedarik zinciri ile tersine tedarik zincirinin birbiriyle örtüşecek şekilde bütünleştirilmesi ve ürünün tüm yaşam çevrimini kapsayacak şekilde genişlemesi ile oluşan tedarik zinciri ağı kapalı çevrim tedarik zinciri olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmada, kapalı çevrim tedarik zinciri kapsamında; yeni ürünlerin üretilmesi, dağıtım merkezleri aracılığıyla müşterilere dağıtılması, müşterilerde kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin toplama noktalarına iade edilmesi, iade edilen ürünlerin geri kazanım seçeneklerinden birine karar verilmek üzere dönüşüm merkezlerine getirilmesi, ürünler için geri kazanım seçeneklerinden birine karar verilmesi, geri kazanım seçeneğine bağlı olarak ürünlerin sınıflandırılması, yeniden dönüştürülmesine karar verilen ürünlerin dönüşüm

merkezinde de-montajının ve tersine üretiminin gerçekleştirilmesi, tamir edilmesine ya da yenilenmesine karar verilen ürünlerin geri kazanım merkezine gönderilmesi, geri kazanılmış ürünlerin müşterilere satılmak üzere dağıtım merkezlerine gönderilmesi, geri kazanılan bileşenlerin fabrikalar tarafından yeni ürün üretimi aşamasında değerlendirilmesi ve geri kazanılan malzemelerin tedarikçilere satılmak amacıyla değerlendirilmesini içeren dairesel akış incelenmektedir.

İncelenen kapalı çevrim tedarik zinciri iki tip ürünün müşterilere sunulmasına kadar olan tüm ileri tedarik zincirini ve aynı tip ürünlerin müşterilerden toplanmasıyla başlayan tersine tedarik zincirini içermektedir. Müşteriler, bu iki tip ürünü iki farklı biçimde talep edebilmektedirler. Her bir ürün tipi, fabrikalarda üretilip dağıtım merkezlerine gönderilen *yeni ürün* biçiminde veya geri kazanım merkezlerinde yenilenip dağıtım merkezlerine gönderilen *geri kazanılmış ürün* biçiminde müşteriler tarafından talep edilmektedir.

En uygun kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımına karar vermek için, sistemin kârlılığını göz önünde bulundurmak suretiyle, müşteri beklentilerini en yüksek düzeyde karşılamak hedeflenmelidir. Müşteriler, içinde bulundukları tedarik zincirinin başarısını genellikle, temin süresi, ürün fiyatı, hizmet kalitesi ve taleplerinin tatmin edilme oranıyla ilişkilendirirler. Bu çalışmada müşteri memnuniyetinin sağlanması, taleplerinin tatmin edilme oranı ve satın aldıkları ürünün fiyatından memnuniyet dereceleriyle ifade edilmektedir. Müşterilerin fiyat ve taleplerinin karşılanma oranından memnun olmaları bulanık kümelerin kullanımıyla matematiksel anlamda ortaya konmuştur.

En uygun kapalı çevrim tedarik zincirine karar verme aşamasında göz önünde bulundurulması gereken diğer bir önemli karar ise, maliyetin enküçüklendiği veya kârın enbüyüklendiği matematiksel modellerdir. İncelenen kapalı çevrim tedarik zinciri probleminde, kârın ençoklanması amaçlanmakta ve maliyet bileşeni olarak satın alma maliyetleri, işleme maliyetleri, kurulma maliyetleri, sabit maliyetler, taşıma maliyetleri, depolama ve elde bulundurma maliyetleri dikkate alınmaktadır. Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri modelinin kavramsal tasarımı ve organizasyonunun detayları Bölüm 5.1’de anlatılmaktadır.

Genel anlamda, kapalı çevrim tedarik zinciri ağının tasarımı, uzman bakış açısı, tecrübe ve yetenek gerektirir. Bunlardan birinin eksik olması, tasarımın başarısını olumsuz yönde etkiler. Tedarik zinciri tasarımını gerçekleştirmek, uzun süreli yoğun emek ve çok disiplinli katılım

gerektiren bir projedir. Bu tasarım projesinin başarılı olabilmesi için, projenin öngörülen zamanda tamamlanması, sınırlarının uygun bir şekilde belirlenmesi, içeriğinin doğru tanımlanması ve önceden belirlenen performans ölçütlerini sağlaması gerekmektedir.

1.2 Araştırmanın Amacı

Küreselleşme ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle iş dünyasında gerçekleşen hızlı değişimlerin doğurduğu şiddetli rekabet işletmeler üzerindeki baskıyı ve dolayısıyla işletme problemlerine daha iyi çözüm üretme çabasını arttırmıştır. İşletmeler bünyelerindeki problemlere çözüm üretmeye çalışmakla kalmayıp, pazarda rekabet avantajı sağlamak üzere, daha düşük fiyatla daha iyi hizmet vermek ve bunun sürekliliğini sağlamak amacıyla, tedarikçileri ve müşterileriyle bütünleşmiş çalışan iş sistemleri kurmaya, bu sistemlerini koordine ve kontrol etmeye çalışmaktadırlar. Bu bağlamda, tüm bu amaçları ve işlevleri gerçekleştirebilecek bir tedarik zinciri tasarlamak, işletme karşısına çıkabilecek en büyük problemlerden biri olup, araştırmacıların da yakın ilgisini çekmektedir.

Bir ürünün tasarım aşamasından başlayarak, tüm ürün yaşam çevriminin bütün tedarik zinciri boyunca tasarlanması ve planlanması gereği, bu çalışmanın savunduğu temel yaklaşımlardan birini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, bu doktora tezi tedarik zinciri tasarımı probleminin ortaya konması ve çözümü için sistem yaklaşımının benimsenmesi gerektiğini ve bütünsel bir yaklaşımın tedarik zincirinin tasarlanması ve tanımlanmasında önemli faydalar sağlayacağını göstermektedir.

Literatürde, tedarik zinciri sistemlerinin tasarımına yönelik olarak; ileri akışı ve tersine akışı içeren pek çok çalışma olmasına karşın, her iki akışı birleştirmeyi hedefleyen çalışmaların sayısı oldukça azdır. Her iki akışın bütünsel olarak tek bir zincir dâhilinde ve birbiriyle etkileşim halinde olduğu dikkate alındığında, kapalı bir zincir şeklinde tüm akışın incelenmesi gerekliliği kaçınılmazdır. Bu bağlamda, kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı probleminin çözümü için geliştirilebilecek modeller ve karar destek araçları, yakın gelecekte işletmelerin rekabet avantajı sağlamasında faydalı olacaktır. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak, bu çalışma çok aşamalı kapalı çevrim tedarik zinciri için müşteri hizmet düzeyi ve toplam tedarik zinciri maliyeti gibi çelişen amaçları içeren bir karar destek modeli sunmaktır.

1.3 Araştırmanın Organizasyonu

Bu çalışma, kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı için bir çalışma çerçevesi sunmaktadır. Kapalı çevrim tedarik zinciri sistemlerini daha iyi anlamak için, tedarik zinciri kavramının tanımıyla başlayan bu araştırma, sırasıyla tedarik zinciri tasarımı ve performansının değerlendirilmesi için yol ve yöntemlerini özetlemektedir. Ürün yaşam çevrimi boyunca, ürünlerin tedarik zincirinde muhtemel akışları incelenmekte ve tüm bu akışları içine alan kapalı çevrim tedarik zinciri konusunda detaylı araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Tez çalışmasının içeriği şu şekilde özetlenebilir:

Birinci bölüm, bu doktora tezi kapsamında incelenen problemin genel bir tanımını, araştırmanın amaçlarını ve içeriğinin nasıl belirlendiğine dair genel bilgileri sunmaktadır. Bu kapsamda, ileri tedarik zinciri ve tersine tedarik zinciri sistemlerinin modellenmesi ve bütünleştirilmesi amacına yönelik olarak, her iki zincirin fonksiyonlarını kapsayan ve ürünlerin tedarik zinciri boyunca geçtiği kapalı zincirin aşamaları açıklanmaktadır. Bu bölümde, incelenen tedarik zinciri tasarımı problemi kapsamında araştırmanın amacı ve organizasyonu açıklanmaktadır.

İkinci bölümde, genel tedarik zinciri kavramlarını özetlemek amacıyla, sırasıyla, ileri tedarik zinciri tanımı, tasarımı ve performansının değerlendirilmesi; tersine tedarik zinciri ve geri kazanım ağlarının tanımı, tasarımı ve performansının değerlendirilmesi kavramları yer almaktadır. Bu tanımlamalardan hareketle, bu farklı tedarik zinciri yapılarının birbirleriyle bütünleştirilmesinin önemi, bütünleştirme yolları ve yöntemleri özetlenmektedir. Özetlenen tüm bu temel bilgiler ışığında, kapalı çevrim tedarik zinciri kavramı, ilgili terminoloji, tasarımının gerçekleştirilmesi ve tasarımının performansının değerlendirilmesi kavramlarına yer verilmektedir. Kapalı çevrim tedarik zincirinin performansını değerlendirmek üzere, ileri tedarik zinciri performans değerlendirme ölçütlerine ek olarak, kapalı çevrim tedarik zinciri ilave değerlendirme ölçütleri de bu bölümde açıklanmaktadır.

Üçüncü bölüm, bir önceki bölümde kavramsal tanımlarına ve açıklamalarına yer verilen önemli tedarik zinciri yapılarıyla ilgili olarak, literatürde yer alan çalışmaların incelendiği bölümdür. Tedarik zinciri tasarımı konusunda yapılan bilimsel çalışmaların incelenmesi sonucunda oluşan bu bölüm, gerek daha çok araştırma gerektiren problem alanların ortaya konulmasında, gerekse incelenen problemin tanımının belirginlik kazanmasında önemli rol oynamaktadır.

Dördüncü bölüm, ortaya konulan problem kapsamında önerilen matematiksel modelin çözümü için, bu çalışmada kullanılan yöntemler ve yaklaşımlar hakkında genel bilgiler içermektedir. Bu bölüm, bulanık mantık, doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama ve çok amaçlı programlama yöntemlerinin kullanımını gerektiren bir matematiksel modelin nasıl çözülebileceği ile ilgili genel bilgi vermektedir. Bu yöntemlerin gelişimleri, kullandıkları alanlar ve önerdikleri çözüm yolları bu bölümde açıklanmaktadır.

Beşinci bölüm, kapalı çevrim tedarik zinciri için genel bir model oluşturmak üzere, gerçekleştirilen tüm araştırmalar ve incelemelerin somutluk kazandığı bölümdür. Kapalı çevrim tedarik zinciri modelinin kavramsal tasarımının sunulmasıyla başlayan bölüm, amaç fonksiyonu bileşenleri, karar bileşenleri ve kısıt denklemlerinin açıklanmasıyla devam etmektedir. Matematiksel model, müşterilerin fiyattan tatminini, müşterilerin taleplerinin karşılanma derecesinden tatminini ve sistemin kârının arttırılmasını hedefleyen üç amaç fonksiyonunu içermektedir. Müşterilerin fiyat beklentilerinin tatmini fonksiyonlarının nasıl bulanık olarak ifade edildiği, müşterilerin taleplerinin karşılanmasından kaynaklanan tatmin fonksiyonlarının nasıl bulanık olarak ifade edildiği ve kâr fonksiyonunun hangi bileşenlerden oluştuğu bu bölümde açıklanmaktadır. Oluşturulan matematiksel model ile bir tedarik zinciri probleminin çözümü gerçekleştirilmekte ve çıktıları verilmektedir. Bu bölüm, çıktıların incelenmesi, duyarlılık analizi ve modelin benzetim yöntemiyle doğrulanmasıyla sona ermektedir.

Son bölüm, bu detaylı araştırmaların ve incelemelerin sonunda elde edilen bilgilerin genel değerlendirilmesini, yapılan tez çalışmasının önemini, kullanılabilirliğini ve geliştirebilirliğini özetlemektedir. Kapalı çevrim tedarik zinciri kavramının artan önemini ve gelecekte tahmin edilen konumu bu çalışmanın önemini arttırmaktadır. Gerçekleştirilebilecek yeni bilimsel araştırmalar için, temel teşkil edecek içerikle yapılandırılmıştır.

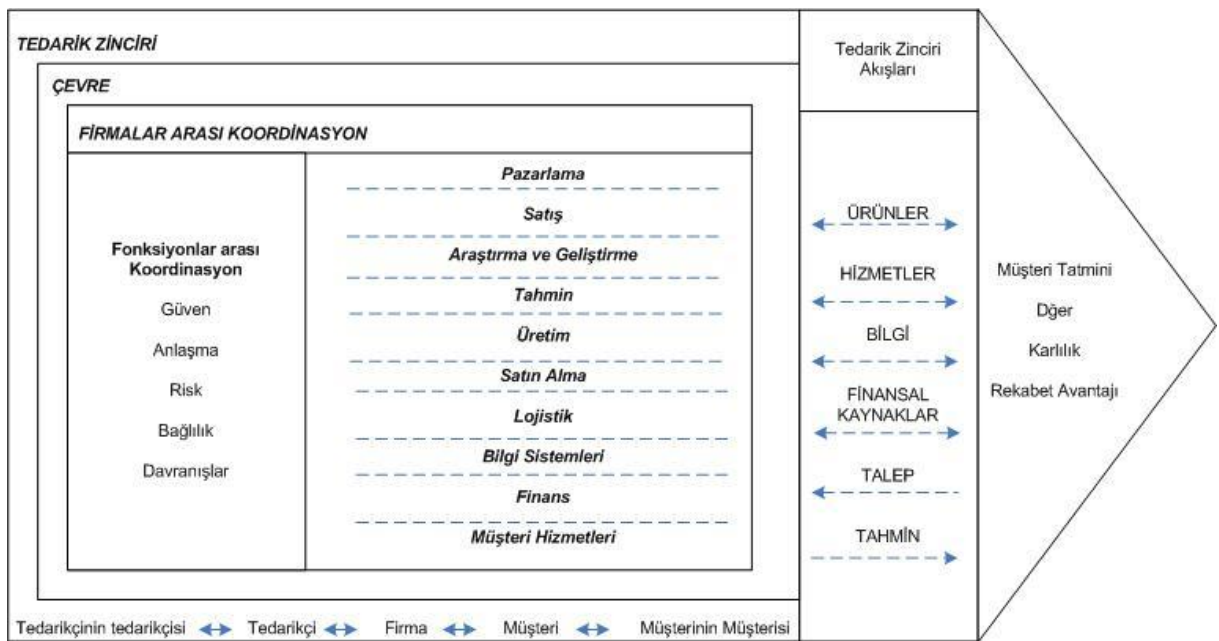
2. TEDARİK ZİNCİRİ SİSTEMLERİ

Bu bölümde, tedarik zinciri kavramı, tedarik zinciri sistemlerinin tasarımı, tedarik zinciri sistemi tasarlama metodolojisi ve tedarik zinciri tasarımı performansının değerlendirilmesi kavramlarına yer verilmektedir. Ayrıca, kapalı çevrim tedarik zinciri (KÇTZ) kavramı, KÇTZ sistemlerinin tasarımı ve KÇTZ tasarımının performansı konuları detaylı olarak incelenmiştir.

2.1 Tedarik Zinciri Kavramı

Tedarik zinciri, müşteriye fayda sağlamak üzere, malzemenin tedariği, tedarik edilen malzemenin yarı mamul ve mamullere dönüştürülmesi ve bu mamullerin müşterilere dağıtılması fonksiyonlarını zincire değer katarak gerçekleştiren şirket içi ve dışı fonksiyonlardan fiziksel ve teknolojik araçlar, süreçler ve yöntemlerden oluşan bütünsel bir ağıdır. Diğer bir ifadeyle, bir tedarik zinciri; ürünler, hizmetler, finans ve/veya bilginin bir kaynaktan müşteriye aşağı veya yukarı akışında doğrudan yer alan, üç veya daha fazla varlığın oluşturduğu kümedir (Mentzer vd., 2001).

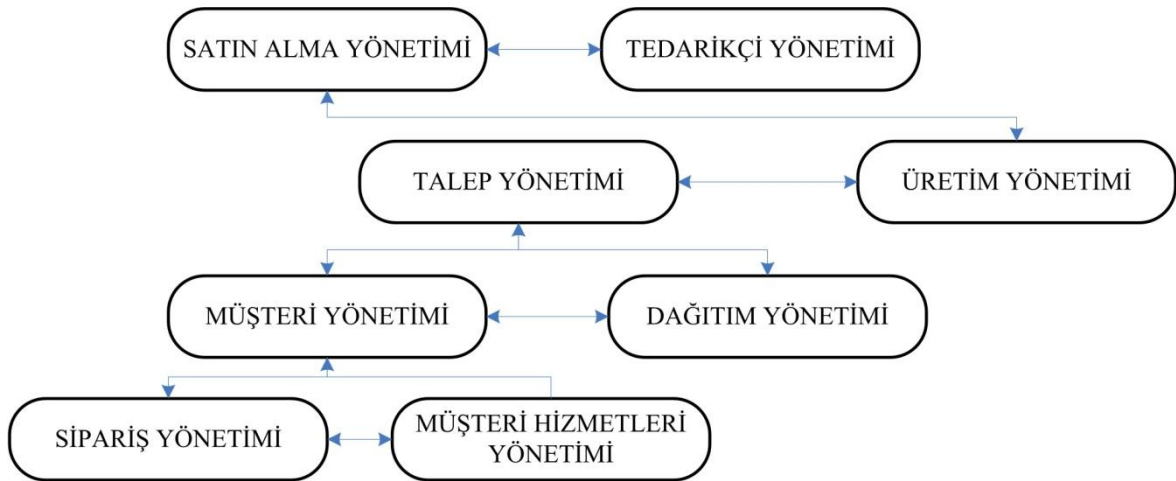
Tedarik zinciri yönetimi, tedarik zinciri içinde yer alan bireysel firmaların ve tedarik zincirinin tamamının uzun dönemli performansını artırmak amacıyla, firmalardaki geleneksel iş fonksiyonlarının ve yöntemlerinin tedarik zinciri boyunca sistematik ve stratejik koordinasyonudur (Mentzer vd., 2001). Bir tedarik zinciri, ürünler, hizmetler, finansal kaynaklar ve bunlarla ilgili bilgilerin, ayrıca talep ve tahmin bilgilerinin de akışlarını gerçekleştiren bir boru hattı şeklinde Şekil 2.1'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.1 Tedarik zinciri kavramsal modeli (Mentzer vd., 2001)

Tedarik Zinciri Yönetimi, son kullanıcıdan ilk tedarikçiye kadar, zincirde yer alan tüm müşteriler ve diğer paydaşlar için değer üreten ürünlerin, hizmetlerin ve bilgilerin aktığı kilit iş süreçlerinin bütünleştirilmesidir (GSCF). Ayrıca, tedarik zinciri içinde yer alan tüm şirketlerin performanslarını arttırmak amacıyla yönelik olarak, söz konusu şirketlere ait işletme fonksiyonları, süreçleri ve planlarının, zincirdeki tüm şirketleri kapsayacak şekilde stratejik ve sistematik anlamda yönetilmesi temel tedarik zinciri yönetimi süreçleridir.

Müşteri tatmini ve net gelirin iyileştirilmesini, farklı biçimdeki malzeme ve bilgi akışlarının yönetimini gerçekleştirmek, hem ileri hem de tersine tedarik zincirinin yegâne amacıdır. Bu iyileştirilmiş süreçler, hem ileri tedarik zincirinin hem de tersine tedarik zincirinin yönetilmesi için tanımlandığı için, araştırmacılar stratejik seviyede tersine akışı içeren (ürünler, paketler, malzemeler) tersine tedarik zincirini yönetmek üzere, yeni bir süreç tanımının yapılmasına ihtiyaç olmadığını vurgulamaktadırlar. Bu bağlamda, süreç özelliklerinin farklılaşması, her zincirin detaylanması, mevcut alt süreçlerin yeniden tanımlanması ve yeni alt süreçlerin tasarlanması sadece işlemsel seviyede gerçekleşmektedir (De la Fuente vd., 2008).



Şekil 2.2 Tedarik zinciri yönetim süreçleri (De la Fuente vd., 2008)

Tedarik zinciri yönetimi kapsamında yer alan temel süreçler; talep yönetimi, sipariş yönetimi, üretim yönetimi, satın alma yönetimi, dağıtım yönetimi, müşteri hizmetleri yönetimi, sunucu yönetimi ve tedarikçi yönetimi süreçleridir (De la Fuente vd., 2008). Bu süreçler ve genel tanımları Çizelge 2.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 2.1 Temel tedarik zinciri süreçleri (De la Fuente, vd., 2008).

Temel Süreçler	Tanımı
Talep Yönetimi	- Satış tahmini. - Toplu planlama oluşturulması: üretim, satın alma, kaynaklar. - Toplu planlamanın dönemsel güncellenmesi.
Sipariş Yönetimi	- Siparişin kabulü: nihai ürünlerin müşteriye gönderilmesi - İadenin kabulü ve sınıflandırılması: sunucudan gelen ürün ve malzemeler
Üretim Yönetimi	- Ürünlerin üretimi - Kapasite belirlenmesi: malzeme ve insan kaynakları. - İade ürün ve malzemelerin yeniden işlenmesi.
Satın alma Yönetimi	- Hammadde ve hizmetlerin elde edilmesi. - Stoklar ve depoların yönetimi. - Belirlenen kazanım işlemine nakledilmesi için malzeme yönetimi.
Dağıtım Yönetimi	- Nihai ürün ve hammaddelerin doğru sunucuya teslim edilmesi. - Lojistik operatörü ve taşıma şeklinin seçilmesi.
Müşteri Hizmetleri Yönetimi	- Müşteriyle iletişim noktası. - Müşteri bilgilerinin elde edilmesi: siparişler, hizmetler, sorunlar, şikayetler.
Müşteri Yönetimi	- Müşteri seçimi, kabulü ve sınıflandırılması. - Akitten doğan müşteri ilişkileri. - Müşteri hizmeti: bilgi analizi.
Tedarikçi Yönetimi	- Tedarikçinin tespiti, değerlendirilmesi, sınıflandırması. - Tedarikçi – üretici ilişkisi. - Tedarikçi hizmet takibi. - Tedarikçi bilgi analizi.

2.2 Tedarik Zinciri Tasarımı

Tedarik zinciri tasarımı, tedarik zincirinin nasıl yapılandırılacağına belirlenmesini içerir. Tasarım kararı, iş ortaklarının seçimi, depo ve üretim tesislerinin yerlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesi, ürünlerin, taşıma şekillerinin ve bunları destekleyen bilgi sistemlerinin belirlenmesi kararlarını içerir (APICS). Dolayısıyla, bir tasarım kararının oluşması, çok disiplinli bir katılım, yüksek tecrübe, uzman bilgisi, teknolojik altyapı, yeterli kaynak ve zamana ihtiyaç duyar.

Tedarik zinciri tasarımı, çok fonksiyonlu bir süreç olması nedeniyle, finans, pazarlama, üretim ve tedarik zinciri takım üyelerinin tasarım sürecinde aktif rol almasını gerektirir. Ürün programına dâhil olan her bir grubun sürece dâhil olması, maliyet, temin süresi ve elde bulunabilirlik gibi önemli konularda faydalı bilgi sağlaması nedeniyle tedarik zinciri tasarımının başarısıyla birebir ilişkilendirilebilir.

Tedarik zinciri tasarımını gerçekleştirmek için literatürde çeşitli metodolojiler önerilmiştir. Tedarik zinciri tasarımı metodolojileri genellikle, tedarik zinciri tasarımı probleminin çözümü

için hazırlık, tedarik zinciri tasarımının tespiti, performans ölçütlerinin tanımlanması ve verilen kararların değerlendirilmesi gibi genel karar verme aşamalarını içermektedir. Önerilen metodolojiler temelde aynı süreci işaret etmekte olup, bu çalışmada Chandra ve Grabis (2007) tarafından önerilen 11 aşamalı tedarik zinciri tasarımı metodolojisi sunulmaktadır.

Aşama 1: Tasarım girişimini başlatma sürecini içerir. Bu aşamada, tasarım girişiminin gerekçesi ve amaçları tanımlanır. Tasarım girişiminin kabul edilmesi için; karar ortamı, fizibilite ve beklenen geri dönüşler değerlendirilir.

Aşama 2: Bu aşama, karar ortamının tanımlanması ve modelleme hedefinin belirlenmesi sürecini içerir. Problemin önemli boyutları olan değerlendirme ölçütleri, karar değişkenleri ve parametreler bu aşamada belirlenir.

Aşama 3: Bilgi modellerinin geliştirilmesi sürecini içeren aşamadır. Karar vericilerin ve diğer ilgili tarafların işbirliğini gösteren iş akışı modeli ve tasarım probleminin diğer yönetsel problemlerle ilişkisini gösteren süreç modelinin oluşturulması bu aşamada gerçekleştirilir. Ayrıca, tasarım probleminin çözümünde kullanılacak verilerin ve gerekli olabilecek veri kaynaklarının belirlenmesini içeren veri modeli de bu aşamada oluşturulmaktadır.

Aşama 4: Bu aşama, veri erişilebilirliğine bağlı olarak amaçların tekrar değerlendirilmesini içerir. Veri erişilebilirliğinin kısıtlı olması, çoğunlukla yeni tasarlanacak bir tedarik zinciri için önemli bir problem olmaktadır.

Aşama 5: Bu aşama, bir karar verme planı oluşturulması sürecini içerir. Değerlendirilecek durumların belirlenmesi ve kabul ölçütlerinin tanımlanması bu adımda gerçekleştirilir. Kabul ölçütleri ve çok sayıda model kullanılması suretiyle yapılan değerlendirmeler bu karar verme planının oluşturulması aşamasında önem kazanır.

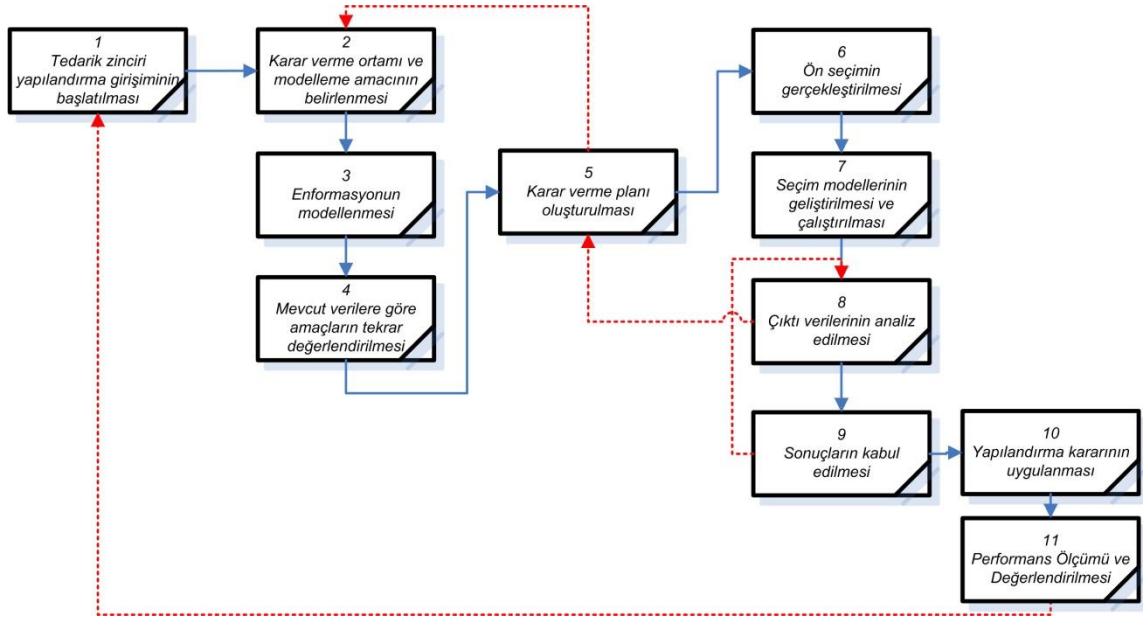
Aşama 6: Bu aşama, ön seçim aşamasıdır. Tedarik zinciri tasarımının seçimi, aday birimlerin bir kümesinden genellikle farklı şekillerde gerçekleştirilir. Bu aşama, aday birimlerin sayısını azaltarak, hesaplama karmaşıklığını azaltır.

Aşama 7: Bu aşama, seçim modellerinin geliştirilmesi ve çalıştırılması süreçlerini içerir. Aday birimler arasından yapılacak son seçim için nitel ve nicel modeller geliştirilebilir. Ardından bu birimler arasında var olan bağlantıların kurulması gerçekleştirilir. Modelin doğrulanması ve değerlendirilmesi bu aşamanın en önemli parçasıdır.

Aşama 8: Çıktıların analizinin gerçekleştirildiği aşamadır. Tasarımların mutlak ve göreceli performansları özetlenir. Sonuçlar için güvenlik sınırları belirlenir. En önemli parametreleri belirlemek için duyarlılık analizi yapılır.

Aşama 9: Bu aşama, sonuçların kabul edilmesi aşamasıdır. Kabul aşaması genellikle iki seviyeden oluşur. İlk seviyede, tasarım karar verme grubu modelleme sonuçları hakkında bir karara varır ve gerekli ayarlamaları yaparlar. İkinci seviyede ise, üst yönetim önerilen tasarım kararlarının adaptasyonuna karar verir.

Aşama 10: Tasarım kararının uygulanması aşamasıdır. Tedarik zinciri birimlerinin fiziksel yerleşimi ve birimler arasındaki akışların kurulması uygulamaların ana kısmını oluşturur.



Şekil 2.3 Tedarik zinciri tasarımı metodolojisi (Chandra ve Grabis, 2007)

Aşama 11: Tasarım kararının uygulamaya konduktan sonra, gerçekleşen performans ölçütü değerlerinin beklenen performans ölçütü değerlerine uygun olup olmadığı izlenir. Gerçekte izlenen durum için, ek performans ölçütleri de tanımlanabilir.

Bu modelleme metodolojisi yinelemeli ve önceki aşamalara geri besleme çevrimi olan bir metodolojidir. En önemli geri besleme çevrimleri, sekizinci veya dokuzuncu aşamadan beşinci aşamaya olan geri dönüşlerdir. Aynı zamanda, aşamalar birbiri üzerine örtüşebilir, tamamen birleşebilir ya da bazıları tamamen ortadan kalkabilirler (Chandra ve Grabis, 2007).

2.3 Tedarik Zinciri Tasarımı Performansı

Tedarik zincirinin en önemli amacı, kaynakların en etkin yönetimi ile müşteri taleplerini karşılamaktır. Diğer bir deyişle; bir tedarik zinciri, malların minimum maliyetle, doğru miktarda ve doğru zamanda bulunması gereken noktada bulunmasını sağlayabilecek bir zincirdeki tüm tarafların etkin ve verimli bütünleştirilmesini amaçlar.

Tedarik zinciri tasarımı, tüm tedarik zincirinin uzun dönemli verimliliğinin optimizasyonu

amacına uygun olarak, tedarik zinciri içerisinde yer alacak tüm tesislerin (fabrikalar, depolar, dağıtım ve dönüşüm merkezleri, toplama noktaları gibi) miktarını, yerleşimini, kapasitesini ve türünü belirleme çabalarının tümünü içerir.

Tedarik zinciri tasarımı ve analizinin en önemli bileşenlerinden biri, uygun performans ölçütlerinin belirlenmesidir. Bir performans ölçütü veya performans ölçütlerinin bir kümesi, mevcut sistemin etkinliğini ve/veya verimini belirlemek için kullanılır. Performans ölçütleri, istenilen performans seviyesini sunacak karar değişkenlerinin değerlerinin belirlenmesi yoluyla tasarlanan sistemin de performansını değerlendirmek için kullanılabilirler. Literatürde tedarik zincirinin performansını ölçmek için pek çok nitel ve nicel performans ölçütü tanımlanmıştır (Beamon, 1998).

- **Nitel Performans Ölçütleri:** Doğrudan kesin olarak ölçülemeyen fakat bazı açılardan sayısallaştırılabilinen performans ölçütleridir.
 - **Müşteri tatmini:** Müşterilerin aldıkları ürün veya hizmetten memnun olma derecelerini ifade eder. Müşteri memnuniyeti, müşterinin ürünü satın almadan önce aldığı hizmetler, müşterinin satın aldığı ürünü elde etmesi sürecinde gerçekleşen hizmetler ve müşterinin ürünü satın aldıktan sonra verilen destek hizmetler olmak üzere üç aşamada göz önünde bulundurulmalıdır.
 - **Esneklik:** Tedarik zincirinde ürün talebiyle ilgili tüm miktar, zaman ve mekânda oluşabilecek değişikliklere cevap verebilme derecesini ifade eder.
 - **Bilgi ve malzeme akışı bütünleştirilmesi:** Tedarik zincirindeki bilgi iletişimi ve malzeme taşınması fonksiyonlarının bütünleştirilmesi kavramıdır.
 - **Etkin risk yönetimi:** Tedarik zinciri içindeki tüm ilişkiler yapısında risk içerir. Etkin risk yönetimi, bu risklerin etkisinin enazlandığı derecenin tanımlanmasını içerir.
 - **Tedarikçi performansı:** Tedarikçilerin hangi tutarlılıkla hammaddeleri üretim tesislerine doğru zamanda, doğru miktarda ve iyi durumda teslim edeceğinin göstergesidir.
- **Nicel Performans Ölçütleri:** Doğrudan sayısal olarak ifade edilebilen ölçütlerdir.
 - **Maliyet enküçüklenmesi:** En yaygın kullanılan amaç fonksiyonudur. Toplam tedarik zinciri maliyetinin enküçüklenmesi esasına dayanır.
 - **Kârın enbüyüklenmesi:** Gelirin artırılmasını ve toplam maliyetin azaltılmasını içeren amaç fonksiyonudur.
 - **Envanter yatırımının enküçüklenmesi:** Toplam envanter maliyetinin azaltılmasını içerir.

- **Yatırım getirisinin enbüyüklenmesi:** Sermayenin net kâra oranının arttırılmasını içerir.
- **Doluluk oranının enbüyüklenmesi:** Zamanında tatmin edilen müşteri siparişlerinin oranının arttırılmasını içerir.
- **Ürün gecikmesinin enküçüklenmesi:** Söz verilen ürün teslim tarihi ile gerçek teslim tarihi arasındaki farkın enküçüklenmesini içerir.
- **Müşteriye cevap süresinin enküçüklenmesi:** Müşterilerin sipariş bilgisinin alınması ile müşterinin siparişi teslim alması arasında geçen sürenin enküçüklenmesini içerir.
- **Temin süresinin enküçüklenmesi:** Ürünün üretimine başlanmasından tamamıyla işlenmesi için gerekli olan zamanın enküçüklenmesini içerir.

Bir tedarik zinciri tasarımına karar vermeden önce, tasarlanan tedarik zincirinin bir modeli oluşturulur. Bu modeller, tedarik zincirinin doğasına bağlı olarak, deterministik, stokastik veya benzetim modeli şeklinde tasarlanabilir. Tasarımın başarısı ise, temel alınan performans ölçüt veya ölçütleri ile ölçülür. Performans ölçütleri, genellikle bir ya da daha fazla karar değişkeninin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Bu fonksiyonunun eniyilenmesi, performansın da eniyilenmesi anlamına geldiğinden, tasarımın başarısı da sayısal olarak ifade edilmiş olur.

2.4 Tersine Tedarik Zinciri Tasarımı

Bir tersine tedarik zinciri, müşterilerden gelen iade ürünlerin bir toplama noktasına iadesi ile başlayan, bu iadelerin merkezi bir iade merkezinde toplandığı, toplanan ürünlerin incelenmesi ve sınıflandırılması işlemlerinin gerçekleştirildiği ve bir geri kazanım merkezinde yeniden üretim için değer oluşturabilecek bileşen ve malzemelerin dönüştürüldüğü ve ileri tedarik zincirinin çalışmasıyla müşteriye kadar tekrar uzanan bir ağ olarak tanımlanabilir. Bu sistem ana süreçler değişmemek üzere, sektörlerin farklılığına göre değişiklik gösterebilir.

Rogers ve Tibben Lembke (1999), bir tersine lojistik sistemini, iade ürünlerin yüksek maddi değer kazanmak üzere, müşterilerden geri kazanım noktalarına ulaştırılması için mâkul mekanizmalar önermek suretiyle, bu paketlerin toplanması ve dönüştürülmesi için çalışan bir sistem olarak tanımlamıştır.

Bir tedarik zinciri boyunca iade ürünlerin akışı; tamir, yeniden üretim ve yeniden satış aktivitelerinin gerçekleştirilmesi yoluyla, büyük organizasyonlar tarafından gerçekleştirilir (De la Fuente, vd. 2008). De la Fuente vd., (2008), bir tersine tedarik zincirinin başarısını, tasarımının mevcut ileri tedarik zinciri ile uyumlu çalışacak şekilde gerçekleştirilmiş olmasıyla ilişkilendirmektedir. Yazarlar, rekabet avantajı ve stratejik fayda sağlayacak

tarafların eşzamanlı çalışmaları ve koordinasyonu ile tedarik zinciri bütünleştirmesinin başarısının artacağını savunmaktadır.

2.5 Geri Kazanım Ağları Tasarımı

Avrupa Birliği (AB) düzenlemeleriyle, AB ülkelerinde üreticilerin ürettikleri ürünler ile ilgili olarak sorumlulukları genişletilmiş ve üreticiler ürettikleri ürünlerin yaşam çevrimi boyunca sorumlu tutulmuştur. Bu nedenle, herhangi bir nedenle kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin hem çevreye verdiği zararın azaltılması hem de geri kazanımın oranının artırılması tedarik zincirlerinin önemli amaçları haline gelmiştir. Kontrollü bozunma ve yeryüzündeki kısıtlı kaynakların tüketiminin geri kazanım yoluyla azaltılmasını destekleyen çevreye duyarlı üreticilerin ürünleri pazarda daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Üreticiler, kullanım işlevini tamamlamış ve artık herhangi bir işe yaramayan ürünlerden kaynak yaratmak suretiyle, kârlarını ve rekabet yeteneklerini arttırabilme şansı elde edebilmektedir. Bu gelişmeler, bu alandaki bilimsel çalışmaları teşvik etmekte ve tersine tedarik zinciri, yeşil tedarik zinciri, kapalı çevrim tedarik zinciri ve sıfır atıklı tedarik zinciri kavramlarını da beraberinde getirmektedir.

Birçok ülkede gerçekleştirilen yeni düzenlemelerle, çok sayıda ürünün (otomobil, elektronik, lastik, vs.) ömrünü tamamladıktan sonra toplanması sorumluluğu o ürünü üreten üreticilere verilmiş durumdadır. Bu yasal baskılar nedeniyle, birçok ülkede ulusal toplama sistemleri ve geri kazanım tesisleri kurulmaktadır.

Ürün geri alımının en belirgin örneği, otomotiv endüstrisinde yaşanmaktadır. Geri dönüşüm odaklı tasarım yaklaşımıyla Chevrolet, otomobil üretim aşamasından başlayıp geri dönüşüme uygun ürünler tasarlayarak geri dönüşüm sürecinin verimliliğinin arttırılmasını hedeflemektedir. Chevrolet'in geri dönüşüm stratejisine yönelik tasarımı, araç üretimi sırasında üretilen atığı azaltma ve daha da ileri aşamada aracın ömrü sonundaki atığı azaltmak gibi iki amaca hizmet etmektedir. Bu sayede, değerli malzeme ve enerji kaynaklarının korunmasını sağlamaktadır. Hollanda, trafik kazalarında zarar gören otomobillerin büyük bir çoğunluğu için geçerli olan bir sistemi başarıyla uygulamaktadır (Hillegersberg vd., 2001). ABD'de camın %20'si, kâğıt ürünlerinin %30'u ve alüminyum kutuların %61'i geri dönüştürülürken, 10 milyon araba ve kamyonun her yıl %95'i geri dönüşüme girmekte ve bu araçların %75'i yeniden kullanım için geri kazanılabilmektedir (Güngör ve Gupta, 1999).

2.6 Tedarik Zinciri Bütünleştirilmesi

Tedarik zinciri stratejilerinin elde edilen rekabet gücü üzerinde etkili olması, akademik alanda ve iş dünyasında dikkatlerin bu alan üzerinde yoğunlaşmasını sağlamıştır. Bu stratejiler arasında yer alan tedarik zinciri bütünleşmesi şirketlere birçok yarar sağlamaktadır. Tedarik zinciri bütünleşmesi sağlanabilmesi için, ilgili bilginin tüm tedarik zincirinde zamanında ve doğru taraflarla paylaşılması, tedarik zincirinde bulunan tüm tarafların görev dağılımları, karar yetkisi ve kaynak dağılımlarının iyi planlanması, istikrarlı performans değerlendirmesi, işbirliğini kolaylaştıracak süreçler ve araçların belirlenmesi gerekir.

Tedarik zinciri bütünleştirilmesi, ileri ve tersine tedarik zinciri sistemlerinin birbiriyle uyumlu ve etkin çalışmasını destekler. Benzer şekilde, tedarik zincirinin kapalı olma derecesi tedarik zincirinin bütünleşme seviyesiyle ilişkilidir. İleri tedarik zinciri, tersine tedarik zinciri ve ürün geri kazanımı ağları kavramların en iyi sentezi kapalı çevrim tedarik zinciri kapsamında önerilir.

Tedarik zinciri bütünleştirilmesi, müşteri hizmet seviyesinin geliştirilmesi için, hangi maliyet bileşenlerinin nasıl değiştirilmesi gerektiğine dair çeşitli çıkarımlar yapmayı sağlar. Entegre bir tedarik zincirine katılmayı amaç edinen işletmeler, öncelikle etkili bilgi akışını sağlama yeteneğine sahip olmalıdır. Bu altyapının anahtar elemanı, hem işletme içinde bölümler arasında hem de işletme dışında ticari ortaklarla güven temeline oturtulmuş, sağlam ve işbirlikçi ilişkiler kurmaktır. Bir tedarik ağında tüm iş ortaklarının birbirine güvenmesi, etkin bütünleşmenin gerçekleştirilebilmesi için önemli bir göstergedir. Bu açıdan bakıldığında, bütünleşmiş tedarik zinciri yönetim sistemlerini uygulamak için harekete geçen organizasyonların, aradaki bağı daha iyi yöneterek stratejilerini formüle ettikleri ve ortak bir fayda elde etmeye çalıştıkları görülmektedir. Ayrıca; işletmelerin ticari ortaklarla işbirliği sağlama çalışmalarının yanı sıra, gerçek-zamanlı tüketici bilgisi ve ağ tabanlı sistemleri kullanarak tedarik ve talep zincirlerini kapalı bir çevrim haline getirmeleri yararlı olmaktadır.

Değişik seviyelerde yapılan tüm planlamalar tedarik zincirine bütün olarak bakmayı gerektirir. Kararların, gerçek zaman ve gerçek hayattaki kısıtlara dayanarak alınması, ancak eş zamanlı çalışabilen bütünsel bir tedarik zinciri yönetim aracı ile mümkün olabilmektedir.

Karar destek sistemleri, karar vermeyi kolaylaştırmak ve karar verme sürecini daha etkili hale getirmek için tasarlanan ve bu amacı gerçekleştirmek üzere geliştirilen algoritmaları içeren sistemlerdir. Karar destek sistemleri genellikle bir analiz sunar ve bu analize dayanarak bir karar tavsiyesinde bulunur. Bir karar destek sisteminin en kritik bileşeni, sistemi besleyen verilerin kalitesidir. Diğer bir kritik bileşen ise, veri analizi sunmak gayesiyle kullanılan

modellerdir. Model gerçek bir sistemin kâğıt üstüne aktarılmış hali olduğundan, sistemi en iyi şekilde temsil etmesi beklenir. Bu nedenle, özellikle bu çalışmanın inceleme alanı olan kapalı çevrim tedarik zinciri sistemleri için önerilen bir modelin en uygun tedarik zinciri tasarımını temsil edebilmesi için, gerçek hayattaki bileşenlerin ve belirsizliklerin büyük bir çoğunluğunu içermesi gerekir.

Üretim ve tedarik stratejilerinde gerçekleşen dönüşüm ve küresel rekabetin yüksek seviyelere ulaşması bütünleşmiş tedarik zinciri kavramının popülerlik kazanmasında etkili olmuştur. Firmalar için rekabet avantajı kazanmanın yolu, daha yüksek kaliteli ürünleri diğer firmalara göre daha düşük fiyatla müşteriye sunabilmekten geçmektedir. Dolayısıyla, firmalar yalnızca üretim süreçlerini geliştirme çabalarıyla kalmayıp, müşteri talebini karşılamaya yönelik tedarik aktivitelerinin de bütünleştirilmesine odaklanmalıdır. Bu gelişmeler, geri dönüşü arttıracak yüksek kaliteli ürünlerin, zamanında ve en az maliyetle müşteriye sunulmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak, tedarik zinciri bütünleştirilmesi, ancak müşteri, üretici ve tedarikçinin birbiriyle kuvvetli bağlanmasıyla sağlanabilmektedir (Cousins ve Mengüç, 2006). Ragatz vd. (2002) tedarik zincirine farklı derecelerde değer katan firmaların ilişkilendirilmesiyle, müşterilere yüksek seviyeli değer sunma konusunda gelişmeler sağlanabileceğini savunmaktadır. Yazarlar, tedarikçi bütünleştirilmesinin maliyet azaltılması, dağıtım kalitesi artırılması ve çevrim zamanının azaltılması anlamında önemli gelişmeler sağlayabileceğini vurgulamaktadır.

Literatürde, tedarik zinciri bütünleştirilmesi konusunda iki yaklaşımdan söz edilebilir. Bunlar; ileriye bütünleştirme ve geriye bütünleştirme yaklaşımlarıdır. İleriye bütünleştirme yaklaşımı, tedarikçi, üretici ve müşteri arasındaki bütünleştirmeyi içerir. Bu yaklaşım, tedarik zincirinde tam zamanında üretim yönetimi ve kitlesel bireyselleştirme konuları içerisinde yer almaktadır. Geriye bütünleştirme yaklaşımı ise, bilgilerin müşteriden üreticiye, üreticiden de tedarikçiye akışının koordinasyonunu içermektedir. Geriye bilgi akışı, müşterilerin ihtiyaçlarını doğrudan karşılama imkânı sağlamaktadır (Cousins ve Mengüç, 2006).

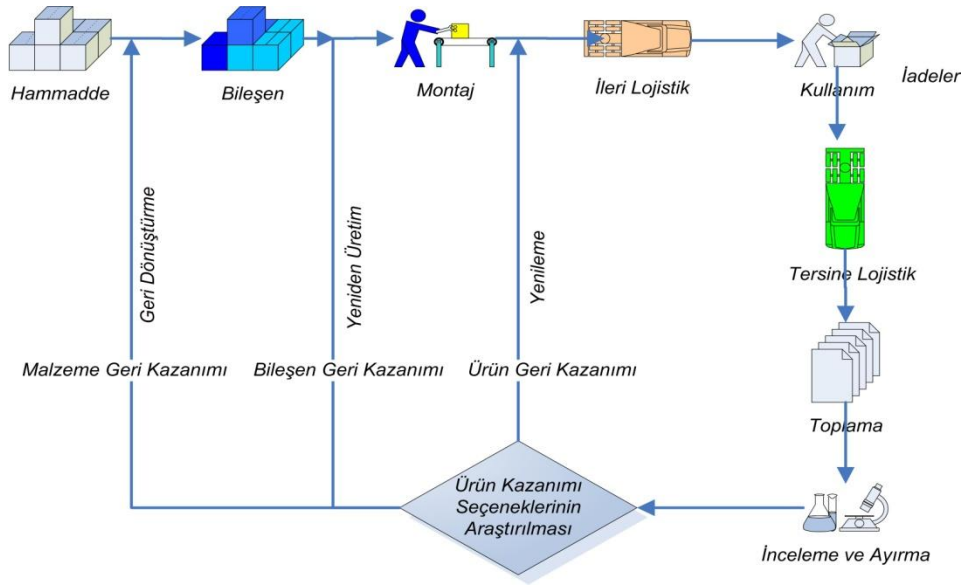
Son olarak, tedarik zinciri bütünleştirilmesi konusu üzerinde yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu, ileriye ve geriye akışın bütünleştirilmesinin başarabilmesi için firmanın doğru tedarik zinciri ilişkileri kurması gerekliliğini ortaya koymaktadır (Cousins ve Mengüç, 2006; Ko ve Ewans, 2007). Özetle; doğru tedarik zinciri ilişkilerinin kurulabilmesinin yegâne yolu, tedarik zincirinde yer alan tüm tarafların karşılıklı güveni ve memnuniyetinin sağlanmasıdır.

2.7 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Kavramı ve Terminoloji

Kapalı çevrim tedarik zinciri, ileri tedarik zincirinden farklı olarak, geri dönüş ve iade süreçlerini içermekte ve tüm tedarik zincirinin bütünleştirilmesi sayesinde tedarik zincirine fazladan değer kazandırmayı amaçlamaktadır. Dolayısıyla, kapalı çevrim tedarik zinciri, ileri tedarik zinciri faaliyetlerini içermekle kalmayıp, ilaveten tersine tedarik zinciri faaliyetlerini de içermektedir (Guide vd., 2003a). Guide vd. (2003a) bu ilave faaliyetleri şöyle özetlemektedir:

- Son kullanıcıdan ürünlerin elde edilmesi: Nihai tüketiciden kullanılmış ürünlerin elde edilmesi ile ilgili tüm faaliyetleri içerir.
- Ürünlerin kullanım noktasından bozunma noktasına iletilmesi: Nihai tüketicilerden toplanan ürünlerin merkezî veya merkezî olmayan bozunma noktalarına nakledilmeleriyle ilgili tüm taşıma ve bilgi alışverişi faaliyetlerini içerir.
- Ürünün durumunu tanımlamak ve en cazip yeniden kullanım seçeneğini belirlemek üzere, test etme, sınıflama ve bozunma: Gelen iade ürünün kalite seviyesine bağlı olarak bir geri kazanım veya geri dönüştürme seçeneğine karar verilmesi faaliyetlerinin tümünü içerir.
- Ekonomik olarak en cazip yeniden kullanım seçeneğinin belirlenmesi: Ekonomik anlamda bir ürünün herhangi bir yolla geri kazanımına karar vermek için, o ürünün o geri kazanım yoluyla kazanılmasının en azından tamamen bozunması seçeneğinden daha kârlı olması gerekir. Bu seçenekler;
 - Doğrudan yeniden kullanım,
 - Tamir,
 - Yeniden üretim,
 - Geri dönüştürme ve
 - Tamamen bozunmadır.
- Geri kazanılan ürünlerin tekrar pazara sunulması ve tekrar dağıtılması: Geri kazanılan ürünler için pazar oluşturma, bunların satışı ve müşterilere dağıtımı ile ilgili faaliyetlerin tamamını içerir.

Kapalı çevrim tedarik zinciri, hammaddenin kullanımıyla başlayan üretim süreci, ürünün paketlenmesiyle başlayan nihai tüketiciye ulaştırma süreci ve tüketicide kullanım ömrünü tamamlanma süreci boyunca zincirde olabilecek kayıpları azaltmayı amaçlar. Diğer bir deyişle, bir tedarik zinciri hammadde ve enerji gibi kaynakların en az kaybı ile zincirin mümkün olduğunca kapalı olmasını hedeflemelidir.



Şekil 2.4 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri ve Geri Kazanım Seçenekleri

Kapalı çevrim tedarik zincirinin tanımını daha iyi anlayabilmek amacıyla, ilişkili birtakım terimlerin de tanımları aşağıda verilmektedir.

Ürün İadesi (Product Return): Ürünün müşteri beklentilerini karşılayamaması veya çalışmaması durumunda alıcının para iadesi istediği ürünlerdir (Guide vd., 2003b). Asıl olarak, ürünler firmalara çeşitli nedenlerle iade edilebilirler. İadeler, ürünün iletilmesi sürecinde depolama, taşıma, paketlenme veya benzeri işlemlerin uygulanması aşamasında gerçekleşen hatalardan veya oluşan problemlerden kaynaklanabilir. İadeler, ürünün müşteriye ulaştırılması sonrasında, ürünün müşteri beklentilerini karşılamaması veya garanti süresi kapsamında olan ürünlerin kullanımı sırasında oluşan bir problemten kaynaklanabilir. Birçok ülkede yasal düzenlemelerin bir sonucu olarak, bir ürünün yaşam çevrimi boyunca onu üreten firmanın sorumluluğu devam ettiğinden, kullanım süresini herhangi bir nedenle tamamlayan ürünler de firmalara iade edilir. Bu ürünün doğaya en az zararı verecek şekilde bozunması yine o ürünü üreten firmanın sorumluluğundadır.

Literatürde ürün iadelerinin sınıflandırılması ve incelenmesiyle ilgili az sayıda çalışma yer almaktadır. Fleischmann vd. (2001), iadeleri, kullanım sonu iadeleri, ticari iadeler, garanti iadeleri, üründe ve paketlenmede oluşan üretim hataları sonucu oluşan iadeler olmak üzere beş sınıfta toplamıştır. De Brito ve Dekker (2002) ise, iade akışlarını üç grupta toplamıştır:

1. *Üretim İadeleri:* Üretim sırasında hammadde eklentileri, kalite kontrol iadeleri ve üretim artakalanlarından oluşur.
2. *Dağıtım İadeleri:* Ürün geri çağırılması, ticari iadeler, stok ayarlamaları ve dağıtım

parçaları gibi dağıtım sürecinde meydana gelir.

3. *Pazar İadeleri*: Ticari veya bireysel müşterilerden gelen kullanım sonu iadeleridir.

Ürün Geri Alma / Kabul Edilmesi (Product Take-back): Üreticinin ömrü tükenmiş ürünlerin tasfiyesi veya düzgün yok edilmesi için ürünleri toplaması gerekliliğidir (Guide vd., 2003b). Geri alma kuralları, Avrupa’da zamanla daha da yayılmakta ve yasalar ürünlerin uygun bozunması sorumluluğunu üreticilere yüklemektedir.

Toplama (Collection): Bir sonraki işlem için kullanılmış ürünlerin fiziksel olarak bir yerden belli başka bir yere taşınmasını içerir. Toplama; bazen satın alma, taşıma ve depolama faaliyetlerini de içerebilir (Fleischmann vd., 2000).

İnceleme ve Ayıklama (Inspection / Separation): Kullanılmış ürünlerin tekrar kullanılabilir olduğunu veya bozunması gerektiğine karar verilmesidir. De-montaj, parçalama, test, sıralama ve depolama aktivitelerini de içerebilir (Fleischmann vd., 2000).

Çevresel düzenlemeler, talep düzenlemeleri ve tedarik düzenlemeleri olarak ikiye ayrılır: tedarik düzenlemeleri firmaları ürünlerinin toplanmasından ve geri dönüştürülmesinden sorumlu tutar, talep düzenlemeleri ise en az vergi ve geri dönüştürülebilir içerik, bağış ve kredi programlarını içerir (Kopicki, 1993). Talep tarafındaki düzenlemeler için, Fleischmann vd. (2001) yeni ürünlerin üretiminde geri dönüştürülmüş ürünlerin kullanılması zorunluluğunun getirilmesi örneğini vermiştir.

Ürün Geri Kazanımı (Product Recovery): İadelerden kurtarılabilecek malzeme ve parça miktarını ifade eder (Guide vd., 2003). Ürün geri kazanımı, iade ürünün incelenmesini takiben en fazla faydayı sağlayacak şekilde en az maliyetle ürünün yenilenmesini veya çeşitli formlarda tekrar üretime yeniden kazandırılmasını amaçlar.

Ürün Yeniden Kullanımı (Product Reuse): Ürünün tasarlanma amacına benzer bir amaç için yeniden kullanılmasıdır (Guide vd., 2003b).

Ürünün Tamiri (Product Repair): Kullanılmış ürünlerin tamir edilmesi işlemleridir. Tamir edilen ürünlerin kalitesi yeni ürünün kalitesinden daha düşük olabilir (Wadhwa vd., 2009).

Yeniden Üretim (Remanufacturing): Eskimiş ürünlerin yenilendiği/ yeni gibi onarıldığı endüstriyel süreçtir. Bir fabrika ortamında bir düzine endüstriyel süreçler boyunca, eski ürünlerin tamamen de-montajı yapılır. Kullanılabilir parçalar temizlenir, onarılır ve envantere konulur. Sonra, yeni ürünün montajı eski olan parçalardan yapılır. Bu parçalar performans ve beklenen ömür açısından en az ürün kadar iyi olmalıdır (Guide vd., 2003b).

Yenileme (Refurbishing): Gerçekleştirilen bir incelemeden sonra, kullanılmış olan ürünün kalite seviyesini belli bir seviyeye yükseltmek üzere yapılan işlemlerdir.

Yeniden İşleme (Reprocessing): Kullanılmış ürünlerin kullanılabilir bir ürüne dönüştürmeyi gerektirir. Bu dönüşüm, geri dönüştürme, tamir ve yeniden üretim şekillerinde olabileceği gibi, temizleme, yerleştirme ve yeniden montaj aktivitelerini de içerebilir (Fleischmann vd., 2001).

Geri Dönüştürme (Recycling): Kullanılmış ürünlerden çeşitli ayırma yöntemleri kullanılarak malzeme elde edilmesi ve bu malzemelerin özgün ürün veya başka ürün üretimi için kullanılmasını ifade eder (Wadhwa vd., 2009).

Yamyamlaştırma (Cannibalization): Kullanılmış ürünlerden kullanılabilir parçaların ve bileşenlerin tamir, yeniden kullanım, yenileme, yeniden üretim seçenekleri uygulaması için geri kazanımı aktivitelerinin tamamını içerir (Wadhwa vd., 2009).

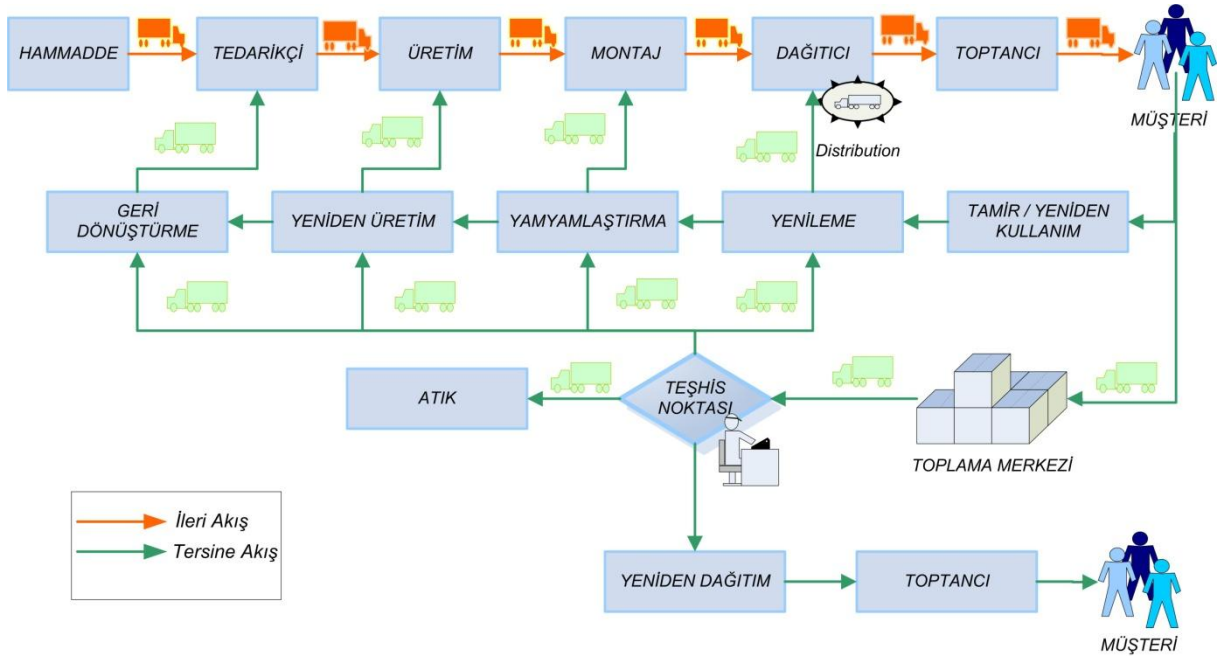
Ürünün Bozunması (Product Disposal): Kullanım ömrünü gerek teknik, gerekse maliyet açısından tüketmiş ürünlerin bozunmasını ve yok edilmesini içerir. (Krikke vd., 2001a)

Yok Etme (Incineration): Yok etme; katı, sıvı veya gaz halindeki atıkların kontrollü bir şekilde yüksek sıcaklıklarda yakılarak ortadan kaldırılmasıdır. Büyük miktarlardaki katı organik atıkların yok edilmesinde daha sık kullanılmaktadır.

Atık Gömme (Landfill): Atık bertaraf yöntemlerinden birisi olup, atıklar belli bir alana atıldıktan sonra bir miktar toprakla kapatılır. Atık Gömme, atıkları yok etmenin yollarından biri olup, katı atıkların belli bir alana atılmasının ardından çevreye olabilecek etkilerin en aza indirilmesi ve toplum sağlığının ve güvenliğinin korunması amacıyla yönelik olarak, tamamıyla üst kısmının belli bir miktar toprak ile kaplanmasıdır. Amerika ve Almanya'da motor yağlarının, pillerin, ev aletlerinin, beyaz eşyaların, kâğıt ürünlerin, lastiklerin, termostat ve benzeri ürünlerin çöpe atılması kanunen yasaklanmıştır (Rogers ve Tibben-Lembke, 1999).

Thierry vd. (1995), kalitenin veya ürünün yükseltilmesi kapsamında geri kazanım seçeneklerinin farklılıklar gösterdiğini vurgulamıştır. Tamir en az değişikliği, yeniden üretim ise en fazla değişikliği içerir. Tamirde amaç, çalışma şeklini koruyarak kırılmış parçaların yenisiyle değiştirilmesi veya tamir edilmesini içerir. Yenilemede ise amaç ürünün belli bir kalite seviyesine ulaştırılmasıdır. Kullanılmış ürünlerin bileşenlerine ayrılması, kritik bileşenlerin incelenmesi, tamiri ve yerine konması işlemleri yapılır. **Yükseltme**, yenilemenin bir çeşididir. Yeniden üretim, kullanılmış ürünün yeni bir kaliteye eş dönüştürülmesini ifade eder. Yeniden üretimde, kullanılmış ürünler tamamıyla de-monte edilir, tüm bileşenler ve

Krikke vd. (2001b), ileri tedarik zinciri tasarımının gerçekleştirilmesi için literatürde yer alan kuralları özetlemiş, kapalı çevrim tedarik zincirinin tasarlanması için gerekli olan yeni kurallar önermiştir. İşletmelerin yaptıkları tasarım hatalarının temelinde; ürün yaşam döngüsü yaklaşımının olmaması, eskime ve hizmetle ilgili maliyetlerinin göz ardı edilmesi ve sürdürülebilirlik kavramının ihmal edilmesinin olduğu sonuçlarına varmışlardır.



Şekil 2.6 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri ve Geri Kazanımı Seçenekleri (Wadhwa vd., 2009)

Guide vd. (2003b) ürün geri dönüşümünü içeren kapalı çevrim tedarik zincirinde üretim planlamasını ve kontrolü etkileyen faktörleri incelemiştir. Guide vd. (2003b), iade karakteristiklerine göre, stok için yeniden üretim, sipariş için yeniden montaj ve sipariş için yeniden üretim örneklerinin benzerliklerini ve farklılıklarını ortaya koymuşlardır.

Kapalı çevrim tedarik zinciri çok çeşitli geri kazanım ve bozunma seçeneklerini içermektedir. Bunlar; geri kazanımı en çok değer üreten seçeneklerden en az değer üreten seçeneklere doğru, yeniden kullanım, tamir, yenileme, geri dönüştürme, yok etme ve atık gömme şeklinde sıralanabilir (Kumar ve Malegeant, 2006).



Şekil 2.7 Kapalı çevrim tedarik zincirinde geri kazanım (Kumar ve Malegeant, 2006)

Kumar ve Malegeant (2006) geri kazanım seçeneklerini en yüksek değer üreten seçeneğin

piramidin en üstünde olacağını Şekil 2.7’de gösterildiği gibi ifade etmektedir. Bununla birlikte, Kumar ve Malegeant (2006) kapalı çevrim tedarik zincirinin sağladığı faydaları ve değer yaratan tedarik zinciri fırsatlarını özetlemiştir.

Kapalı çevrim tedarik zinciri, müşteriye en düşük maliyetle hizmet sağlamayı hedeflerken, atık miktarını sınırlamak için malzeme akışını da kapalı tutmaya çalışır. Kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı yaparken, tasarımın sürdürülebilirlik gereksinimini karşılamak için ilave tasarım prensipleri gereklidir (Krikke vd., 2001b).

Krikke vd. (2001b) kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken prensipleri Çizelge 2.1’de özetlenmektedir:

Çizelge 2.1 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Prensipleri (Krikke vd., 2001b)

Lojistik Sistem Tasarımı Esasları	Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri İlave Prensipleri
İş Stratejisiyle ilişkilendir	
Kapsamlı örgütlen	Sürdürülebilirlik standartlarını tedarikçiye dayat
Bilginin gücünü kullan	Yaşam döngüsü metodolojilerini kullan
İnsan kaynaklarını vurgula	Yeni yönetim tekniklerini kullan
Stratejik ittifak kur	Yeni pazarlar yarat
Finansal performansa odaklan	Belirsizliği yönet
Optimum hizmet seviyesini hedefle	Ağ tasarımını geri kazanım seçeneğiyle eşleştir
Detayları yönet	Geri dönüştürmeyi geliştir.
Lojistik hacmini dengele	İadelerin kalitesini ve dönüş oranını değerlendir
Performansı ölç ve tepki ver	

Fleischmann vd. (2000) kapalı çevrim tedarik zincirinin ileri lojistikten önemli ölçüde farklı olduğundan ve bunun da tasarım prensipleri üzerindeki etkilerinin öneminden bahsetmiştir. Yazarlar, kapalı çevrim tedarik zincirlerinin aşağıda verilen altı sistem bileşeni kapsamında farklılıklar gösterdiğini belirlemişlerdir. Bunlar;

1. Maliyet ve hizmete ek olarak, amaç fonksiyonunu karmaşıklaştıran çevresel faktörler.
2. Kapalı çevrim sistemlerde hem parça akış sayısının artışı hem de akışların ilişkilerinin artışı nedeniyle artan sistem karmaşıklığı.
3. Tedarik (toplama) tarafında bulunan miktar, kalite, zamanlama ve mahiyetteki belirsizlik.
4. İtme- çekme yapısında tedarik ve talep arasında genellikle yanlış eşleşmeden

kaynaklanan karmaşıklık.

5. Hammadde talebini karşılayabilecek sayısız tedarikçi yerine, iade etmeyi alışkanlık haline getirmiş müşteri azlığı dikkate alınması gereken diğer bir husustur. Kullanılmış ürünler tersine tedarik zincirin hammaddeleridir. İleri zincirin tersine, hammadde kaynağı çok ve maliyeti de çok az ya da hiç yoktur. Buna rağmen, iade akışlarının değeri düşük ve akışın küçük bir kısmıdır.
6. Keşfedilmemiş pazar fırsatları. Çevresel gereksinimler yeni pazarların açılmasını sağlayabilir ya da mevcuttaki firmaların yeniden organize olmasını sağlayabilir.

Tedarik zinciri yönetiminin araştırma alanı; ürün kullanımı (hizmet, bakım vd.) ve ürün yaşam çevrimi aşamalarını (ürün geri kazanımı, yenileme veya geri dönüştürme) içeren faaliyetleri içine alarak, kapalı çevrim tedarik zinciri adı altında genişlemektedir (Schultmann vd., 2006).

2.9 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Tasarımı Performansı

Kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı performansı tedarik zinciri performansı ile birebir ilişkili olmakla beraber, ilave performans ölçütlerini de kavramsal olarak beraberinde getirmektedir. Bu ilave kavramlar; sürdürülebilirlik, ürün yaşam çevrimi, belirsizlik, geri kazanım ve geri dönüşüm başlıkları altında özetlenebilir.

2.9.1 Sürdürülebilirlik

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılı tanımına göre: "İnsanlık, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğine sahiptir."

Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik büyüme ve refah seviyesini yükseltme çabalarını, çevreyi ve yeryüzündeki tüm insanların yaşam kalitesini koruyarak gerçekleştirme yöntemidir.

Çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik sağlandığı takdirde, sürdürülebilir gelişme gerçekleşebilmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve doğaya karşı sorumlu davranılması çevresel sürdürülebilirliğin gereksinimlerini oluşturmaktadır. Doğal enerjinin verimli kullanımı sonucu, ülke ekonomisinde gelişme gözlenir. Ekonomideki kalkınma ise, sürdürülebilir ekonomi kavramını gerçekçi kılmaktadır.

Tedarik zinciri kapsamında sürdürülebilirlik kavramı, ürün ve organizasyon açısından

incelenebilir. Sürdürülebilirlik, ürünün tasarımı aşamasında, yenilenemeyen kaynakların tüketiminin azaltılması, yeniden dönüştürülebilen malzemelerin tercihi, standart malzemeleri seçilmesi, fiyatı sabit veya devletçe belirlenen bileşenlerin seçilmesi ve bileşenlerin çeşidini azaltma gibi yöntemlerin kullanılmasıyla uygulanabilir. Sürdürülebilirlik, ürünün geri dönüştürülmesi aşamasında ise, dönüştürülen ürün için olası pazarların araştırılması, performansı değerlendirmek için ilgili performans ölçütlerinin belirlenmesi, ileri ve tersine tedarik zincirlerinin bütünleşme seviyesinin belirlenmesini gerektirir.

2.9.2 Ürün Yaşam Çevrimi

Bir ürünün yaşamı, ürünün veya ürün tasarımının keşfiyle başlayıp, ürünün gerçekte var olmasına, dağıtımına, geliştirilmesine, yeniden kazanılmasına ve son olarak ürünün yok edilmesi ile sona erer.



Şekil 2.8 Ürün yaşam çevrimi

Fiziksel ve fiziksel olmayan ürün-hizmet bileşenlerinde farklı ürün yaşam çevrimi görünüşleri vardır. Üreticiler açısından bakıldığında, bir ürünün yaşam çevrimi ürünün tasarımı ile başlayıp, ürünün üretilmesi, ürünün sunulması ve ürünün yeniden üretimini içermektedir. Diğer taraftan, müşterilere sunulan teknik hizmetler de ürün yaşam çevrimi kapsamında değerlendirilmelidir. Bu hizmetler; ürün satın alma (danışmanlık), ürün kullanımı (bakım, tele-hizmet ve uyarılma) ve ürünün bozunması (geri alma ve yenileme) konularında destek olmaktadır (Aurich vd., 2006). Aurich vd. (2006) ürün yaşam çevrimi faaliyetlerini; ekonomik gelişmeyi teşvik eden ve sürdürülebilirlik gereksinimini göz önünde bulunduran, çevreyi koruma ve kaynakların tasarrufu amacıyla, ürünlerin tasarımının ve üretim şeklinin

belirlenmesi için teknolojik ve bilimsel prensiplerin uygulanması olarak tanımlamaktadır.

Sonuç olarak, ürün yaşam çevrimi çerçevesi ile ürün tasarımı gerçekleştirilmesi için, farklı materyallerden yapılmış bileşenlerin, farklı ömüre sahip olan bileşenlerin ve bakım için farklı süre aralıklarına sahip olan bileşenlerin tasarımı bir araya getirilmemesi daha uygundur.

2.9.3 Belirsizlik

Tedarik zincirinin doğasında belirsizlik vardır. Müşteri talepleri, üretim ve taşıma süreleri, ürünün ömrü, gelen iadelerin miktarı, kalitesi ve ne zaman iade edileceği ve benzeri birçok tedarik sürecinde veya bileşeninde belirsizlik söz konusudur. Dolayısıyla; tedarik zincirleri belirsizlikleri mümkün olduğunca azaltacak veya belirsizliklerin etkisini en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır.

Gerçek hayat problemleri bünyelerinde barındırdıkları belirsizlikler nedeniyle, çözümü oldukça zor olan problemlerdir. Tedarik zinciri problemleri ise, gerek kapsadığı alanın geniş olması gerekse tedarik zinciri süreçlerinin ve bu süreçlerin birbiriyle olan ilişkilerinin karmaşık olması nedeniyle, bulanıklığın hemen hemen her noktada karşılaşıldığı bir problem alanıdır.

Literatürde, tedarik zinciri sistemlerinin açıklanmasında ve çözümlenmesinde belirsizlik kavramına sıklıkla yer verilmesine rağmen, çalışmaların sayısı yeterli olmamaktadır. Tedarik zinciri kapsamında var olan bulanıklık, genellikle üç tip belirsizlik ile ilişkilendirilmiştir. Bunlar; gelecekteki talep miktarının belirsizliğinden kaynaklanan bulanıklık, temin süresinin, üretim süresinin veya teslim süresinin belirsizliğinden kaynaklanan bulanıklık ve hammaddenin tedarik edilebilmesinin belirsizliğinden kaynaklanan bulanıklıktır.

İleri tedarik zincirinde karşılaşılan önemli belirsizlikler, genellikle temin süresinden ve talep-tedarik denkleştirilmesinin zor olmasından kaynaklanır. Talep gerçekleşmeden önce imalatçıların belirli bir üretim miktarı seçmek zorunda olması ve bu doğrultuda verilen kararlar çok büyük finansal ve tedarik risklerini beraberinde getirmektedirler. Teslimat zamanları, fire miktarları, girdi/çıktı oranları, ulaşım süreleri, yarı mamullerin hazır olmaması gibi faktörler de tedarik zinciri performansını büyük oranda etkileyebilir.

Tersine tedarik zincirindeki belirsizlikler ise, ileri tedarik zincirine göre çok daha fazladır. Bu belirsizliklere örnek olarak, tüketici pazarındaki kullanılmış ürünlerin elde edilebilirliği, geri kazanılmış ürünler için oluşabilecek talep miktarı, ürünün tersine tedarik zinciri içinde izleyeceği rota, fiyatlama, gelen iade ürünlerin miktarı, iade edilen ürünlerin kalitesi ve iade

edileceği zaman konularında oluşan belirsizlikler verilebilir.

2.9.4 Geri Dönüşüm

Geri dönüşüm terim olarak, kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır. Tüketilen maddelerin yeniden geri dönüşüm halkası içine katılabilmesi ile öncelikle hammadde ihtiyacı azalır. Böylece insan nüfusunun artışı ile paralel olarak artan tüketimin doğal dengeyi bozması ve doğaya verilen zarar engellenmiş olur. Bununla birlikte, yeniden dönüştürülebilen maddelerin tekrar hammadde olarak kullanılması büyük miktarda enerji tasarrufunu mümkün kılar.

Pratikte geri dönüşümü yaygınlaşan malzemeler, cam, kâğıt, alüminyum, plastik, pil, yağ, beton, organik atıklar ve elektronik atıklardır. Geri dönüştürme metotları, geri dönüştürülen malzemenin yapısına ve yeniden kullanılacağı alana göre değişiklik gösterebilir. Türkiye’de bu tür atıkların geri dönüşümünün kontrolünü gerçekleştiren veya geri dönüştürme sürecini üstlenen çeşitli kurumlar vardır. Atıkların geri dönüştürülmesiyle ilgili Çevre ve Orman Bakanlığı’nın Atık Yönetimi Dairesi çeşitli ambalaj atıklarının, tıbbi atıkların, atık yağların, katı atıkların, ömrünü tamamlamış taşıtlar ve tehlikeli atıklar gibi birçok atık türü için genelgeler ve yönetmelikler hazırlamıştır.

Atık malzemelerin hammadde olarak kullanılması çevre kirliliğinin engellenmesi açısından da önemlidir. Kullanılmış kâğıdın tekrar kâğıt imalatında kullanılması hava kirliliğini %74–94, su kirliliğini %35, su kullanımını %45 azaltabilmekte ve bir ton atık kâğıdın kâğıt hamuruna katılmasıyla 8 ağacın kesilmesi önlenebilmektedir. Geri dönüşümün; doğal kaynakların korunması, enerji tasarrufu sağlanması, atık miktarının azalması ve ekonomiye katkı sağlaması gibi önemli faydaları vardır.

Kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı kapsamında ürün tasarımı oluşturulmasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli karar ürünün tasarımında kullanılabilecek malzemelerin özellikleri ve geri dönüştürülebilir olmalarıdır. Bir ürün tasarımının sadece çalışma fonksiyonunu yerine getirmesi o ürünün tasarım sürecinin tamamlandığını göstermez. Ürün tasarımının tamamlanmış olabilmesi için, piyasaya sürülebilir olgunluğa yani bir kalite seviyesine yükselmesi gerekir. Bu kalitenin boyutlarını, ürünün performansı, güvenilirliği, standartlara uygunluğu, dayanıklılığı, estetiğinin yanı sıra ürün ömrünün uzun olması ve malzemelerinin geri dönüştürülebilir olması gerekir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, tedarik zinciri sistemlerinin tasarımı ve tedarik zinciri tasarımının performansının değerlendirilmesi konularında literatürde yer alan çalışmalar incelenmektedir. Tedarik zinciri tasarımının gerçekleştirilmesi ve tasarımın performansının değerlendirilmesi konusunda yapılan çalışmalardan hareketle, kapalı çevrim tedarik zinciri sistemlerinin tasarımı konusunda yapılan çalışmalara yer verilmektedir. Son olarak, kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımının performansının değerlendirilmesini içeren çalışmalar detaylı olarak incelenmektedir.

3.1 Tedarik Zinciri Tasarımı

Bir tedarik zinciri, bir ürünün tasarımı, üretimi ve pazara dağıtılması süreçlerine dâhil olan firmaları içerir. Tedarik zinciri yönetimi ise, pazara en iyi cevap verebilme ve pazar için en verimli seçeneği sunabilme amaçlarına yönelik olarak tedarik zincirinde yer alan katılımcıların üretim, envanter, yer ve taşıma konularında koordinasyonunu içerir (Hugos, 2006). Tedarik zinciri tasarımı, tasarlanacak tedarik zincirinin niteliklerinin, iş yapma mekanizmasının ve kurallarının belirlenmesi süreçlerini kapsar. Bir tedarik zincirinin tasarlanması; bu tedarik zincirindeki tesislerin sayısı, yerleri ve kapasiteleri ile üretim, taşıma ve depolama miktarlarının belirlenmesini; taşıma ve depolama şekillerinin belirlenmesi ile bu aktivitelerin yürütülmesini destekleyen tüm ürün, hizmet ve bilgi akışı süreçlerinin yapılandırılmasını içerir.

Tedarik zinciri yönetimi ve tasarımı konusunun, tedarik zinciri içinde yer alan tüm taraflar dikkate alındığında, yüksek stratejik öneme sahip olduğu görülmektedir. Araştırmacılar ve yöneticiler, tüm tedarik zinciri katılımcıları için stratejik değer yaratan tedarik zinciri tasarımı konusunda çok sayıda proje yürütmekte ve makale yayınlamaktadır. Literatürde yer alan tedarik zinciri tasarımı konulu çalışmaları,

1. Ürün tasarımını temel alan yaklaşımlar
2. Süreç tasarımını temel alan yaklaşımlar

olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür.

Ürün tasarımını temel alan yaklaşımlar; tedarik zinciri tasarımının, ürün tasarımı ve üretim süreci tasarımı esnasında eşzamanlı olarak yapılması gerekliliğini öneren yaklaşımlardır. Bu çalışmalar; sırasıyla ürün tasarımı, süreç tasarımı ve tedarik zinciri tasarımı çalışmalarının ardı ardına yürütülmesinin, tedarik zinciri tasarımının başarısını olumsuz yönde etkilediği

savunmaktadır. Ürün yaşam çevrimi göz önünde bulundurularak; ürün, süreç ve tedarik zinciri tasarımının birlikte eşzamanlı yapılması gerekliliğini savunan yaklaşımlardan bazıları Garg (1999), Rungtusanatham ve Forza (2005), Fine vd. (2005), Peterson vd.(2005) ve Fixson (2005) tarafından önerilmiştir. Bu araştırmacılar, bu üç ana sürecin eş zamanlı tasarlanması konusunda çeşitli saptamalar yapmış, tasarımın gerçekleştirilmesi için farklı yol ve yöntemler geliştirmiştir.

Ürün tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken önemli tasarım fonksiyonları; parçalı olma (modularity), benzerlik (commonality), değişkenlik (variability) ve geri dönüştürülebilirlik (recyclability) kavramlarıdır. Bu dört önemli özelliğin ürün tasarımı yapılırken dikkate alınması, üretim sürecinde karşılaşılan satın alma maliyeti, montaj ve de-montaj maliyeti gibi bazı maliyet unsurlarının azaltılmasının yanı sıra, ürün yaşam çevriminin yönetiminin kolaylaşmasına da yardımcı olmaktadır.

Global pazarda rekabet edebilmek için, üreticilerin kısa ürün hayat döngüleri, hızla artan geliştirme maliyetleri, ürün değişkenliği ve özelleştirmesinde başarılı olmasının bir yolu olarak, ürün mimarisinde parçalı olma kavramı önerilmektedir (Antonio vd, 2007). Parçalı olma kabiliyeti düşük olan ürünler ürün parçalarının optimizasyonunu kolaylaştırırken, parçalı olma kabiliyeti yüksek olan ürünler parçalarının birbiriyle değiştirilmesi sayesinde geniş bir ürün yelpazesine sahip olmaktadır. Parçalı olma kabiliyeti yüksek olan ürünler, maliyetleri artırmadan ürün çeşitliliğinin artmasını sağlamakta ve bileşen standardizasyonuna destek olmaktadır (Mikkola ve Gassmann, 2003). Garud vd. (2003)'nin gerçekleştirdiği literatür araştırması sonucunda; ürünün parçalı olma kabiliyetinin teknolojik, stratejik ve toplumsal açıdan organizasyon tasarımı, süreç tasarımı ve ürün tasarımı üzerinde kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Benzerlik kavramı ise, parçaların ve ürünlerin birbirine olan benzerliğini ve standart bileşen oluşumunu ifade etmektedir. Benzer birleşim şekilleri ve birleşim elemanları, farklı ürün oluşturma yeteneğini ve ürün yelpazesinin büyümesini sağlamaktadır. Geri dönüştürülebilirlik yaklaşımı ise, geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımları teknik açıdan uygun ve ekonomik açıdan sürdürülebilir olduğu sürece, geri dönüştürülemeyen malzemelere tercih edilmesini önermektedir.

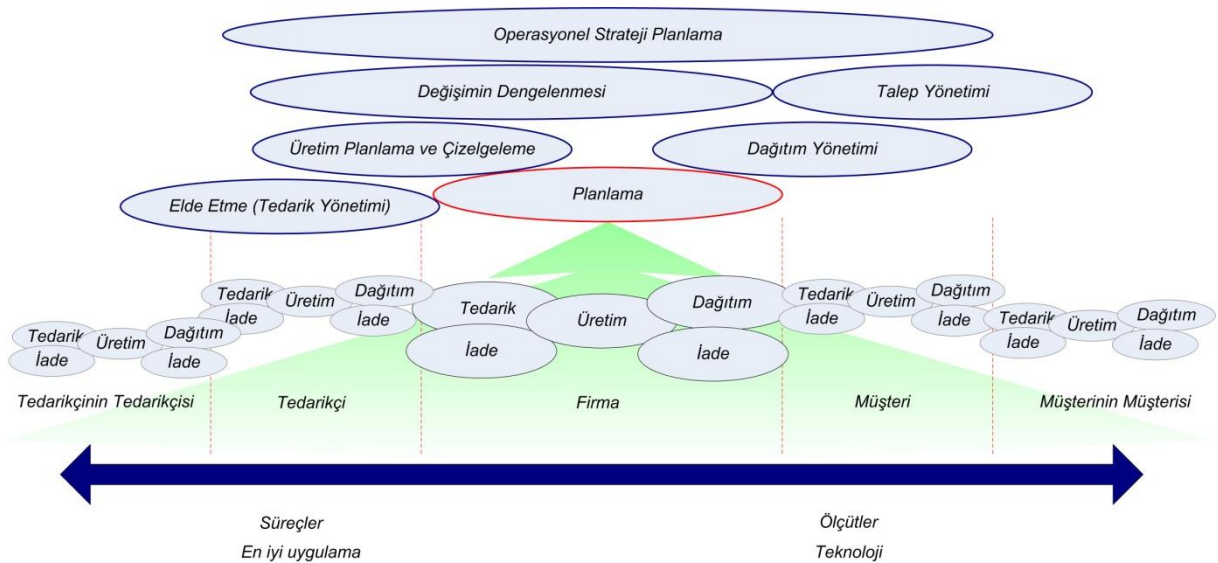
Blackhurst vd. (2005), bütünleşik ürün tasarımı, süreç ve tedarik zinciri tasarımı kararlarının tedarik zinciri performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Huang vd. (2005), ürün genelliğinin var yada yok olması durumunda en uygun tedarik zinciri yapılarını araştırmış ve tedarik zinciri performansı üzerindeki etkilerini incelemek üzere, matematiksel bir envanter optimizasyonu modeli sunmuştur.

Süreç tasarımı temel alan yaklaşımlar ise, envanter optimizasyonu, ağ tasarımı, tesis tahsis ve bunların sentezinden oluşan problemlere çözüm üretmeye çalışan yaklaşımlardır. Envanter optimizasyonu problemlerinde, envanterin tedarik zinciri içinde nasıl hareket edeceği [(Karaman ve Altıok, 2009) (Max ve Qi., 2007)] ve envanter kontrol parametrelerinin nasıl belirleneceği [(You ve Grossmann, 2008) (Lieckens ve Vandaele, 2007) (Graves ve Willems, 2003)] gibi envanter politikaları incelenmektedir. Ağ tasarımı modellerinde; her bir tesisin nereye kurulacağı, kapasitelerinin ne olacağı, hangi pazara hizmet sunacağı ve hangi tedarikçiden kaynak temin edeceği konularının belirlenmesi ile birlikte, kurulacak tesislerin sayısı ve her tesisin tedarik zinciri içinde üstleneceği rol belirlenmektedir [Beamon (1998), Melo vd. (2009), Gunasekaran ve Ngai (2005), Hugos (2006)].

3.2 Tedarik Zinciri Tasarımı Performansı

Tedarik zinciri tasarımının başarısını değerlendirmek, ancak ve ancak tasarım sırasında belirlenen performans ölçütlerinin izlenmesi ve değerlendirilmesiyle gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, etkin performans ölçüm modelinin belirlenmesi ve ilgili performans ölçütlerinin tanımlanması tedarik zinciri tasarım sürecinin en önemli aşamalarından biridir.

Tedarik zinciri konseyi tarafından tasarlanan tedarik zinciri operasyonları referans modeli (SCOR Model), bir tedarik zinciri performansı değerlendirme modeli standardıdır. SCOR modeli, tedarik zinciri için ortak bir terminoloji oluşturup, süreçlerin standart olarak tanımlanmasının yanı sıra, tedarik zinciri performansını sistematik bir şekilde değerlendirme, tedarik zinciri üyeleri arasındaki iletişimi geliştirme ve tedarik zinciri ağını daha iyi tasarlama imkanı sunar (Hwang vd., 2008).



Şekil 3.1 SCOR Modeli (Lockamy ve McCormack, 2004).

SCOR modeli; yönetim süreçlerinin standart bir tanımını, standart süreçler arası ilişkilerin bir çerçevesini, süreç performansı ölçümü için standart ölçütleri, sınıfında en iyi performansı geliştirecek yönetsel uygulamaları ve yazılım özellikleri ile işlevselliği için standart bir düzenlemeyi içermektedir. SCOR (SCOR V9.0) modelinde stratejik performans ölçütü olarak, tedarik zincirinin güvenilirliği, cevap verme yeteneği, çevikliği, maliyetleri ve tedarik zinciri varlıklarının yönetimi başlıkları altında önemli ölçütler tanımlanmıştır.

Lai vd. (2004), tedarik zinciri performansını değerlendirmek için tedarik zinciri referans modelini temel alan, hizmet etkinliğini, işlemsel etkinliği ve lojistik hizmet sağlayıcıların operasyonlarının etkinliğini gösteren bir ölçüm aracı geliştirmişlerdir.

Tedarik zinciri performansının ölçümü konusunda yapılan çalışmaların geniş bir özeti ve önemli performans ölçütleri Kleijnen ve Smits (2003) tarafından sunulmuştur. Kleijnen ve Smits (2003), lojistik performans ölçütü olarak beş adet (doluluk oranı, onaylanmış doluluk oranı, cevap süresi, süreç içi stok ve gecikme süresi) ve tedarik zinciri boyunca paylaşılan performans ölçütü olarak üç adet (doluluk oranı, satışlar ve satış/envanter oranı) performans ölçütünün önemini vurgulamıştır.

Literatürde, tedarik zinciri stratejilerinin performans ölçütleri üzerindeki etkisi konusunda pek çok çalışma yer almaktadır. Genellikle performans ölçütü olarak envanter politikalarının performans etkisi üzerindeki etkileri incelenmiştir (Chiang ve Monahan, 2005; Wang ve Shu, 2005; Wang ve Shu, 2007; Xiaobo vd., 2007; Karaman ve Altıok, 2009; Yao vd., 2009).

Literatürde, tedarik zinciri performansını değerlendirmeye yönelik pek çok yaklaşım önerilmiştir. Garavelli (2003) farklı tedarik zinciri tasarımlarının esneklik derecelerindeki değişimlerin etkilerini değerlendirmek için, performans ölçütleri olarak çalışma ve temin zamanının temel alındığı bir benzetim modeli tasarlamıştır.

Otto ve Kotzab (2003) tedarik zincirinin etkinliğini ölçmek üzere uygun performans ölçütlerini araştırmış ve incelediği yayınlar kapsamında performans ölçütlerini altı küme kapsamında incelemiştir. Bu kümeler;

- Tedarik zinciri boyunca ödünleşmelerin yönetimini içeren sistem dinamiği bakış açısı,
- Tedarik zincirini programlanabilir ve ayarlanabilir kaynak ağı olarak algılamak ve bu tedarik zincirini meydana getirmek üzere kullanılabilecek yöneylem araştırması ve bilgi teknolojisi bakış açısı,
- Sırasal, yatay ve düşey anlamda tedarik zinciri genel süreçlerini bütünleştirebilecek

lojistik bakış açısı,

- Müşterileri sınıflandırmak suretiyle onlara doğru kanalla bağlanabilecek bir pazarlama bakış açısı,
- Tüm tedarik zinciri boyunca ilişkileri yönetebilecek bir organizasyon bakış açısı,
- Tedarik zincirinin yönetimini bir kâr ve rekabet ayarlanması olarak algılamak suretiyle rekabet gücü sağlayacak strateji bakış açısı olarak özetlenebilir.

Gunasekaran vd. (2004) performans ölçümü ve ölçütlerinin, yeni hedefler konulmasında, performansın değerlendirilmesinde ve gelecek aksiyonların alınmasında çok önemli bir role sahip olduğunu belirtmiş ve tedarik zinciri performansının ölçümünün ve performans ölçütlerinin daha iyi anlaşılması için bir yapı tasarlamıştır.

Meixell ve Gargeya (2005) literatürde yayınlanan küresel tedarik zincirlerinin tasarımı için önerilen karar destek modellerini öncelmiş ve gerçek küresel tedarik zinciri uygulamaları ile literatürdeki araştırmaların birbiriyle örtüştüğü noktaları değerlendirmiştir. Bu analizi gerçekleştirmek üzere, bir sınıflandırma şeması oluşturmuş ve inceleme boyutları olarak (1) modelde adreslenen kararlara, (2) performans ölçütlerine, (3) modelin bütünleşmiş karar süreçlerini hangi ölçüde desteklediğine ve (4) küreselleşme görüşlerine bağlı olarak, incelediği araştırmaları sınıflandırmıştır.

Thangavelu ve Samavedham (2007) mevcut bir tedarik zincirinin performansını değerlendirmek ve incelemek amacıyla, zaman serileri analiz teknikleri ve benzetim yöntemini kullanarak bir performans değerlendirme çerçevesi geliştirmiştir.

Bhagwat ve Sharma (2007), tedarik zincirini analiz etmek ve performans ölçümü gerçekleştirmek için, finansal ölçütlerin, müşteri bakış açısının, iç süreçler bakış açısının, yenilik ve öğrenme bakış açılarının dâhil edildiği dengelenmiş performans ölçüm sistemi önermiştir.

3.3 Tersine Tedarik Zinciri Tasarımı

Literatürde tersine akışı içeren tedarik zinciri tasarımı çalışmaları incelendiğinde, çalışmaları iki ana başlık altında gruplamak mümkündür.

Birinci grup, çalışmaların hem ileri hem de tersine akışı inceleyen ve etkili bir bütünleştirmenin varlığını araştıran kapalı çevrim tedarik zinciri konusudur. Kapalı çevrim tedarik zinciri konusunda yapılan yayınlar, akışın, ürünlerin hammadde aşamasından

tüketiciye ulaştığı aşamaya ve ardından çeşitli nedenlerle ömrünü tamamlamış ürünlerin tedarik zincirinin herhangi bir aşamasından çevresel bilinç ve yasal yükümlülükler nedeniyle sistemde yeniden kullanılması ve zincirin dışına çıkan atık miktarını ve maliyetleri azaltmayı amaçlayan modeller önermektedir.

İkinci grup ise, çalışmaların geri kazanım seçeneği konusuna tamamıyla yoğunlaştığı ve tersine tedarik zinciri aşamaları boyunca maliyetlerin azaltılmasını ve kaynakların en uygun kullanımını öneren geri kazanım ağlarını da içeren tersine tedarik zinciri çalışmalarıdır.

Literatürde önerilen modeller incelendiğinde, her bir çalışma tedarik zinciri süreçlerinin açık bir şekilde tanımlandığı, hem ileri hem tersine tedarik zincirindeki malzeme ve bilgi akışını kolaylaştıracak kendine özgü bir model sunmaktadır. Önerilen bu modeller, küçük ölçekli firmalar için tasarlanan tersine tedarik zinciri ile büyük ölçekli firmalar için yapılan tersine tedarik zinciri tasarımları şeklinde olup, birbirinden açık bir şekilde farklı oldukları görülmektedir (Fleischmann vd., 2001).

Tersine tedarik zinciri, itinalı tasarım, planlama ve kontrol gerektirir. Literatürde genel faaliyetler tanımlanmış olsa da, tasarım bir senaryodan diğerine büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Bu durum, ürün hayat çevrimi içindeyken iade edilen ürünlerin, ömrü biten ürünlere dâhil edilmesiyle birlikte daha karmaşık bir hal almaktadır. Her iade tipi için iade edilen ürünün niteliklerine uygun olan bir tersine tedarik zincirine ihtiyaç duyulmaktadır (Guide vd., 2003a).

Del Castillo ve Cochran (1996) üretim ve dağıtım planlaması konusu üzerinde çalışmıştır. İnceledikleri problemde tekrar kullanılabilir konteynerler yardımıyla ürünlerin gönderilmesi, bu konteynerlerin geri dönüşleri yer almakta olup, önerdikleri modelde boş konteyner sayısını kontrol altında tutacak bir kısıt eklemişlerdir.

Krikke vd. (1999), fotokopi makinelerinin geri kazanılması ve tekrar pazara sunumu ile ilgili olarak bir tersine tedarik zinciri tasarımı önermişlerdir.

Daniel vd (1999), kullanılmış pillerin toplanması, geri dönüştürülmesi ve yeni ürünlerle birlikte yeniden dağıtılmasını içeren tersine tedarik zinciri için yaşam çevrimi analizini gerçekleştirmiştir (Krikke vd., 2001).

Sasse vd. (1999) kirli suyun geri dönüşümü için lojistik ağını optimize eden bir model sunmuştur. Bu model, çok ölçütlü bir amaç fonksiyonuna sahip olup, hem ekonomik fonksiyonları hem çevrebilim fonksiyonlarını içermektedir. Mümkün konumlar arasından optimal olanların seçiminin yapıldığı ve sistemdeki mal akışlarının optimize edildiği model,

sabit maliyetleri, işleme maliyetlerini, taşıma maliyetlerini doğrusal kısıtlar olarak içinde bulundurmaktadır (Krikke vd., 2001).

Fleischmann vd. (2000), geri kazanım ağlarında ağ tasarımı konularının incelenmesinde birçok örnek olay çalışması yapmışlardır. Bu çalışmalar, tüketici pazarındaki kullanılmış ürünlerin elde edilebilirliği ve geri kazanılmış ürünlere talep gibi bileşenler için tersine akıştaki belirsizliğin çok yüksek seviyede olduğunu göstermiştir.

Minner (2001) dış ve iç kaynaklı ürün iadelerinin bütünleştirildiği bir tedarik zincirinde güvenlik stoğu planlamasını amaçlayan bir çalışma sunmuşlardır.

Lojistik optimizasyonu ile yaşam çevrimi analizi kavramlarının ilk birleştirilme teşebbüsü, kâğıt endüstrisi için üretim ağı tasarlamak amacıyla, Bloemhof-Ruward vd. (1996) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada üretim ağı, kâğıt hamurlarının üretimi, kâğıt üretimi, kâğıt tüketimi, atık kâğıt toplanması, geri dönüştürülen kâğıt hamuru üretimi, kâğıt hamuru, kâğıt ve atık kâğıtların dağıtımını içeren bir ağ şeklinde tanımlanmıştır. Ürün çevrimi değerlendirilmesi, her ürün için çevresel performans göstergesinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Bu göstergeler, en az çevresel etkiye sahip optimal üretim ağ tasarımının bulunması için doğrusal programlama ağ akış modelinde girdi olarak kullanılmıştır (Krikke vd., 2001a).

Schleiffer vd. (2004) Avrupa otomotiv endüstrisi için en uygun tedarik zincirini tasarlamak üzere, atık yönetiminin ve geri dönüştürmenin düşünüldüğü bir tersine tedarik zinciri tasarımı modeli sunmuştur. Bu modelin çözümü için, genetik algoritma (gerçek hayat evrimi ve yapay genetik algoritma evrimi) ve bulanık kümeleme algoritmasını kullanmıştır.

Pourmohammadi vd.(2005) de-montaj, geri dönüşüm ve yeniden üretimi içeren bir tersine lojistik modeli sunmuştur. Literatürde önerilen çalışmalar, geleneksel tesis yerleşim problemlerine benzemekte ve tek bir periyot için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli şeklinde sunulmaktadır (Pourmohammadi vd., 2005).

Bautista ve Pereira (2006) Barselona’da toplama noktalarının yerleştirilmesi problemini modellemişlerdir. Yazarlar, önerdikleri modelin çözümün için, genetik algoritmalar ve Grasp sezgiselinden faydalanmışlardır.

Min vd. (2006), toptancılardan ve son kullanıcılardan gelen ürün iadelerinin toplanması, ayrıştırılması, büyük miktarlar oluşturmak üzere bir araya getirilmesi ve tamir tesislerine getirilmesi sırasında kullanılacak merkezî toplama merkezlerinin sayısının ve yerlerinin belirlenmesi için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişler ve çözümü için

genetik algoritma yöntemini önermişlerdir.

Tersine lojistik ağlarında birçok örnek olay çalışması, ağ tasarımı kararlarını desteklemek üzere deterministik karma tamsayılı doğrusal tesis yerleşimi modellerini önermektedir (Listeş, 2007). Listeş (2007) tedarik ve iade kanallarını içeren ağın tasarımı için stokastik bir model önermiştir.

Ko ve Ewans (2007), ileri ve tersine akışın eş zamanlı optimizasyonu amacına yönelik olarak, dinamik bütünleşmiş bir dağıtım ağı için karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişler ve çözüm metodu olarak problem doğasının karmaşık olması nedeniyle genetik algoritma sezgiseli kullanmışlardır.

Lu ve Bostel (2007) tersine tedarik zinciri kapsamında yeniden üretim seçeneğinin incelendiği ileri ve tersine akışın eşzamanlı yer aldığı iki seviyeli yerleşim problemini incelemişlerdir.

Salema vd. (2005), çok ürünli, kapasiteli, talep ve iadelerde belirsizliğin bulunduğu bir tersine tedarik zinciri ağının tasarımını incelemiş ve matematiksel olarak modellemiştir.

Lee ve Dong (2008), kira sözleşmesi bitmiş bilgisayarların geri kazanımı için ileri ve tersine akışı göz önünde bulunduran ağ tasarımı için deterministik bir programlama modeli önermiş ve çözümü için iki aşamalı sezgisel bir yöntem geliştirmiştir.

Miemczyk (2008) üreticilerin ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanımı konusundaki yeteneklerini artırmanın yollarını araştırmıştır. Geri kazanım ağlarının tasarlanması konusunda genellikle yeniden üretim seçeneği literatürde geniş yer almıştır. Hem yeniden üretim hem de tamir seçeneklerini değerlendiren bir araştırma ise Zhou ve Wang (2008) tarafından yapılmıştır.

Aras vd. (2008), tersine lojistik ağ tasarımı konusunda müşteri iadelerine finansal bir bedel ödenmesine bağlı olarak toplama merkezlerinin yerlerinin belirlenmesi için karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmiş ve çözümü için sezgisel bir algoritma olan tabu arama kullanmıştır.

İleri ve tersine tedarik zincirinin bütünleştirilmesine dayanan çalışmalar en karmaşık tedarik zinciri ağ tasarım modelleridir (Melo vd., 2009). De la Fuente vd., (2008), talep yönetimi, sipariş yönetimi, üretim yönetimi, tedarik yönetimi, dağıtım yönetimi ve müşteri yönetimi süreçlerini yeniden tanımlayarak, hali hazırda bulunan bir ileri tedarik zinciriyle uyumlu çalışabilecek bir tersine tedarik zinciri modeli tasarlamışlardır.

3.4 Geri Kazanım Ağları Tasarımı

Geri kazanım seçeneğinin tedarik zinciri sistem tasarımı kapsamında yer alması yeni bir yaklaşım değildir. Boş şişelerin, kâğıtların, metal parçaların vb. malzemelerin geri dönüştürülmesi yıllardan beri süregelen faaliyetlerdir. Fakat teknolojinin gelişmesi, sürekli değişmesi ve eskimesi nedeniyle iade edilen ürünlerin niteliği farklılık göstermiştir. Herhangi bir nedenle iade edilen ürünlerin, yeni ürün üretiminde kullanılabilirliği daha da artmıştır.

Literatürde ürün geri kazanımı kavramı kapsamında lojistik ağı tasarlama çalışmalarının sayısı oldukça fazladır (Fleischmann vd., 2000). Barros vd. (1998), Hollanda’da inşaat atıklarının işlenmesiyle kumun geri dönüştürülmesini içeren bir lojistik ağının tasarımını incelemiştir. Ülkelerde yapılan inşaatların çokluğu ve buralarda oluşan atık miktarının büyüklüğü düşünüldüğünde, etkin kum geri kazanım tesislerinin ve lojistik ağlarının kurulmasının önemi de daha iyi anlaşılmaktadır. Diğer bir açıdan, geri kazanılan tonlarca kumun hem maddi değeri hem de çevreye verilen zararın azalması ekonomik açıdan ülkeler için oldukça önemlidir. Barros vd. (1998), kumun geri dönüştürülmesi süreçlerini içeren, çok seviyeli kapasiteli tesis yeri problemini karma tamsayılı doğrusal programlama ile formüle etmiş, sezgisel yöntemler kullanarak çözüme ulaşmışlardır.

Realff vd. (2000, 2004) halıların geri dönüştürülmesi için model tasarlamak üzere, robust yaklaşımını sunmuştur. Yazarlar, inceledikleri kapasite kısıtlı modelde amaç fonksiyonunu kârın ençoklanması olarak belirlemiş, maliyet bileşenlerini ise depolama, taşıma, işleme, toplama ve sabit maliyetler olarak tanımlanmıştır. Realff vd. (2000) araştırmalarında tersine bir üretim sisteminin tasarımı için bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir.

Louwens vd. (1999), halıların toplanması, yeniden işlenmesi ve yeniden dağıtım süreçlerini içeren bir tesis yeri seçimi ve ataması modeli önermiştir. Bu modelin diğer tasarlanan modellerden farkı, amortismanlama maliyetlerinin hesaba katılması suretiyle, ön işleme yerlerinin serbest seçimini mümkün kılmasıdır. Özellikle Avrupa’daki yüksek bozunma hacimleri, çevresel düzenlemeler ve değerli malzeme kaynağı potansiyeli halı endüstrisinde geri kazanım ağlarının tasarımını ve geliştirilmesini teşvik etmiştir. Halıların geri kazanılması konusu literatürde geniş birçok kere yer almıştır (McNeil vd. (2007); Realff vd. (2000, 2004); Biehl vd. (2007)).

Spengler vd. (1997), Alman çelik endüstrisindeki yan ürünlerin geri dönüştürülmesi için bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Tasarlanan model, birçok farklı senaryonun optimizasyonu için kullanılmış ve parçalı doğrusal maliyet fonksiyonlarıyla çok

seviyeli depo yeri belirleme problemine dönüştürülmüştür.

Jayaraman vd. (1999) Amerika’da elektronik ürünlerin yeniden üretimini yapan bir firmanın lojistik ağını incelemiştir. Yazarlar, müşterilerden kullanılmış ürünlerin toplanması, toplanılan ürünlerin yeniden üretimi ve yeniden üretilen ürünlerin dağıtımını aktivitelerini yürüten bir firmanın, yeniden üretim tesislerinin sayısının ve toplanacak iade miktarını belirlemek üzere bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir.

Krikke vd. (1999), Hollanda’daki bir fotokopi makinesi üreticisi için çok seviyeli bir tersine lojistik ağının tasarımına yönelik karma tamsayılı doğrusal programlama modeli sunmuştur. Bu tersine zincir; ürünlerin belirli bir seviyeye kadar de-monte edildiği *sökme*, kritik parçaların incelendiği ve gerekliyse değiştirildiği *hazırlama* ve yeni bileşenlerin eklenmesi ile iade ürünün yeni bir ürün oluşturacak şekilde yeniden üretildiği *yeniden montaj* aşamaları olmak üzere, üç önemli geri kazanım aşamasını içermektedir.

Beamon ve Fernandes (2004) ürünlerin müşterilerden toplandığı, yeniden işlendiği ve yeniden müşterilere dağıtıldığı bir geri kazanım ağı tasarlamıştır. Jayaraman vd. (2003) tersine dağıtım ağlarının tasarımını, ürünün geri çağırılmasını ve yenileme seçeneklerini incelemiştir. Yazarlar, matematiksel modelin çözümü için sezgisel bir algoritma önermiştir.

Literatürdeki araştırmalar, geri kazanım seçeneklerinin ve geri kazanımın etkin bir şekilde uygulanabildiği sektörlerin çeşitliliğini ortaya koymaktadır. Doğal kaynakların kullanımının azaltılması, çevreye verilen zararın azaltılması, kârlılığın arttırılması, toplam tedarik zinciri maliyetlerinin azaltılması ve firmalara rekabet avantajı sağlaması nedenlerine bağlı olarak, tedarik zinciri içinde bulunan tüm taraflar (dağıtıcılar, üreticiler vs.) zincirin olabildiğince kapalı olduğu yeni bir tedarik zinciri tasarımı için istekli hale gelmiştir.

3.5 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Tasarımı

İleri tedarik zinciri ve tersine tedarik zinciri aktivitelerinin birbiriyle birleştirilmesiyle oluşan kapalı zincir tedarik zinciri tasarımı konusundaki çalışmalar sürekli artmaktadır.

Rogers ve Tibben-Lembke (1999) geleneksel ileri tedarik zincirinin tersine lojistiği de içine alacak şekilde genişlemesi gereğini ve dolayısıyla iade politikaları, çevresel kaygı, müşteri hizmetleri ve parçaların tekrar kullanılması hususlarını da içerecek bir tedarik zincirinin öneminden bahsetmişlerdir. Yazarlar, özellikle ürün iadelerinde tersine lojistik uygulamaları envanter taşıma maliyeti, envanter tutma maliyeti ve atıkların bozunması hususlarında tasarruf sağlamanın yanı sıra, müşteri sadakatini ve satışların artışını sağlayacağını vurgulamıştır.

Guide ve Wassenhove (2001), yeniden kullanım aktivitelerinin kârlılığını analiz etmek üzere, ürün iadelerinin yönetilmesinin işlemsel gereksinimleri nasıl etkilediği gösteren bir model geliştirmiştir. Yazarlar, elektronik tüketim pazarında, işlem hacminin yüksek ve ürün ömrünün kısa olması nedeniyle, yeniden kullanım aktivitelerinin büyüme potansiyelinin en yüksek olduğu pazar olduğunu belirtmiştir.

Fleischmann vd. (2001), tersine ve ileri akışı içeren ağ tasarımı optimizasyon modellerinde bütünleşmiş yaklaşımların sırasal yaklaşımlara göre kayda değer maliyet faydası sağladığını göstermek suretiyle, bütünleşmiş yaklaşımların daha iyi olduğunu ispatlamıştır. Birçok ülke çevreci düzenlemeler yaparak, ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca tüm sorumluluğu üreticilere yüklemiştir. Tersine lojistik faaliyetleri hem bu kanuni düzenlemeleri hem de firmanın yeşil imajını kazanmasını sağlar (Fleischmann vd., 2001). Yazarlar aynı zamanda ileri ve tersine akışı içeren çalışmaların azlığına dikkat çekmişlerdir.

Gupta ve Pochampally (2004), ekonomik ürünlerin seçilmesi, tedarik zincirinin tasarlanacağı alanda etkin tesislerin seçimi, tedarik zinciri boyunca ürünlerin optimal taşınması, toplama merkezlerinin tahmini, ikinci el pazarlarda kullanılmış ürünlerin satışı, pazarlama metodunun değerlendirilmesi ve tüketicilerin ve hükümetin karar verme sürecine dâhil edilmesi amaçlarına yönelik bir çerçeve tasarlanmıştır. Tasarlanan çerçeve, tüm bu süreçlerin gerçekleştirilmesi için sırasal bir yaklaşım önermiştir.

French ve Laforge (2006), kapalı çevrim tedarik zinciri kapsamında, iade ürün, malzeme ve bileşen kaynaklarının yeniden kullanım kararları ile ilgili olarak detaylı bir araştırma yaparak, ürün iadelerinin kaynaklarını ve birbirlerine göre önemlerini belirlemeye çalışmışlardır.

Schultmann vd. (2006) ömrü tükenmiş araçların geri dönüştürülmesiyle ilgili olarak kapalı çevrim tedarik zinciri tasarlamak suretiyle, tersine tedarik zinciri ağı için bir araç rotalama modeli sunmuştur.

Listeş (2007) kapalı çevrim tedarik zincirinde, tersine akışta belirsizlikleri içeren etkin ağ tasarımı çözümü sunabilen bir metodoloji önermiştir. Yazar, kapalı çevrim ağların tasarlanmasında talebin stokastik olması durumuna yönelik olarak iki aşamalı stokastik programlama modeli kurmuş ve çözümü için ayrıştırma metodu olarak bilinen tamsayılı L şekilli metodu temel alan bir ayrışma yaklaşımı sunmuştur.

Vlachos vd., (2007) kapalı çevrim tedarik zincirinde ileri ve tersine akışı içeren kapasite planlama şekillerini incelemiş ve tek bir ürün için dinamik kapasite planlama yapmak üzere bir sistem dinamiği modeli geliştirmiştir.

Ko ve Evans (2007) tersine ve ileri akışı eşzamanlı olarak çalışan bir sistem olarak görüp, her ikisinin de eşzamanlı optimizasyonunu hedefleyen bir karma doğrusal olmayan programlama modeli sunmuştur. İnceledikleri ağ tasarımı modelinin çözümünü gerçekleştirmek için, genetik algoritmalarından faydalanmıştır. Ko ve Ewans (2007) tersine lojistik aktivitelerinin uygulanmasındaki en önemli sıkıntıları iade edilen ürünlerin zamanlaması ve miktarındaki belirsizlik olduğunu ifade etmişlerdir. Yazarlar, çalışmalarında depolama ve taşıma işlemleriyle ilgilenmiş; temin süresi, doluluk oranı, geri sipariş, envanter seviyeleri ve iade süreçlerini iyileştirmek üzere, lojistik maliyetleri düşürmeyi hedeflemiştir.

3.6 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Tasarımı Performansı

Kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı performansı, tedarik zinciri performansı ile birebir ilişkili olmakla beraber, ilave performans ölçütlerini de kavramsal olarak beraberinde getirmektedir. Bu ilave kavramlar; sürdürülebilirlik, ürün yaşam çevrimi, belirsizlik, geri kazanım ve geri dönüşüm kavramlarıdır.

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, yakın bir zamanda oldukça önem kazanan ve araştırmacıların yoğun ilgisini çeken bir inceleme alanı oluşturmaktadır. Seuring vd. (2008), sürdürülebilir tedarik zincirini, sürdürülebilir gelişmenin üç boyutu olan çevre, ekonomi ve sosyal açılardan incelemiş, tedarik zincirindeki firmalar arasındaki işbirliğinin, malzeme ve bilgi akışının önemini belirtmiştir. Sürdürülebilir tedarik zincirlerinde, müşteri gereksinimlerini ve ilgili ekonomik ölçütleri karşılamak suretiyle kazanılan rekabet gücü korunarak, çevresel ve sosyal tüm ölçütler tedarik zinciri içinde yer alan tedarik zinciri üyeleri tarafından yerine getirilmelidir (Seuring vd. 2008). Seuring ve Müller (2008), sürdürülebilir tedarik zinciri ile ilgili olan ve 1994-2007 tarihleri arasında yayınlanan 191 yayını inceleyerek geniş bir literatür araştırması sunmuştur. Sürdürülebilirlik ve tedarik zinciri kavramlarını içeren bu yayınlar iki ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar; risk ve performansla ilgilenen tedarikçi yönetimi ve sürdürülebilir ürünlerle ilgilenen tedarik zinciri yönetimidir. Literatür araştırmasının sonuçlarına göre, sürdürülebilir kalkınma boyutlarından çevre boyutunun en çok işlenen boyut olduğu ortaya konmuştur.

Aitken vd. (2003) tedarik zinciri yönetimi ile ürün yaşam çevrimi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve ürünleri doğru sınıflandırmanın uygun tedarik zinciri stratejisinin belirlenmesini başarının anahtarı olarak ifade etmiştir. Vonderembse vd. (2006), her bir ürün tipi için ürün yaşam çevrimi boyunca hangi tedarik zinciri stratejilerinin benimsenmesinin uygun olacağını Black and Dekker, IBM ve DaimlerChrysler örnek olayları ile açıklamışlardır.

Kainuma ve Tawara (2006), Amerika Birleşik Devletleri'nde Çevre Koruma Örgütü tarafından 2000 yılında yayınlanan Yeşil ve Yalın Tedarik Zinciri adlı uygulama kılavuzundan yararlanmak suretiyle, sadece yönetsel bakış açısının değil, çevresel bakış açısının da dikkate alındığı bir performans değerlendirme sistemi geliştirmiştir. Yazarlar, ürün yaşam çevrimi değerlendirilmesi ve hizmetler dâhilinde, geri dönüştürme ve yeniden kullanım seçeneklerini içerecek şekilde genişleyen genişletilmiş tedarik zincirinin performansını değerlendirmek üzere çok ölçütlü fayda teorisinden faydalanmışlardır.

4. ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde, önerilen modelin yapısına bağlı olarak kullanılan yöntemler ile literatürde yayınlanan çalışmalar incelenmiştir.

4.1 Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama

Doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin geniş bir kısmı, sürekli değişkenlere ek olarak tamsayılı veya kesikli değişkenler içermektedir. Matematiksel modellerde, tamsayılı değişkenler alternatif adayların, olay sıralarının veya birimlerin var olup olmadığını göstermek üzere kullanılırken, kesikli değişkenler farklı donanım boyutlarını göstermek üzere kullanılabilirler. Sürekli değişkenler ise, girdi-çıkı ve farklı birimlerin birbiriyle olan etkileşimini göstermek üzere kullanılabilirler (Floudas, 1995).

Karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama (KTDOP), doğrusal olmayan programlama (DOP) ve karma tamsayılı programlama (KTP) problemlerinin doğasının birleşmesiyle oluşan problemlere çözüm bulmak üzere geliştirilmiştir.

KTDOP problemlerindeki değişken yapılarının farklı olması ve doğrusal olmayan kısıt denklemlerinin bulunması; teori, algoritma ve işlemsel süreç açılarından problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. KTDOP yaklaşımlarının en çok uygulandığı alanlar; tasarım, çizelgeleme ve yığın işlemlerin planlanmasıdır (Floudas, 1995). Floudas (1995) genel KTDOP gösterimini aşağıda verildiği gibi ifade etmiştir.

$$\begin{aligned}
 & \min \quad f(x, y) \\
 & \text{skg.} \quad h(x, y) = 0 \\
 & \quad \quad g(x, y) \leq 0 \\
 & \quad \quad x \in X \subseteq R^n \\
 & \quad \quad y \in Y \text{ ve tamsayı}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Burada x , n adet sürekli değişkenin vektörünü ve y tamsayılı değişkenlerin vektörünü göstermek üzere; $h(x, y) = 0$ m adet eşitlik kısıtını, $g(x, y) \leq 0$ p adet eşitsizlik kısıtını ve $f(x, y)$ ise amaç fonksiyonunu ifade etmektedir.

(4.1.1) formülasyonunda verilen modelin q adet (0-1) değişken içeren hali (4.1.2) formülasyonunda verilmektedir (Floudas, 1995).

$$\begin{aligned}
& \min && f(x, y) \\
& \text{skg.} && h(x, y) = 0 \\
& && g(x, y) \leq 0 \\
& && x \in X \subseteq R^n \\
& && y \in Y = \{0,1\}^q
\end{aligned} \tag{4.2}$$

Karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelleri, karma tamsayılı doğrusal olmayan problemlerin doğası gereği çözümü oldukça zor olan modellerdir. Bu tür problemlerin çözümü için literatürde çeşitli algoritmalar önerilmiş ve tutarlılıkları incelenmiştir (Floudas,1995). Önerilen başlıca karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama algoritmaları aşağıda özetlenmiştir.

1. Benders Ayırıştırması Algoritması (Benders Decomposition Algorithm)
2. Dal Sınır Algoritması (Branch and Bound Algorithm)
3. Dışsal Yakınsama Algoritması (Outer Approximation Algorithm)
4. Fizibilite Yaklaşımı (Feasibility Approach)
5. Çapraz Ayırıştırma Algoritması (Cross Decomposition Algorithm).

Genelleştirilmiş Benders Ayırıştırması (Benders, 1962), stokastik programlama problemleri ve karma tamsayılı doğrusal programlama problemleri gibi çözümü zor olan problemlerin çözümünde kullanılan bir tekniktir. Bu algoritma, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama problemlerini (MILP) yinelemeli bir süreç kapsamında, doğrusal olmayan programlama (DOP) alt problemleri ve bir MILP ana problemine ayırştırmak suretiyle çözüm sunar. DOP alt problemleri sürekli değişkenlerin optimizasyonu ile KTDOP çözümüne bir üst sınır oluşturur. MILP ana problemi ise, her yinelemede KTDOP probleminin çözümü için alt sınır değerini tahmin eder. Algoritma, tahmin edilen alt sınır mevcut üst sınıra eşit veya büyük olduğunda son bulur (Grossmann, 1990).

Dışsal Yakınsama Algoritması (Duran ve Grossmann, 1986), KTDOP problemlerini çözmek üzere tasarlanmıştır. Ayırıştırma, dışsal yakınsama ve gevşeme prensiplerinin temel alındığı yaklaşım, tamsayı değişkenlerinin doğrusallığını ve doğrusal olmayan fonksiyonların da dışbükey olması durumunu içermekte ve sonlu sayıda doğrusal olmayan programlama alt problemini çözmektedir.

Dal sınır algoritması genel bir arama yöntemidir. Dal sınır algoritması (Beale, 1977), sürekli bir doğrusal olmayan programlama problemi oluşturmak üzere, 0-1 değişkenlerin bütünlük gereksinimlerini rahatlatarak uygulanmaya başlanır. Her bir düğüm için, tamsayı

değişkenlerinin sabitlendiği alt kümelere ağaç oluşturacak şekilde numaralandırılır. Her düğüme karşılık gelen DOP çözümü, optimal KTDOP amaç fonksiyonu değerinin alt sınırını oluşturur. Alt sınır değerine bağlı olarak düğüm çözümü ilk numaralamadan itibaren devam ettirilir. Bu metodun en önemli kusuru, tamsayı değişkenlerinin sayısına bağlı olarak çözülmesi gereken doğrusal olmayan alt problemlerin sayısının fazla olmasıdır.

Genelleştirilmiş benders ayrıştırması ve dışsal yakınsama algoritması arasındaki en önemli fark, MILP ana probleminin tanımlanması aşamasında oluşur. Genelleştirilmiş benders ayrıştırmasında, MILP ana problemi sürekli uzayın dual gösterimi ile verilirken, dışsal yakınsama algoritmasında primal yakınsama ile ifade edilir (Grossmann, 1990).

KTDOP problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler, Lieckens ve Vandaele (2007) tarafından iki ana kategoride sınıflandırılmıştır. Bunlar, deterministik algoritmalar ve stokastik algoritmalar.

1. Deterministik Algoritmalar: Bu algoritmalar, önceden tanımlanmış bir yolla algoritmanın çalıştırıldığı, yani bir sonraki adımdaki hesaplamanın kesin bir şekilde tanımlandığı algoritmalar. Bunlar;
 - a. Dal ve Azalt (Branch and Reduce) Algoritması,
 - b. α Kesme Dal ve Sınır Algoritması,
 - c. Bartson'un Dal ve Kes (Branch and Cut) Algoritması,
 - d. Aralık Analizi Tabanlı Yöntemler
 - e. Genişletilmiş Kesme Düzlemi Algoritmaları'dır.
2. Stokastik Algoritmalar: Stokastik optimizasyon yöntemleri, rastsal bir şekilde çalıştırılıp, bir sonraki adımdaki hesaplamanın tanımlanmamış olduğu uyumlandırılmış rastsal arama yöntemleridir. Bunlar;
 - a. Diferansiyel Evrim Algoritması,
 - b. Uyumlandırılmış Lagrange Çarpanı Yöntemleri,
 - c. Benzetimli ve İç İç Tavlama Yöntemi,
 - d. Karınca Kolonisi Benzetimi,
 - e. Tabu Arama Algoritmaları'dır.

4.2 Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme

Geleneksel mantık, önermelerin tamamen doğru veya tamamen yanlış olduğunu kabul eder. Bu nedenle, iki değerli mantık olarak da kabul edilir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde varlık küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda bir (1), kümenin elemanı olmadığı zaman sıfır (0) değerini alır. Diğer taraftan, geleneksel kümelerle dayanarak oluşturulan önermelerin, ikiden fazla doğruluk değeri ile eşleştirilebildiği mantık sistemlerine çok değerli mantık denir. Çok değerli mantıkta, önermelerin tamamen doğru, tamamen yanlış ve kısmen doğru (kısmen yanlış) olduğu kabul edilir (Özkan, 2003).

Bulanık Mantık, belirsizlik altında akıl yürütme ile çok değerli mantığın birleştirildiği mantıksal bir sistemdir. Bulanık mantık klasik küme gösteriminin genişletilmesidir. Bulanık varlık kümesinde her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Varlıkların üyelik derecesi, $[0,1]$ aralığında herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu x 'in bir fonksiyonu ile gösterilir.

Zadeh (1965) sistemlerin karmaşıklıkları ve bu sistemlerin ifade edilmelerindeki anlamlılık ve kesinlik arasındaki ilişkiyi şu şekilde açıklamıştır: “Bir sistemin karmaşıklığı arttıkça onun davranışıyla ilgili kesin ve anlamlı ifadeler yapma yeteneğimiz bir eşiğe ulaşıncaya kadar düşer. Bu eşikten sonra, kesinlik ve anlamlılık neredeyse birbirinden bağımsız özellik taşırlar”. Diğer bir deyişle, sistem hakkında daha çok bilgi öğrendiğimizde, sistemin karmaşıklığı azalır ve sistemi daha iyi anlamış oluruz. Karmaşıklığın az olması durumunda, sistemin modellenmesinde var olan matematiksel yöntemlerin kullanımı daha yararlı olmaktadır. Karmaşıklığın artmasıyla birlikte, bulanık mantık yürütme ve gözlenen girdi ve çıktı durumlarının arasına yaklaşık ifadesini koymamızı sağlayarak sistem davranışını anlamamızı sağlar (Çetinsaya, 2004).

Geleneksel bir karar verme problemi altı bileşenden oluşur. Bu bileşenler sırasıyla karar verici, amaç, karar ölçütü, seçenekler, olaylar ve sonuç olarak ifade edilir. Burada, amaç bileşeni enbüyükleme veya enküçükleme işlemi olarak yorumlanır. Fayda, kâr, gelir veya maliyet fonksiyonları ise karar ölçütlerini oluşturur. Evrensel küme, seçenekler kümesi olarak kabul edilebilir. Evrensel kümenin hangi elemanlarının karar probleminin çözümü olarak kabul edilip edilemeyeceğini ifade eden kısıtlayıcı koşulları ise olaylar belirler. Bu bakış açısıyla, mevcut durumu dikkate alarak, karar vericinin belirlediği amaç doğrultusunda ilerleme çabası, karar problemlerinin özünü oluşturur.

Bulanık bir ortamda karar verme ise, aynı bileşenlerle ele alınabilir. Bulanık ortamda karar vermede, karar verici ve seçenekler kümesinde herhangi bir bulanıklık yoktur. Bulanıklık, amaç ve karar ölçütü bileşenlerinde olabilir. Karar verici amaç fonksiyonu için ulaşmak

istediği erişim düzeyini bulanık olarak belirleyebilir. Ayrıca karar ölçütünü gösteren fonksiyonun parametre değerleri de bulanık olarak ifade edilebilir.

Bulanık karar verme, bulanık kısıtlar, bulanık amaç ve bulanık karar kavramlarını fikir olarak ilk kez Bellman ve Zadeh (1970) tarafından ortaya konulmuştur. Bulanık karar verme, olasılıklı olmayan belirsizliğin bulunduğu karar çevrelerinde karar vermeyi sağlayacak yol ve yöntemler sunmaktadır. Karar verme problemlerinde, insani değerlendirme ve insan bilgisinin modellenmesine ihtiyaç olması durumunda bulanık küme yaklaşımının kullanımı uygun olmaktadır (Kahraman, 2007).

Bellman ve Zadeh (1970) tarafından önerilen bulanık karar verme metodunu takip eden önemli çalışma 1976 yılında Zimmermann (1976) tarafından ortaya konmuştur. Zimmermann (1976) bulanık küme teorisinin klasik doğrusal programlama problemlerine uygulanabilirliğini, bulanık amaç ve bulanık kısıtlara sahip bir doğrusal programlama modeline eş bir doğrusal programlama modelinin bulunduğunu ispatlamıştır. 1978 yılında, klasik çok amaçlı doğrusal programlama probleminin çözümünü gerçekleştirebilecek bulanık doğrusal programlama yaklaşımı Zimmermann (1978) tarafından ortaya konmuştur (Wang ve Liang, 2004).

Bulanık küme teorisi, karar vericilerin subjektif yargılarına dayanan hedefler için, “yaklaşık olarak...’e eşit” ve “...’den oldukça küçük” gibi bir dilin doğal yapısına göre ifade edilebilen erişim düzeylerinin tanımlanmasına izin verir. Hedeflere ilişkin bu tür tanımlamalar, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ile ele alınır. Bu sayede, bulanık hedef programlama modelinin bir optimizasyon düşüncesinden daha çok bir doyum düşüncesine dayanma özelliği ön plana çıkarılmış olur (Özkan, 2003). Bulanık hedef programlama, bulanık çok amaçlı karar verme yöntemlerinden sadece biridir. Bunun dışında; fiziksel lineer programlama, etkileşimli çok amaçlı karar verme (STEP Metodu-STEM), iki seviyeli doğrusal programlama ve etkileşimli iki seviyeli doğrusal programlama gibi pek çok yöntem vardır. Bu yöntemlerin tamamı her ne kadar aynı mantıktan yola çıkarak oluşturulsalar da, uygulamada farklılıklar gösterip farklı sonuçlar elde edilmesi de mümkündür (Ehrgott ve Gandibleux, 2002).

Geleneksel küme teorisi ile bulanık küme teorisi arasındaki en temel fark üyelik fonksiyonlarıdır. Geleneksel bir küme sadece bir üyelik fonksiyonu ile nitelenebilirken, bulanık bir küme teorik olarak sonsuz sayıda üyelik fonksiyonuyla nitelenebilir. Bulanık kümelerle ilişkin üyelik fonksiyonları kesikli ve sürekli, parametrik ve parametrik olmayan, simetrik ve simetrik olmayan şekilde sınıflandırılabilir. Bulanık hedefler literatürde üçgensel, ikizkenar, parçalı doğrusal, içbükey biçimli parçalı doğrusal, yarı içbükey biçimli parçalı

doğrusal, S biçimli parçalı doğrusal ve dışbükey biçimli parçalı doğrusal şeklinde farklı özellikteki üyelik fonksiyonları ile nitelenmiştir. Söz konusu üyelik fonksiyonları genellikle karar verici ile görüşülerek oluşturulur. Bulanık bir hedefin üyelik fonksiyonu, kavramların uygulamadaki anlamına dayanarak sezgisel olarak da oluşturulabilir. Ayrıca, üyelik fonksiyonları bulanık küme teorisinin esasını oluşturduğu için, üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra bulanık küme teorisinde bulanık olan herhangi bir şey kalmadığı söylenir (Özkan, 2003).

Li, Zhang ve Li (2006), klasik çok amaçlı programlama modelini, $A = (a_{ij})_{m \times n}$, $b \in R^m$ ve $c_i \in R^n$ ($0 < i < N$) olmak üzere;

$$\max Z = [c_1x, c_2x, \dots, c_Nx]^T = [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_N(x)]^T \quad (4.3)$$

$$s.k.g. \quad x \in X, \quad X = \{x \in R^n: Ax \leq b, x \geq 0\}$$

şeklinde tanımlamışlardır. Bu problem yapısında, tüm amaç fonksiyonlarının verilen kısıtlar altında aynı zamanda optimal seviyelerine kesin olarak ulaşmaları ifade edilmektedir. Buna karşın, karar vericiler gerçek uygulamalarda her bir amaç değerinin tatmin olma derecesine göre karar vermeyi tercih ederler. Zimmermann tarafından önerilen çok amaçlı programlama modellerinin çözümü için bulanık mantığın kullanılması, çok amaçlı programlama probleminde tatmin düzeylerinin ölçülmesinin etkin bir yoludur (Li vd., 2006).

$$Z^* = [Z_1^*, \dots, Z_N^*] = [\max(Z_1(x)), \dots, \max(Z_N(x))] \quad (4.4)$$

vektörü, bileşenleri verilen kısıtlar altında her bir amaç fonksiyonunun en yüksek değerinden oluşan ideal çözüm vektörü olsun. Benzer şekilde, negatif ideal çözüm ise,

$$Z^- = [Z_1^-, \dots, Z_N^-] = [\max(Z_1(x)), \dots, \max(Z_N(x))] \quad (4.5)$$

olsun. Amaç vektörünün başlangıç çözümü karar verici tarafından verilen O vektörü ise,

$$O = [O_1, \dots, O_N] \quad (4.6)$$

olsun. Başlangıç çözümün seçiminde doğru bir karar vermek için, bir karar verici negatif ideal çözümü bir referans noktası olarak kullanır ve negatif ideal çözümünden daha küçük olmayan bir başlangıç çözüm belirler. Ardından her bir amaç fonksiyonunun tatmin derecesi için aşağıdaki gibi bir üyelik fonksiyonu tanımlanır.

$$u_k(x) = \begin{cases} 1, & Z_k(x) > Z_k^*, \\ 1 - \frac{Z_k^* - Z_k(x)}{Z_k^* - O_k}, & O_k \leq Z_k(x) \leq Z_k^*, \quad k = 1, \dots, N. \\ 0, & Z_k(x) < O_k, \end{cases} \quad (4.7)$$

Ardından, (4.3) denkleminde verilen çok amaçlı programlama modelini çözmek için, Zimmermann (1978) tarafından önerilen max-min operatörü yaklaşımı kullanılabilir.

$$\begin{aligned} \max \quad & \lambda \\ \text{skg.} \quad & \lambda \leq u_k(x) \quad k = 1, \dots, N. \\ & \lambda \in [0,1] \quad x \in X \end{aligned} \quad (4.8)$$

Max-min operatörü yaklaşımının iyi özelliklere sahip olduğu literatürde pek çok açıdan ispatlanmıştır. Bununla birlikte, bu yaklaşımla üretilen sonuçların etkinliği garanti edilmemiştir. Bu durumun üstesinden gelmek için, Li, Zhang ve Li (2006) uzlaşıklık yaklaşımını ve iki aşamalı yaklaşımı sunmuştur.

Bulanık hedef programlama için geliştirilen çözüm yaklaşımlarının birçoğunda bulanık hedefler işlemsel kolaylık sağlaması nedeniyle Zimmermann tipi üyelik fonksiyonlarıyla nitelenmiştir. Bulanık hedefler için Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları kullanılır.

$$(Ax)_i \cong b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m_1) \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0, & (Ax)_i \leq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \left[\frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \right], & b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 - \left[\frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \right], & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 0, & (Ax)_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.9)$$

$$(Ax)_i \lesseqgtr b_i \quad (i = m_1 + 1, \dots, m_2) \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0, & (Ax)_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1 - \left[\frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \right], & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1, & (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.10)$$

$$(Ax)_i \gtrless b_i \quad (i = m_2 + 1, \dots, m_3) \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0, & (Ax)_i \geq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \left[\frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \right], & b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1, & (Ax)_i \geq b_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.11)$$

Burada i'ninci bulanık hedef için karar vericinin belirlediği erişim değerleri b_i ile, bu erişim değerinden oluşacak sapma için kabul edilebilir tolerans miktarı ise d_i ile gösterilmiştir.

4.3 Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama

Klasik matematiksel programlamada, çok amaçlı problemler kısıtlı kaynak ve gereklilik kısıtlarına tabi olarak, çok sayıda, birbiriyle çelişen ve aynı standartlarla ölçülemeyen amaç fonksiyonlarıyla ilgilenirler. Çok amaçlı doğrusal programlama (ÇADP) problemi, doğrusal kısıtların belirli bir kümesine bağlı olarak, ençoklanacak doğrusal fonksiyonlarla ifade edilebilir.

Bulanık çok amaçlı programlamada (BÇAP) ise, çok sayıda çelişen amacın doyum derecesi ençoklanmaya çalışılır. Bulanık çok amaçlı karar verme modeli, hedeflerin öncelik yapısına göre farklı şekillerde ele alınabilir. Bunlar; hedeflerin farklı tercih önceliklerinde yer alabildiği tercih öncelikli bulanık çok amaçlı karar verme modeli ve tüm amaçların bir önem ağırlığı dâhilinde dikkate alındığı ağırlıklandırılmış çok amaçlı karar verme modeli olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modellerinin çözümü için, literatürde en çok kabul görmüş yaklaşım Hannan (1981) tarafından ortaya konmuştur. Hannan (1981), bulanık hedeflerin simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla nitelenmesi halinde, $\lambda^* = \max \lambda^*$ $j = 1, 2, \dots, 2^{m-1}$ şeklindeki bir teoremla bulanık hedef programlama modelini tek bir doğrusal programlama modeli olarak formüle etmeyi başarmıştır. Hannan (1981), bu çalışmasıyla hedef programlama problemlerinde bulanık kümelerin kullanımını açıklamıştır. Parçalı doğrusal ve sürekli fonksiyonlarla ifade edilebilen karar vericinin bulanık veya belirsiz amaçlarının gösterilebileceğinin yöntemini anlatmaktadır (Hannan, 1981). Hannan (1981)'in çalışmalarını takiben literatürde, bulanık çok amaçlı karar verme konusunda yapılan yayınların sayısı da artmıştır.

Tiwari vd. (1986) bulanık hedef programlamada önceliklendirme yapısını ortaya koyacak bir yaklaşım sunmuştur. Bu çalışmada, bulanık önceliklendirme konusu incelenmiş ve yöntemin hesaplama algoritması açısından da verimli sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

Yang vd. (1991), bulanık eşitliklerin üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla nitelenmesi halinde, bulanık bir hedef programlama problemi bulanık bir doğrusal programlama problemi olarak çözülebilir düşüncesinden yola çıkarak, Zimmermann'ın bulanık doğrusal programlama modeli için sunduğu yöntemin Hannan (1981) yaklaşımıyla özdeş sonuçlar verdiğini ispatlamıştır. Li ve Yu (1999), Yang vd. (1991)'in yaklaşımının bulanıklığın sadece belirli bir tipteki s şekilli üyelik fonksiyonlarıyla ifade edildiği durumda geçerli olduğunu göstermişler ve bu metodun çözemediği bulanık ifadelerin de çözülebildiği yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Lin ve Chen (2002), Li ve Yu (1999)'un eleştirileri sonucunda tasarladıkları

modelin optimal sonucu vermesine rağmen, birden çok üyelik fonksiyonu içeren bir bulanık doğrusal programlama probleminin uygulanabilir olmadığını sayısal bir örnekle göstermiştir. Lin ve Chen (2002), Yang vd. (1991)'in modelini genelleştirilmiş ve ilgili eksikliğin giderildiği geliştirilmiş bir yöntem sunmuştur.

Chen (1994), önceliklendirme yapısı ve simetrik üyelik fonksiyonlarla ifade edilen bulanık amaçların yer aldığı bir bulanık hedef programlama modelinin çözümü için yeni bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma, hesaplama yeteneği ve kolaylığı açısından Tiwari vd.(1986)'nin yaklaşımına göre üstün niteliklere sahiptir.

Wang ve Fu (1997), önceliklendirme yapısına sahip bulanık hedef programlama problemlerinin çözümü için ceza maliyeti kullanan yeni alternatif bir yöntem geliştirmiştir. Wang ve Fu (1997), bulanık hedef programlamanın özelliklerini araştırarak, bulanık hedef programlama modelini tek bir yineleme ile çözülebilecek basit bir modele dönüştürmüşlerdir. Bunun yanı sıra, tasarlanan yöntem, farklı üyelik fonksiyonlarıyla, “civarında”, “yaklaşık en az” ve “yaklaşık en çok” gibi dilsel terimlerin karma kullanımına imkân vermektedir. Belirsizlik ortamında, karar vericinin öncelik verebileceği davranışlar model içerisinde üyelik fonksiyonlarının genişletilmesi ve daraltılmasıyla ifade edilmektedir.

Kim ve Whang (1998), bulanık ortamda hedef programlamaya tolerans kavramlarının uygulanmasını araştırmıştır. Bu çalışmada, bulanık eşitsizlikleri de içeren tercih öncelikli hedef programlama problemlerinin, Hannan (1981) yaklaşımıyla çözülebileceği Kim ve Whang (1998) tarafından kanıtlanmıştır. Bu yaklaşım, temel olarak karar vericinin bulanık hedeflerine ilişkin toleransları tanımlamasına dayanarak, bulanık hedef programlama probleminin tek bir doğrusal programlama modeliyle ifade edilebileceğini göstermektedir. Yaghoobi ve Tamiz (2007), Kim ve Whang (1998)'in bu yaklaşımındaki hataları keşfetmişler ve bu hataların giderilmesi için önerilerini açıklamışlardır.

Wang ve Liang (2004), bulanık bir karar ortamında çok ürünlü toplu üretim planlama probleminin çözümü için Hannan (1981) tarafından önerilen ve parçalı doğrusal fonksiyonlar kullanan bir bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir.

En önemli hedefin en yüksek üyelik derecesine ulaşmasını sağlayan ve tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemini tek bir problemin çözümüne indirgeyen bir çözüm yaklaşımı Chen ve Tsai (2001) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışma, diğer çalışmalardan farklı olarak, karar verici her bir hedefin istenen seviyeye ulaşmasını sağlama imkânı vermektedir. Bu yaklaşım, hedeflerin göreceli önemlerinin değişmesine imkân vermesiyle

birlikte, karar vericinin beklentileriyle tutarlı olacak şekilde hedeflere erişim seviyelerinin bir kümesini üretmektedir. Dolayısıyla; yaklaşım önceliklendirme yapısı ile hedeflere erişim seviyelerinin en yüksek derecede olduğu çözümler üretmektedir.

Islam ve Roy (2006) amaç katsayılarının bulanık olarak ifade edildiği bulanık çok amaçlı programlama modellerinin çözümünü gerçekleştirmek üzere, taşıma maliyeti fonksiyonlarının yanı sıra, ek bir entropi amaç fonksiyonu tanımlamak suretiyle, yeni bir bulanık matematiksel programlama yöntemi önermiştir. Bu bulanık matematiksel programlama yönteminin kullanımıyla, yamuk şeklindeki bulanık sayılarla ifade edilen maliyet katsayılarını içeren çok amaçlı ulaşım problemi primal geometrik programlama problemine dönüştürülebilmektedir.

Luo vd. (2006) bulanık küme teorisi ve sıralı çok seviyeli programlama metodunu çok amaçlı topoloji optimizasyonu problemlerinin çözümü için kullanan çok seviyeli bulanık tolerans programlama metodolojisi sunmuştur.

Hu vd. (2007) doğrusal olmayan içbükey programlama probleminin global çözümünü bulmak için ardışıl kuadratik programlama yönteminin dışında, GENOCOPIII olarak ifade edilen genetik algoritma aracını kullanmış ve bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümünde etkin bir çözüm yöntemi olduğunu savunmuştur.

Javadi vd. (2008), beklemelere izin verilmeyen çok amaçlı iş akışı sıralama probleminin çözümü için Sakawa (1988) tarafından önerilen bulanık ortamda etkileşimli çok amaçlı karar verme metodunu kullanmak suretiyle bir bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir.

Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama problemlerinin çözümü için, Hu vd. (2009) tolerans miktarlarının etkileşimli doyurulmasını hedefleyen, amaçları tatmin etmeyen yeni tolerans değerlerinin üretilmesini, bu tolerans değerlerinin yeni bir kısıt olarak eklenmesi veya yeni üyelik fonksiyonu oluşturulmasında kullanılması yoluyla modelin çözümünü gerçekleştiren bir algoritma önermiştir.

4.4 Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama

Çok amaçlı doğrusal olmayan programlama (ÇADOP) veya vektör enazlanması problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Islam ve Roy, 2005):

$$\begin{aligned} \text{Min } f(x) &= [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]^T \\ \text{skg. } x \in X &= \{x \in R^n : g_j(x) \leq \text{veya} = \text{veya} \geq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m; x \geq 0\} \\ & \quad l_i \leq x_i \leq u_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \end{aligned} \quad (4.12)$$

Zimmermann (1978) bulanık programlama metodunun bulanık çok amaçlı programlama probleminin çözümünde kullanılabileceğini göstermiştir. (4.12) denkleminde verilen ÇADOP probleminin çözümü için, aşağıdaki işlem adımları kullanılır:

Adım 1: ÇADOP problemini, her defasında, diğer amaçları göz ardı ederek, sanki tek bir amaca sahip olan doğrusal olmayan programlama problemi gibi çözün. Bu çözümler, ideal çözümler olarak kabul edilir.

Adım 2: Adım 1'in sonuçlarından yola çıkarak, elde edilen her bir çözüm değeri için her bir amacın karşılık gelen değerlerini belirleyin. Her bir ideal çözüm için hesaplanan tüm amaç değerlerini içeren ödeşme matrisi oluşturulur.

$$\begin{matrix} & f_1(x) & f_2(x) & \dots & f_k(x) \\ x^1 & f_1^*(x^1) & f_2^*(x^1) & \dots & f_k^*(x^1) \\ x^2 & f_1(x^2) & f_2^*(x^2) & \dots & f_k(x^2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x^k & f_1(x^k) & f_2(x^k) & \dots & f_k^*(x^k) \end{matrix} \quad (4.13)$$

Burada, $x^1, x^2, \dots, x^k$ sırasıyla $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$ amaçlarının ideal çözümleridir. Dolayısıyla, her bir r değeri için hesaplanmak suretiyle r . amaç fonksiyonu $f_r(x)$ 'in üst sınırı U_r ve L_r her bir r değeri için hesaplanmak suretiyle r . amaç fonksiyonu $f_r(x)$ 'in alt sınırı olmak üzere,

$$U_r = \max\{f_r(x^1), f_r(x^2), \dots, f_r(x^k)\} \quad (4.14)$$

$$L_r = f_r^*(x^r) \quad (4.15)$$

şeklinde hesaplanırlar.

Adım 3: Çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelindeki her bir amaç için verilen erişim düzeylerini kullanarak, (4.16) denklemi

$$f_r(x) \leq L_r \quad (r = 1, 2, \dots, k), x \in X. \quad (4.16)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada (4.16) denkleminin amaç fonksiyonları bulanık kısıtlar olarak düşünülür. Bu tipteki bulanık kısıtlar karşılık gelen üyelik fonksiyonlarının meydana çıkarılmasıyla sayısallaştırılabilirler.

$L_r^1 = L_r + \epsilon_r$ ve $0 \leq \epsilon_r \leq U_r - L_r$ olmak üzere,

$$\mu_r^{w_r}(f_r(x)) = \begin{cases} 0, & f_r(x) \geq U_r \text{ ise} \\ w_r \mu_r^1(x), & L_r^1 \leq f_r(x) \leq U_r \text{ ise} \\ 1, & f_r(x) \leq L_r^1 \text{ ise} \end{cases} \quad (r = 1, 2, \dots, k) \quad (4.17)$$

Elde edilen üyelik fonksiyonlarıyla, $\mu_r^{w_r}(f_r(x))$ genel bir toplama fonksiyonu

$$\mu_D^w(x) = F\left(\mu_1^{w_1}(f_1(x)), \mu_2^{w_2}(f_2(x)), \dots, \mu_k^{w_k}(f_k(x))\right) \quad (4.18)$$

tanımlanır.

Bu durumda, bulanık çok amaçlı karar verme problemi ise şöyle tanımlanabilir:

$$\text{Max } \mu_D^w(x) \quad (\forall x \in X \text{ için}) \quad (4.19)$$

Tiwari vd. (1987)'nin modeline benzer bir şekilde dışbükey operatörüne dayanan bulanık kararlar, problem (4.20) denkleminde belirtilen modele indirgenir (Islam ve Roy, 2005).

$$\text{Max } \mu_D^w(x; w) = \sum_{r=1}^k w_r \mu_r^{w_r}(f_r(x)) \quad (4.20)$$

$$\begin{aligned} \text{skg. } & x \in X \\ & 0 \leq \mu_r^{w_r}(f_r(x)) \leq w_r \quad (r = 1, 2, \dots, k) \\ & w_r \geq 0 \quad (r = 1, 2, \dots, k) \text{ ve } \sum_{r=1}^k w_r = 1 \end{aligned}$$

Adım 4: Yukarıdaki modeli Pareto Optimal Çözümü elde etmek üzere çözün.

Bu noktada, optimallik, pareto optimalliği ve yerel optimallik terimlerini açıklamak uygun olacaktır. x 'in bir ÇADOP probleminin tamamıyla optimal çözümü denebilmesi için, $x \in X$ ve her bir r değeri ve her bir $x \in X$ için $f_r(x^*) \leq f_r(x)$ mevcuttur. Bununla birlikte, çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelindeki amaç fonksiyonları birbiriyle çelişiyorsa, tamamıyla optimal bir çözüm her zaman bulunmayabilir. Bu durumda, pareto optimalliği konusu irdelenmelidir. Pareto optimal çözüm, x^* 'in bir ÇADOP probleminin pareto optimal çözümü denebilmesi için, en az bir j ($j = 1, 2, \dots, k$) değeri için $f_j(x^*) \neq f_j(x)$ sağlanıyorsa

ve her bir r değeri için $f_j(x^*) \leq f_j(x)$ sağlayan bir $x \in X$ bulunmaması durumunda mevcuttur. Son olarak, $x \in X$ 'in bir ÇADOP modelinin yerel optimal çözümü olabilmesi için, $N(x^*, \delta)$ x^* 'in δ komşuluğunu temsil etmek üzere, $x^* x \in R^n : \|x - x^*\| < \delta, \delta \in R^+$ alanında tanımlanmak üzere, $X \cap N(x^*, \delta)$ içinde pareto optimal olması gerekir (Islam ve Roy, 2005).

Literatürde bulanık mantık ve doğrusal olmayan programlama yöntemlerin bütünleştirilmesiyle oluşan yaklaşımlara nadiren rastlanmaktadır. Bulanık mantık, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama ve birden çok amacın bir arada bulunduğu çalışmaların sayısı ise oldukça azdır. Literatürde bu tekniklerin irdelenmesi veya uygulanmasını içeren yayınlar bu bölümde incelenmekte olup, Çizelge 4.1'de incelenen modelin özelliklerine, incelenen problemin tanımına ve modelin çözümünde kullanılan yöntemlere göre özetlenmektedir.

Çizelge 4.1'de gösterildiği üzere, incelenen tedarik zinciri problemleri genel olarak çok seviyeli bir yapı sergilemekte ve büyük bir bölümü de birden çok ürün akışını içermektedir. Buna karşın, birden çok dönemin incelendiği çalışmaların sayısı daha az olmakla birlikte, her üç çoklu durumun (çok ürün, çok dönem, çok seviye) birlikte incelendiği çalışmalar, tüm çalışmaların %10'u civarındadır.

Bununla birlikte, tedarik zinciri problemlerinin çözümünde kullanılan tekniklerin çeşitliği de çizelgede ön plana çıkmaktadır. Genetik algoritmalar ve tabu arama gibi sezgisel yöntemler, optimizasyon algoritmaları ve bulanık mantığın kullanımıyla pek çok tedarik zinciri problemi farklı açılardan ele alınmıştır.

Benzer şekilde, Çizelge 4.1'de incelenen tedarik zinciri problemleri için oluşturulan modellerin yapısı incelenmektedir. Bu matematiksel modellerin yapısı incelendiğinde, bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelleri konusunda yapılan çalışmalara son yıllarda ilginin arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.1 Tedarik zinciri problemleri ve çözüm yöntemleri

Yazarlar	Modelin Yapısı					Tedarik Zinciri Problem Alanı	Yöntem(ler)	Tedarik Zinciri Problemi Özellikleri		
	Bulanık	Çok Amaçlı	Karma Tamsayılı	Doğrusal olmayan P	Doğrusal P.			Çok Ürünlü	Çok seviyeli	Çok dönemli
Roy ve Maiti (1998)	✓	✓		✓		Çok amaçlı envanter optimizasyonu modeli	Bulanık doğrusal olmayan prog. ve bulanık toplamsal hedef programlama	✓	✓	
Jayaraman vd.(1999)			✓		✓	Küçük elektronik ürünler için kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (CPLEX)	✓	✓	
Krikke vd. (2001)		✓	✓		✓	Buzdolabı üreticileri için kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı	Hedef Programlama	✓	✓	
Beamon ve Fernandes (2004)			✓		✓	Elektronik ürünler için geri kazanım ağı tasarımı	Şimdiki Değer Analizi ve Dal Sınır Algoritması		✓	✓
Neiro ve Pinto (2004)			✓	✓		Petrol tedarik zincirinin operasyonel planlanması	Ayrıştırma Algoritması (CONOPT2 / OSL)		✓	✓
Chen ve Lee (2004)	✓		✓	✓		Bulanık ortamda tedarik zinciri tasarımı	Bulanık Optimizasyon	✓	✓	✓
Anglani vd. (2005)	✓	✓	✓	✓		Paralel Mak. ile Çizelgeleme	Bulanık Prog. Hedef Programlama			

Çizelge 4.1 Tedarik zinciri problemleri ve çözüm yöntemleri (devamı)

Yazarlar	Modelin Yapısı					Tedarik Zinciri Problem Alanı	Yöntem(ler)	Tedarik Zinciri Problemi Özellikleri		
	Bulanık	Çok Amaçlı	Karma Tamsayı	Doğrusal Olmayan P.	Doğrusal P.			Çok Ürünlü	Çok seviyeli	Çok dönemli
Lieckens ve Vandaele (2006)			✓	✓		Stokastik temin süreleriyle tersine lojistik ağ tasarımı	Diferansiyel Evrim Algoritması			
Wang ve Shu (2006)	✓		✓		✓	Yeni ürün tedarik zinciri tasarımı	Genetik Algoritma Olabilirlik Teorisi Bulanık Kümeler		✓	
Min, Ko ve Ko (2006)			✓	✓		Tersine lojistik ağ tasarımı	Genetik Algoritmalar	✓	✓	
Wang ve Sarker (2006)			✓	✓		Çok seviyeli tedarik zinciri sistemi tasarımı	Greedy Sezgiseli (Aç Gözlü Sezgisel)		✓	✓
Lee ve Dong (2008)			✓		✓	Kiralanmış bilgisayarlar için geri kazanım ağ tasarımı	Tabu Arama		✓	
Lu ve Bostel (2007)			✓		✓	Yeniden üretim ağ tasarımı	Lagrange Sezgiseli		✓	
Barton ve Selot (2007)		✓	✓	✓		Doğal Gaz Tedarik Zinciri Tasarımı	Dallan ve Kes Algoritması (BARON)		✓	

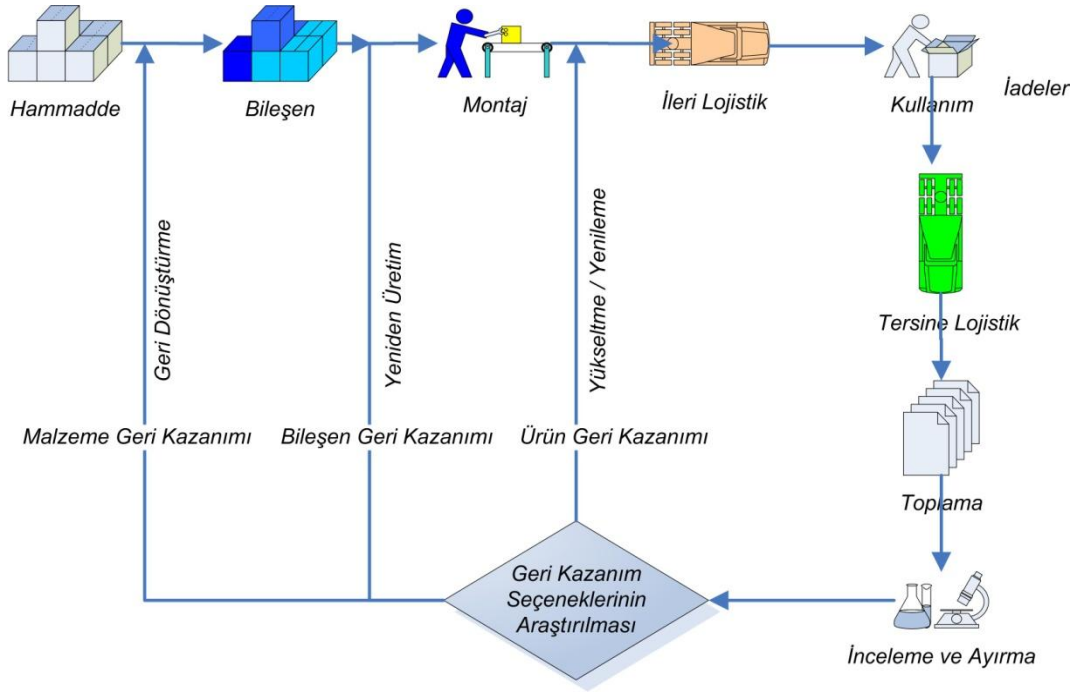
Çizelge 4.1 Tedarik zinciri problemleri ve çözüm yöntemleri (devamı)

Yazarlar	Modelin Yapısı					Tedarik Zinciri Problem Alanı	Yöntem(ler)	Tedarik Zinciri Problemi Özellikleri		
	Bulanık	Çok Amaçlı	Karma Tamsayılı	Doğrusal Olmayan P.	Doğrusal P.			Çok Ürünlü	Çok seviyeli	Çok dönemli
Salema vd.(2007)	✓		✓		✓	Bulanık ortamda çok ürünlü tersine lojistik ağı tasarımı	Dal Sınır Algoritması	✓	✓	
Roghanian vd.(2007)	✓	✓		✓		Çok seviyeli tedarik zinciri planlama	Olasılıklı Çok Amaçlı Çok Seviyeli Optimizasyon	✓	✓	
Rabbani vd.(2008)			✓	✓		Kanban sayısının belirlenmesi	Memetik Algoritmalar	✓	✓	
You ve Grossmann (2008)	✓	✓	✓	✓		Polistren Tedarik Zinciri tasarımı	Hiyerarşik bulanık karar verme metodu (ϵ -kısıtı)	✓	✓	✓
Xu vd.(2008)	✓	✓	✓	✓		Çin likör endüstrisi için tedarik zinciri ağ tasarımı	Genetik Algoritma		✓	
Srivastava (2008)			✓		✓	Kişisel bilgisayarlar için tersine lojistik ağ tasarımı	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (CPLEX)	✓	✓	

5. GELİŞTİRİLEN KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ MODELİ

5.1 Modelin Kavramsal Tasarımı ve Organizasyonu

Literatürde yayınlanan çalışmalar incelendiğinde, her bir kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı birbirinden farklı özellikler göstermekte olup, birbirine benzer temel bileşenler ve süreçler de içermektedir. Bu temel süreçler ve akışı içeren genel kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı modeli Şekil 5.1’de gösterilmektedir.

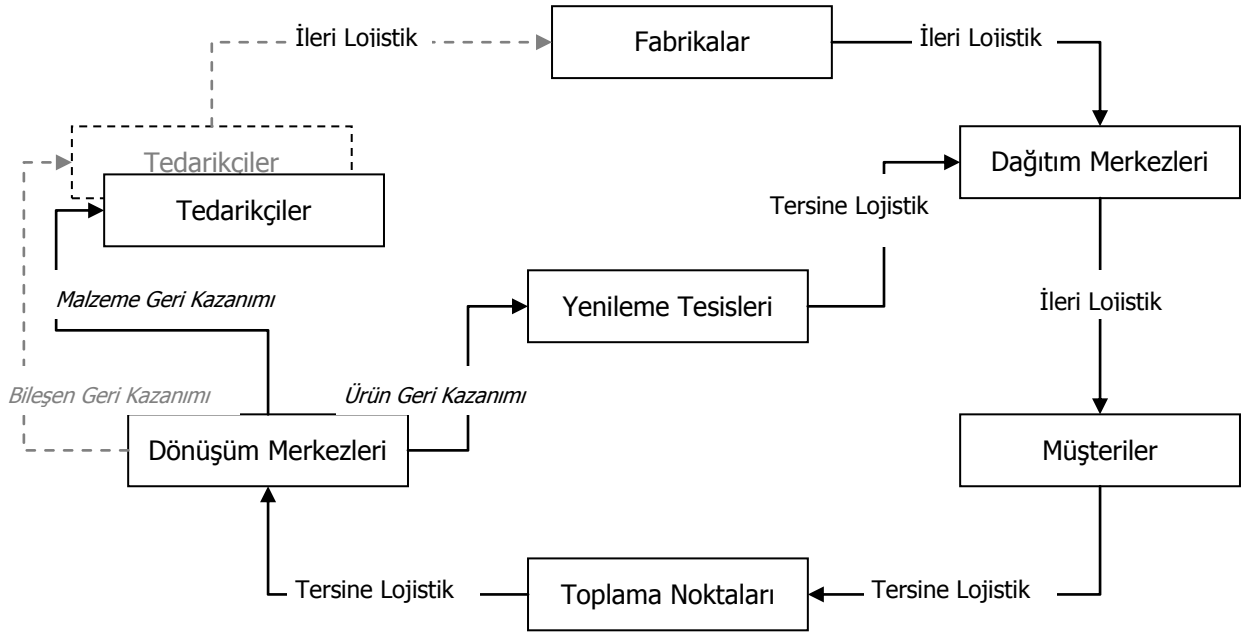


Şekil 5.1 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Genel Modeli

Genel kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı kapsamında, ürünlerin tüm hayat çevrimi boyunca tedarik zinciri içerisinde geçirdiği evreler ifade edilmektedir. Bu evreler;

- Temin edilen hammaddelerin bileşenler haline dönüştürülmesi aşaması,
- Bileşenlerin birbirine monte edilmesiyle ürünler haline dönüştürülmesi aşaması,
- Ürünlerin müşterilere ulaştırılması aşaması,
- Kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin müşterilerden toplanması aşaması,
- Toplanan iadelerin incelenmesi ve sınıflandırılması aşaması,
- Ürün geri kazanım seçeneklerinin araştırılması aşaması ve
- İlgili geri kazanım kararına bağlı olarak yeniden üretim sürecinin belirli bir noktasına dâhil edilmesi aşamalarını içerir.

Bu kapalı çevrim tedarik zinciri akışını gerçekleştirmesine katkıda bulunan birimler ve aralarındaki ilişkiler Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Birimleri ve İlişkileri

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri kapsamında, tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri, müşteriler, toplama noktaları, dönüşüm merkezleri ve yenileme tesisleri yer almaktadır. Tasarlanan tedarik zinciri kapsamında, her bir tesisin üstlendiği görev ürün hayat çevriminin doğası gereği farklı süreçler içermektedir.

Genel tedarik zinciri tasarımlarında, *tedarikçiler* fabrikalara malzeme veya bileşen temin etmekle sorumlu olan tedarik zinciri birimleridir. Bu çalışmada yer alan kapalı çevrim tedarik zinciri modelinde ise, tedarikçiler öncelikli olarak dönüşüm merkezlerinden ve dönüşüm merkezlerinin yetersiz kaldığı durumlarda dışarıda başka bir tedarikçiden malzeme tedarik ederek, fabrikalara satılmak üzere bileşen üretmekle sorumlu olan tedarik zinciri tesisleridir.

Geleneksel tedarik zincirlerinde *fabrikalar*, tedarikçilerinden malzeme ve/veya bileşen tedarik ederek, bu hammaddelerin etkin kullanımıyla nihai ürünü üretmekle sorumlu olan tedarik zinciri birimleridir. Bu çalışmada yer alan kapalı çevrim tedarik zinciri modelinde ise, fabrikalar dönüşüm merkezlerinden ve dönüşüm merkezlerinin envanter açısından yetersiz kaldığı durumlarda dışarıda başka bir tedarikçiden bileşenleri tedarik etmek suretiyle, bileşenlerin montajını gerçekleştirir ve nihai ürünü üretir. Fabrikalar, müşterilere iletmesi için ürettikleri nihai ürünleri dağıtım merkezlerine göndermekle sorumlu olan tedarik zinciri tesisleridir.

Dağıtım merkezleri, fabrikalardan gelen ürünlerin depolanması ve müşterilere dağıtılmasından sorumlu olan tedarik zinciri birimleridir. Müşterilere, tam zamanında doğru ürünleri doğru miktarlarda ve en az maliyetle ulaştırmak dağıtım merkezlerinin görevidir. Müşteriler taleplerini dağıtım merkezlerine iletirken, müşterilerden gelen bu talepler dağıtım merkezleri tarafından fabrikalara iletilmektedir. Bu çalışmada, ürünler dağıtım merkezlerine fabrikalardan ve yenileme tesislerinden gelmektedir. Fabrikalardan gelen ürünler yeni ürün olarak ve yenileme tesislerinden gelen ürünler geri kazanılmış ürün olarak müşterilere sunulmaktadır. Dolayısıyla, müşteriler yeni ürünler için ayrı, geri kazanılmış ürünler için ayrı talep oluşturmaktadır.

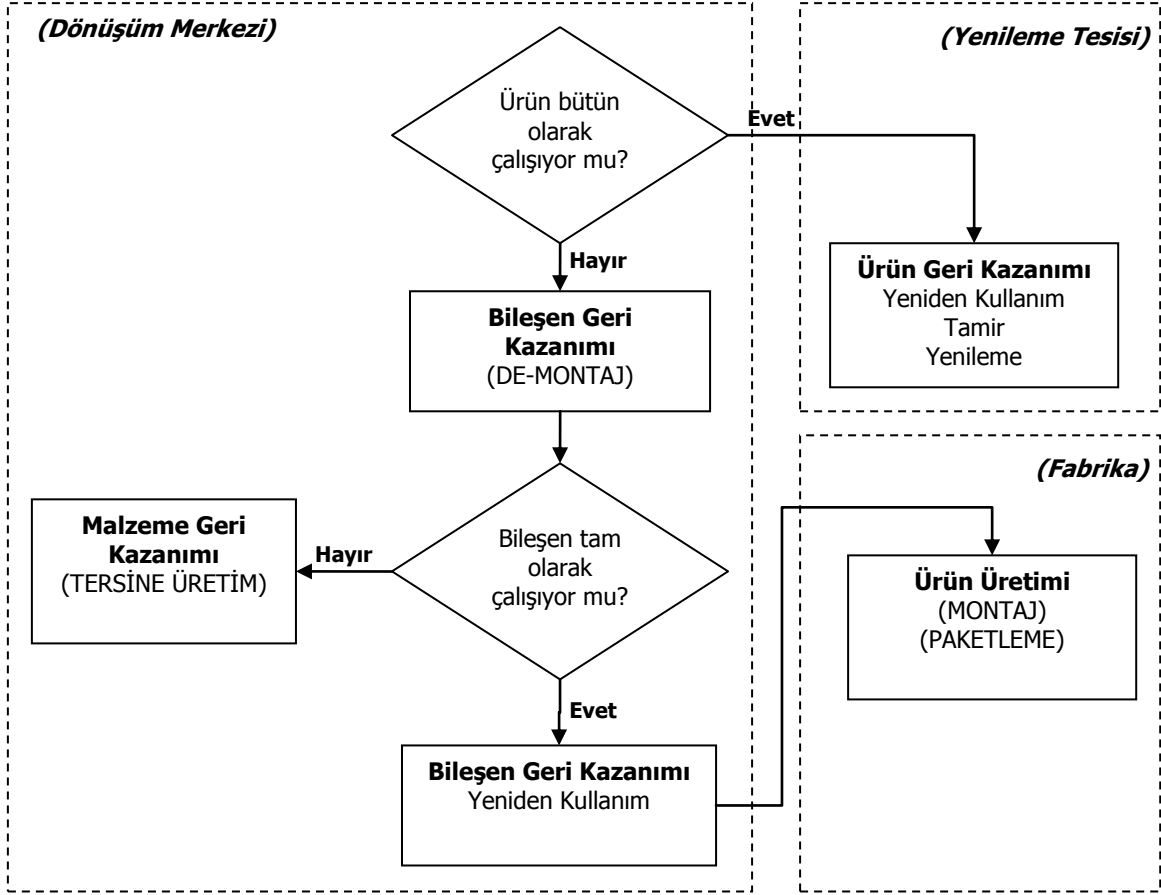
Müşteriler, tedarik zincirinin oluşturulmasının yegâne sebebidir. Tedarik zinciri tasarımlarının başarılı olabilmesi, tamamıyla bu zincirin hizmet verdiği müşterilerin memnuniyeti ile birebir ilişkilidir. Müşterilerin beklentilerinin tatmini ve tedarik zincirinin performansı (esneklik, maliyet vb.) konularında, gerçek hayat uygulamaları ve bilimsel araştırmalar oldukça fazladır. Bu çalışmada;

- Müşterilerin satın aldıkları ürünün fiyatından kaynaklanan memnuniyetleri,
- Müşterilerin iade ettikleri ürüne ödenen fiyattan kaynaklanan memnuniyetleri ve
- Müşterilerin taleplerinin karşılanma düzeyinden tatmin olmaları

olmak üzere toplam üç adet müşteri tatmini bileşeni göz önünde bulundurulmuştur.

Toplama noktaları, müşterilerden gelen iade ürünlerin toplanmasından sorumlu tedarik zinciri birimleridir. Belirli bir zaman boyunca ürünleri biriktirip, bu zaman periyodunun sonunda iadelerin tamamının dönüşüm merkezlerine teslim edilmesinden sorumludur.

Dönüşüm merkezleri, toplama noktalarından gelen iade ürünlerin incelenmesi, ayıklanması ve sınıflandırılması işlemlerinin gerçekleştirildiği tedarik zinciri birimleridir. Dönüşüm merkezleri, gelen bir iade ürünün tedarik zincirine yeniden nasıl geri kazandırılacağına karar vermekle görevlidir. Bu çalışmadaki ürünün geri dönüştürülmesi süreci Şekil 5.3'te özetlenmektedir.



Şekil 5.3 Ürün geri kazanımı süreci

Yenileme Tesisleri, geri kazanım seçeneklerinden en kârlısı olan yenileme seçeneğine uygun olarak, gelen ürün üzerinde değişiklikler yaparak ürünün geri kazanılmış ürün haline getirilmesinden sorumludur. Yenilenen ürünler, müşterilere ulaştırılmak üzere dağıtım merkezlerine gönderilir. Bu ürünler, dağıtım merkezi tarafından müşterilere geri kazanılmış ürün olarak satılmaktadır.

5.2 Müşteri Memnuniyeti Fonksiyonları

Müşteri memnuniyeti, müşterinin beklentileri ile elde ettikleri arasındaki örtüşmenin oluşmasıyla var olur. Bu örtüşmenin büyüklüğü ile müşteri beklentilerinin karşılanmış olması durumu birebir ilişkilidir. Müşteriler, hem satın aldıkları ürünün hem de aldıkları hizmetin kaliteli olmasını bekler. Ürünün kalitesi, o üründen istenen özelliklere uygun olmasıdır. Müşteriler, bir ürünün kalitesini, o ürünün performansı, özellikleriyle, güvenilirliğiyle, standartlara uygunluğuyla, dayanıklılığıyla, hizmet görme yeteneğiyle, estetiğiyle ve fonksiyonelliğiyle değerlendirirler. Müşteriler, bir ürünün sunumuyla ilgili hizmet kalitesini ise, elde etme kolaylığı, elde etme fiyatı, aldıkları hizmetin hızı ve estetiği ile değerlendirirler.

Tasarlanan sistem kapsamında, müşteri memnuniyeti iki açıdan ele alınmıştır. Bunlar; müşterilerin ürün taleplerinin karşılanması sayesinde tatmin olmaları durumunda elde edilen müşteri memnuniyeti ve müşterilerin fiyat beklentilerinin karşılanması sayesinde tatmin olmaları durumunda elde edilen müşteri memnuniyetidir. Kısaca, bu iki müşteri memnuniyeti bileşeni alt bölümlerde özetlenmektedir.

5.2.1 Müşterinin Ürün Taleplerinin Tatmini

Müşteriler, her dönem belli bir tip ürünü belli bir miktarda talep etmektedir. Bu taleplerin tamamen karşılanması her dönem mümkün olmayabilmektedir. Bu nedenle, talep tatmininden kaynaklanan müşteri beklentilerini mümkün olan en yüksek seviyede karşılamak için bulanık fonksiyonlardan faydalanılmaktadır.

$D_E(i, c, t)$ t zaman biriminde c müşterisinin i geri kazanılmış ürününden talep ettiği geri kazanılmış ürün miktarı olsun. $xdce(i, d, c, t)$ ise t zaman biriminde d dağıtım merkezinden c müşterisine gönderilen i geri kazanılmış ürün miktarını göstermek üzere,

$$\sum_d xdce(i, d, c, t) \lesseqgtr D_E(i, c, t) \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$D_Y(i, c, t)$ t zaman biriminde c müşterisinin i yeni ürününden talep ettiği ürün miktarı olsun. $xdcy(i, d, c, t)$ ise t zaman biriminde d dağıtım merkezinden c müşterisine gönderilen i yeni ürün miktarını göstermek üzere,

$$\sum_d xdcy(i, d, c, t) \lesseqgtr D_Y(i, c, t) \quad (5.2)$$

şeklinde ifade edilebilir.

İncelenen tedarik zinciri sistemi kapsamında, müşteriler taleplerinin belli bir yüzdesinin gönderilmesi durumunda da memnun olabilmektedirler. Yani, bir müşterinin talebinin %80'den fazlasının karşılanması durumunda da belli bir oranda tatmin olduğu kabul edilmiştir. Fakat bu oranın %80'in altına düşmesi durumunda müşteri karşılanan talep miktarıyla tatmin olmadığı sayılmaktadır. Bu kabul, yeni ürünler ve geri kazanılmış ürünler için gerçekleşen taleplerin karşılanması hususunda geçerlidir.

Müşterinin geri kazanılmış ürün talebinin tatmin edilmesiyle kazanılan müşteri memnuniyetinin matematiksel anlamda ifadesi için, Zimmermann tipi üyelik fonksiyonlarından yararlanılmıştır.

$$\mu_{e-talep}(i, c, t) = \begin{cases} 0 & ; \sum_d xdce(i, d, c, t) \leq 0.80 \times D_E(i, c, t) \\ 1 - \frac{\sum_d xdce(i, d, c, t) - D_E(i, c, t)}{0.20 \times D_E(i, c, t)} & ; 0.80 \times D_E(i, c, t) \leq \sum_d xdce(i, d, c, t) \leq D_E(i, c, t) \\ 1 & ; \sum_d xdce(i, d, c, t) \geq D_E(i, c, t) \end{cases} \quad (5.3)$$

Geri kazanılan ürün taleplerini karşılanması ile ilgili üyelik fonksiyonu (5.3) denkleminde verilmektedir. Bu denkleme göre, talebin belli bir orandan (%80) az karşılanması durumunda müşteri memnuniyetinin sağlanamadığı, bu belli oran (%80) ve üzerinde karşılanması durumunda karşılanan miktara bağlı olmak üzere belli bir oranda müşteri memnuniyetinin sağlandığını ve bu talebe eşit veya üzerinde miktarda gönderilmesi durumunda ise müşterinin memnun olduğunu söylemek mümkündür. Fakat bu denkleme göre müşterilere gönderilen ürün miktarının talep miktarından fazla olabileceği görülmektedir. Zira, enbüyüklemeyi amaçlayan bir amaç fonksiyonuna sahip olmamız da, modelin fazla ürün göndermesini teşvik etmektedir. Bu durumu önlemek üzere, gönderilen ürün miktarının en fazla talebe eşit olacağını ifade eden bir kısıtı (5.4) modele eklemek gereklidir.

$$\sum_d xdce(i, d, c, t) \leq D_E(i, c, t) \quad (5.4)$$

Benzer şekilde, müşterinin yeni ürün talebinin tatmin edilmesiyle kazanılan müşteri memnuniyetinin matematiksel anlamda ifadesi edilmesi için, Zimmermann tipi üyelik fonksiyonlarından yararlanılmıştır.

$$\mu_{y-talep}(i, c, t) = \begin{cases} 0 & ; \sum_d xdcy(i, d, c, t) \leq 0.80 \times D_Y(i, c, t) \\ 1 - \frac{\sum_d xdcy(i, d, c, t) - D_Y(i, c, t)}{0.20 \times D_Y(i, c, t)} & ; 0.80 \times D_Y(i, c, t) \leq \sum_d xdcy(i, d, c, t) \leq D_Y(i, c, t) \\ 1 & ; \sum_d xdcy(i, d, c, t) \geq D_Y(i, c, t) \end{cases} \quad (5.5)$$

Yeni ürün taleplerinin karşılanması ile ilgili üyelik fonksiyonu (5.5) denkleminde verilmektedir. Bu denkleme göre, talebin belli bir orandan (%80) az karşılanması durumunda müşteri memnuniyetinin sağlanamadığı, bu belli oran (%80) ve üzerinde karşılanması durumunda karşılanan miktara bağlı olmak üzere belli bir oranda müşteri memnuniyetinin sağlandığını ve bu talebe eşit veya üzerinde miktarda gönderilmesi durumunda ise müşterinin memnun olduğunu söylemek mümkündür. Fakat bu denkleme göre müşterilere gönderilen yeni ürün miktarının yeni ürün talep miktarından fazla olabileceği görülmektedir. Zira enbüyüklemeyi amaçlayan bir amaç fonksiyonuna sahip olmamız da, modelin fazla ürün göndermesini teşvik etmektedir. Bu durumu önlemek üzere, gönderilen ürün miktarının en fazla talebe eşit olacağını ifade eden bir kısıtı (5.6) modele eklemek gereklidir.

$$\sum_d xdcy(i, d, c, t) \leq D_Y(i, c, t) \quad (5.6)$$

5.2.2 Müşterinin Fiyat Beklentilerinin Tatmini

Tasarlanan tedarik zinciri kapsamında müşteri memnuniyetinin ele alındığı diğer bir bileşen ise, müşterilerin satın aldıkları veya sattıkları ürünün fiyatından kaynaklanan memnuniyetleridir. Sistem kapsamında, müşteri bir yandan satın alan (yeni ürün veya geri kazanılmış ürünlerin satın alınması faaliyetini gerçekleştiren), diğer yandan da satan (kullanılmış ürünlerin belli bir bedel karşılığında dönüşüm merkezlerine satılması faaliyetini gerçekleştiren) bir sistem ögesidir.

Bu durumda müşterilerin fiyattan kaynaklanan beklentilerinin karşılanması için tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri modeli gereği üç farklı üyelik fonksiyonu tanımlanabilir. Bunlar;

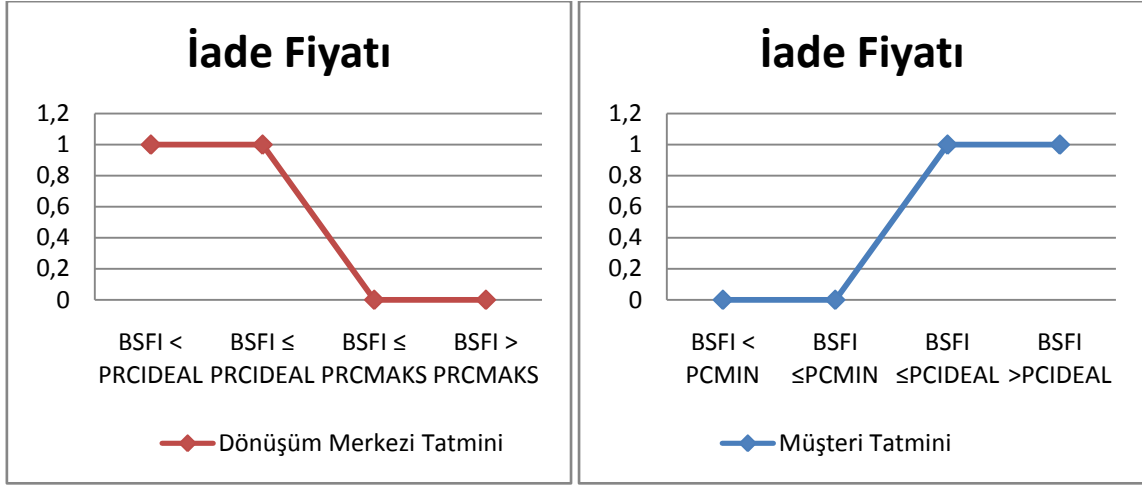
- belirlenen iade ürün fiyatının sağladığı memnuniyet,
- belirlenen geri kazanılmış ürün fiyatının sağladığı memnuniyet ve
- belirlenen yeni ürün satış fiyatından kaynaklanan memnuniyet

olarak özetlenebilir. Bu üç durum ve ilgili üyelik fonksiyonları aşağıda açıklanmaktadır.

- *Belirlenen iade ürün fiyatının sağladığı memnuniyet:*

Her iade edilen i ürünü tipi için, müşterinin sattığı fiyattan dönüşüm merkezinin ise iade ürünü aldığı fiyattan tatmini sağlanırsa, sistemin devamlılığının sağlanması teşvik edilmiş olur. Dolayısıyla, sadece taraflardan birinin değil, hem müşterilerin hem de dönüşüm merkezinin tatmin olmasını sağlayacak bir üyelik fonksiyonu μ_{crc} yazılması uygundur.

Öncelikle, durumu müşteri açısından ele alalım. Müşteri elindeki kullanılmış ürünü mümkün olan en yüksek değerden dönüşüm merkezine satmak isteyecektir. $BSFI(i)$ iade ürün için satış fiyatı, $PCMIN(i)$ müşterinin tahmini satabileceği minimum fiyat ve $PCIDEAL(i)$ müşterinin tahmini ideal satış fiyatı olmak üzere, müşterinin satıcı olduğu durumda fiyattan tatminini gösteren üyelik fonksiyonu Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



Şekil 5.4 İade fiyatlandırması ile ilgili üyelik fonksiyonları.

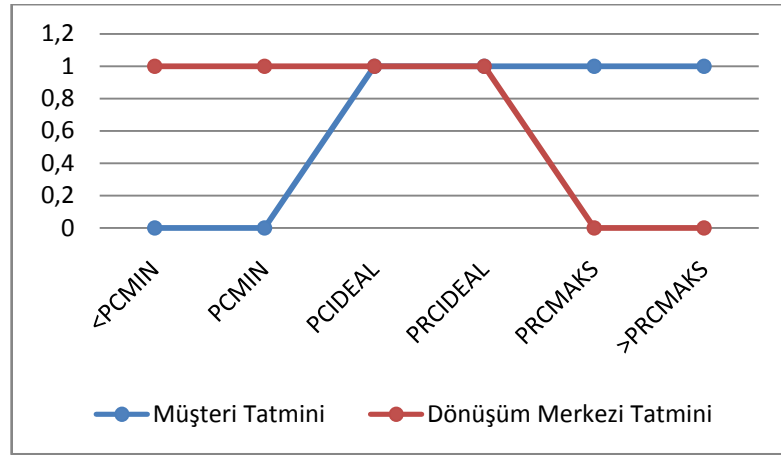
Benzer bir durum dönüşüm merkezi için de geçerlidir. Dönüşüm merkezi müşterideki kullanılmış ürünü mümkün olan en düşük fiyattan almak isteyecektir. $BSFI(i)$ iade ürün için satış fiyatı, $PCIDEAL(i)$ dönüşüm merkezinin satın alabileceği ideal fiyat ve $PRCMAKS(i)$ dönüşüm merkezinin satın alabileceği tahmini en yüksek alış fiyatı olmak üzere, müşterinin satıcı ve dönüşüm merkezinin alıcı olduğu durumda, dönüşüm merkezinin fiyattan tatminini gösteren üyelik fonksiyonu Şekil 5.4’de verilen grafikte gösterilmektedir.

$PCIDEAL(i)$ ve $PCIDEAL(i)$ arasında iki ilişkiden söz edilebilir. Bunlar;

Durum 1 - $PCIDEAL(i) \leq PCIDEAL(i)$ olması: Müşterinin iade ettiği ürün için tahmin ettiği ideal satış fiyatının alıcı tarafın belirlediği tahmin edilen ideal satış fiyatından düşük olması durumudur. Bu durumda, fiyat açısından ikisinin de tatmin edilmesi kolaydır. Bu koşulun kabul edilmesi ile oluşturulan üyelik fonksiyonu (5.7) denkleminde verilmektedir.

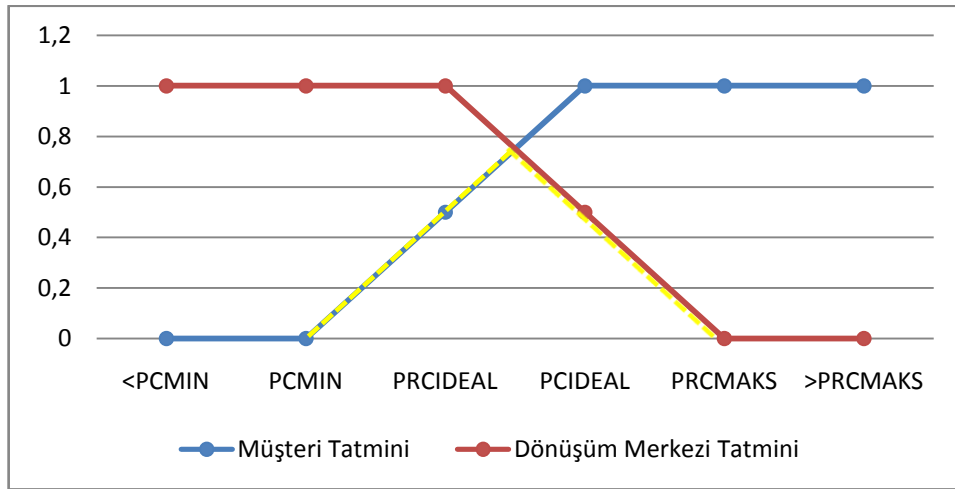
$$\mu_{crc}(i) = \begin{cases} 0 & ; BSFI(i) \leq PCMIN(i) \\ \frac{BSFI(i) - PCMIN(i)}{PCIDEAL(i) - PCMIN(i)} & ; PCMIN(i) \leq BSFI(i) \leq PCIDEAL(i) \\ 1 & ; PCIDEAL(i) \leq BSFI(i) \leq PRCIDEAL(i) \\ \frac{PRCMAKS(i) - BSFI(i)}{PRCMAKS(i) - PCIDEAL(i)} & ; PRCIDEAL(i) \leq BSFI(i) \leq PRCMAKS(i) \\ 0 & ; BSFI(i) \geq PRCMAKS(i) \end{cases} \quad (5.7)$$

Her iki üyelik fonksiyonunu aynı grafikte göstermek, müşterinin arzuladığı fiyatın dönüşüm merkezinin arzuladığı fiyattan düşük olması durumu açıklamak açısından uygun olacaktır. Şekil 5.5’de her iki durum da gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Durum 1 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları

Durum 2 - $PRCIDEAL(i) < PCIDEAL(i)$ olması: Müşterinin iade ettiği ürün için tahmin ettiği ideal satış fiyatının alıcı tarafın belirlediği tahmin edilen ideal satış fiyatından yüksek olması durumudur. Her iki üyelik fonksiyonunu aynı grafikte göstermek, müşterinin arzuladığı fiyatın dönüşüm merkezinin arzuladığı fiyattan düşük olması durumu açıklamak açısından uygun olacaktır. Şekil 5.6'da her iki durum da gösterilmektedir.



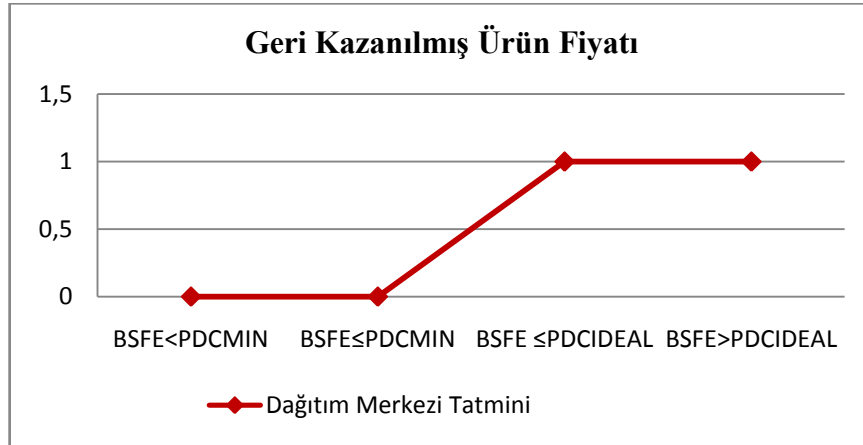
Şekil 5.6 Durum 2 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları

Bu çalışmada üretilen model, müşterinin arzuladığı fiyatın dönüşüm merkezinin arzuladığı fiyattan düşük olması durumunu yani Durum 1'in varlığını kabul etmektedir. Fakat durum 2'nin varlığı söz konusu ise, Şekil 5.6'da gösterilen üyelik fonksiyonlarında iki üyelik fonksiyonunun da sıfırdan farklı alan içerisinde değer alacak bir üyelik fonksiyonu oluşturmak yerinde olur. Bu sayede, tedarik zincirinde bulunan her iki tarafında belli bir ölçüde tatmini sağlanabilir.

- *Belirlenen geri kazanılmış ürün fiyatının sağladığı memnuniyet:*

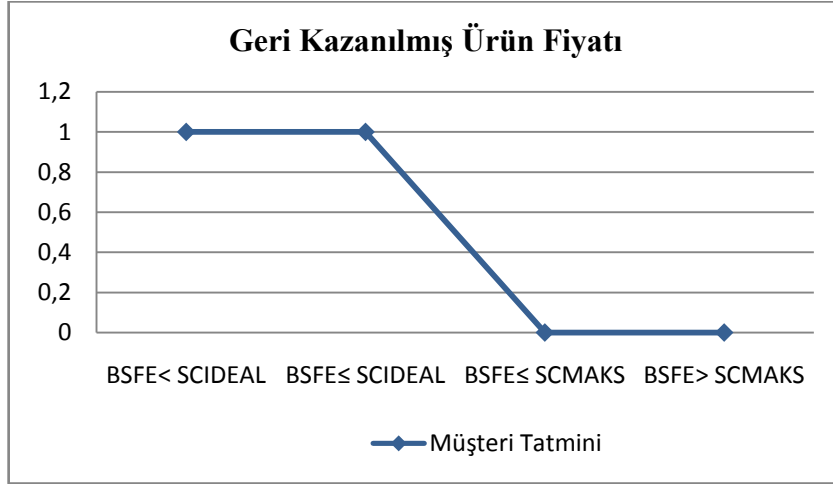
Her geri kazanılmış i ürünü tipi için, müşterinin satın aldığı fiyattan dağıtım merkezinin ise sattığı fiyattan tatmini sağlanırsa, sistemin devamlılığının sağlanması teşvik edilmiş olur. Dolayısıyla, sadece taraflardan birinin değil, hem müşterilerin hem de dağıtım merkezinin tatmin olmasını sağlayacak bir üyelik fonksiyonu μ_{dcc} yazılması uygundur.

Mevcut durum müşteri açısından değerlendirildiğinde, müşteri her zaman geri kazanılmış ürünü mümkün olan en düşük değerden satın almak isteyecektir. Benzer şekilde, dağıtım merkezi ise ürünü daha yüksek fiyattan satmak isteyecektir. Bu durumda, $BSFE(i)$ geri kazanılmış ürün için satış fiyatı, $PDCMIN(i)$ dağıtım merkezinin tahmini satabileceği minimum fiyat, $PDCIDEAL(i)$ dağıtım merkezinin tahmin edilen ideal satış fiyatı, $SCIDEAL(i)$ müşterinin satın alabileceği ideal fiyat ve $SCMAKS(i)$ müşterinin satın alabileceği tahmini en yüksek alış fiyatı olmak üzere, memnuniyeti ifade eden üyelik fonksiyonları aşağıda verilen grafiklerle gösterilebilir. Dağıtım merkezinin fiyattan kaynaklanan tatminini ifade eden üyelik fonksiyonu, Şekil 5.7’de gösterilmektedir. Diğer yandan, müşterinin alıcı ve dağıtım merkezinin satıcı olduğu durumda, müşterinin fiyattan tatminini gösteren üyelik fonksiyonu Şekil 5.8’de verilen grafikte gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Geri kazanılmış ürün için dağıtım merkezi üyelik fonksiyonu

Dağıtım merkezinin fiyattan kaynaklanan tatminini gösteren üyelik fonksiyonu incelendiğinde, dağıtım merkezinin satabileceği en düşük fiyat ve daha düşük değerler için üyelik fonksiyonu sıfır değerini almaktadır. Bununla birlikte, dağıtım merkezinin belirlediği ideal fiyat veya daha yüksek bir fiyattan satış gerçekleşirse üyelik fonksiyonu mümkün olan en yüksek değerini yani 1 (bir) değerini almaktadır. En düşük fiyat değeri ve ideal fiyat değeri arasında üyelik fonksiyonunun doğrusal bir şekilde artış gösterdiği kabul edilmiştir.



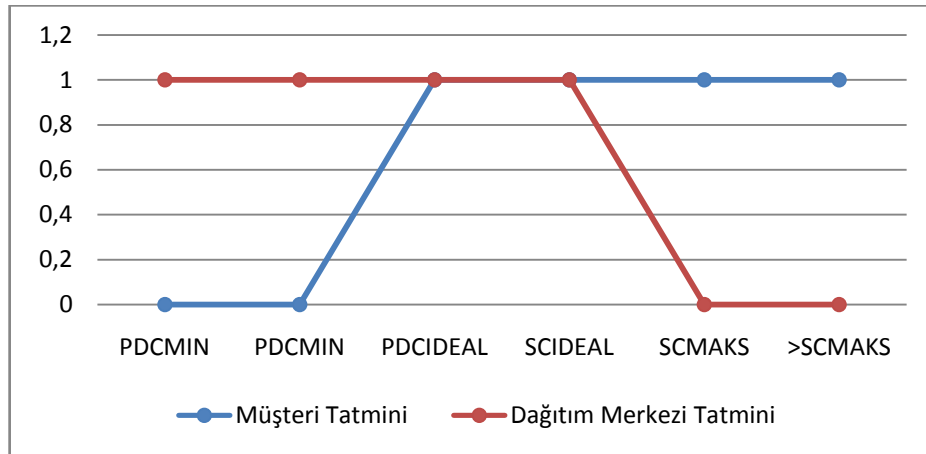
Şekil 5.8 Geri kazanılmış ürün için müşteri üyelik fonksiyonu

Bu durumda, $PRCIDEAL(i)$ ve $PCIDEAL(i)$ arasında oluşan ilişki türüne benzer şekilde, $PDCIDEAL(i)$ ve $SCIDEAL(i)$ arasında oluşabilecek iki ilişkiden söz edilebilir. Bunlar; $PDCIDEAL(i) \leq SCIDEAL(i)$ olması durumu ve $PDCIDEAL(i) > SCIDEAL(i)$ olması durumudur.

Durum 1 - $PDCIDEAL(i) \leq SCIDEAL(i)$ olması: Dağıtım merkezinin sattığı ürün için tahmin ettiği ideal satış fiyatının müşterinin tahmin edilen ideal alış fiyatından düşük olması durumudur. Bu durumda, fiyat açısından ikisinin de tatmin edilmesi kolaydır. Bu koşulun kabul edilmesi ile oluşturulan üyelik fonksiyonu (5.7) denkleminde verilmektedir.

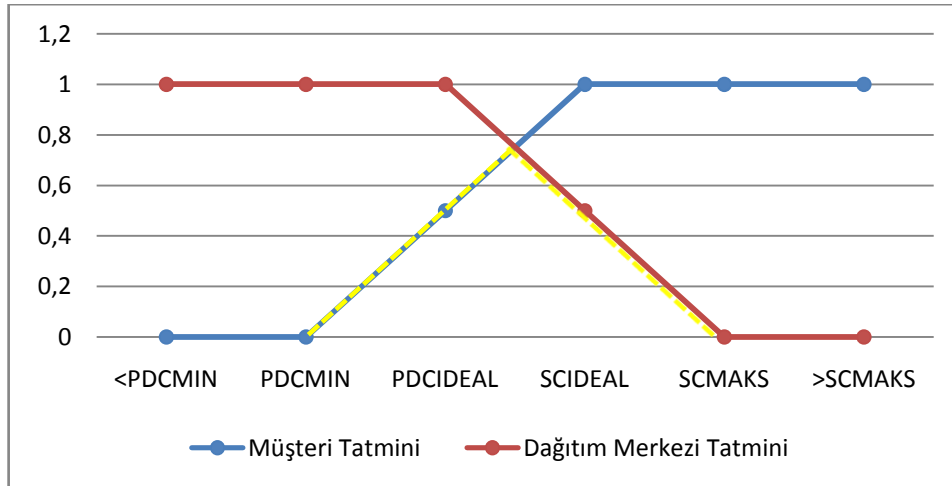
$$\mu_{e-dcc}(i) = \begin{cases} 0 & ; BSFE(i) \leq PDCMIN(i) \\ \frac{BSFE(i) - PDCMIN(i)}{PDCIDEAL(i) - PDCMIN(i)} & ; PDCMIN(i) \leq BSFE(i) \leq PDCIDEAL(i) \\ 1 & ; PDCIDEAL(i) \leq BSFE(i) \leq SCIDEAL(i) \\ \frac{SCMAKS(i) - BSFE(i)}{SCMAKS(i) - SCIDEAL(i)} & ; SCIDEAL(i) \leq BSFE(i) \leq SCMAKS(i) \\ 0 & ; BSFE(i) \geq SCMAKS(i) \end{cases} \quad (5.7)$$

Her iki üyelik fonksiyonunu aynı grafikte göstermek, dağıtım merkezinin arzuladığı fiyatın müşterinin arzuladığı fiyattan düşük olması durumunu açıklamak açısından uygun olacaktır. Şekil 5.9'de her iki durum da gösterilmektedir.



Şekil 5.9 Durum 1 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları

Durum 2 – $PDCIDEAL(i) > SCIDEAL(i)$ olması: Dağıtım merkezinin sattığı geri kazanılmış ürün için tahmin edilen ideal satış fiyatının müşterinin bu ürünü satın almak için göze aldığı tahmin edilen ideal alış fiyatından yüksek olması durumudur. Her iki üyelik fonksiyonunu aynı grafikte göstermek, dağıtım merkezinin arzuladığı fiyatın müşterinin arzuladığı fiyattan düşük olması durumunu açıklamak açısından uygun olacaktır. Şekil 5.10'de her iki durum da gösterilmektedir.



Şekil 5.10 Durum 2 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları

Bu çalışmada üretilen model, dağıtım merkezinin arzuladığı fiyatın müşterinin arzuladığı fiyattan düşük olması durumunu yani Durum 1'in varlığını kabul etmektedir. Fakat durum 2'nin varlığı söz konusu ise, Şekil 5.10 incelendiğinde her iki üyelik fonksiyonunun sıfırdan farklı değer aldığı aralıkta, bir üyelik fonksiyonu oluşturmak yerinde olur. Bu sayede, tedarik zincirinde bulunan her iki tarafın belli bir ölçüde tatmini sağlanabilir.

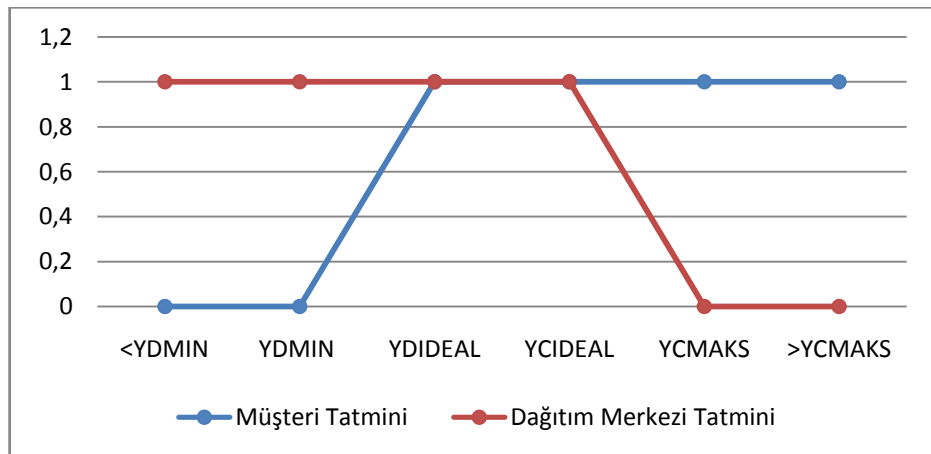
- *Belirlenen yeni ürün fiyatının sağladığı memnuniyet:*

Belirlenen geri kazanılmış ürün fiyatında yer alan tanımlamaların tamamı bu yeni ürün fiyatının belirlenmesi için de geçerli olup, ilgili üyelik fonksiyonu ve tanımlamalar aşağıda verilmektedir.

$YDIDEAL(i)$ yeni ürün için dağıtım merkezi tarafından belirlenen ideal satış fiyatı ve $YCIDEAL(i)$ müşterinin satın almayı gerçekleştirebildiği ideal fiyat olmak üzere, $YDIDEAL(i) \leq YCIDEAL(i)$ olması durumunun kabul edildiği varsayımıyla, yani dağıtım merkezinin sattığı ürün için tahmin ettiği ideal satış fiyatının müşterinin tahmin edilen ideal alış fiyatından düşük olması durumudur. Bu durumda, fiyat açısından ikisinin de tatmin edilmesi kolaydır. Bu koşulun kabul edilmesi ile oluşturulan üyelik fonksiyonu (5.8) denkleminde verilmektedir.

$$\mu_{y-dcc}(i) = \begin{cases} 0 & ; BSFY(i) \leq YDMIN(i) \\ \frac{BSFY(i) - YDMIN(i)}{YDIDEAL(i) - YDMIN(i)} & ; YDMIN(i) \leq BSFY(i) \leq YDIDEAL(i) \\ 1 & ; YDIDEAL(i) \leq BSFY(i) \leq YCIDEAL(i) \\ \frac{YCMaks(i) - BSFY(i)}{YCMaks(i) - YCIDEAL(i)} & ; YCIDEAL(i) \leq BSFY(i) \leq YCMaks(i) \\ 0 & ; BSFY(i) \geq YCMaks(i) \end{cases} \quad (5.8)$$

Her iki üyelik fonksiyonunu aynı grafikte göstermek, dağıtım merkezinin arzuladığı fiyatın müşterinin arzuladığı fiyattan düşük olması durumu açıklamak açısından uygun olacaktır. Şekil 5.11’de her iki durum da gösterilmektedir.



Şekil 5.11 Durum 1 için memnuniyeti gösteren üyelik fonksiyonları

5.3 Gelir Fonksiyonları

Kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı kapsamında incelenen sistemde, iki adet gelir kaynağı mevcuttur. Bunlar, yeni ürünlerin satışından elde edilen gelirler ve geri kazanılmış ürünlerin satışından elde edilen gelirlerdir.

Yeni ürünlerin satışından elde edilen toplam gelir; $BSFY(i)$ i ürününün satış fiyatı ve $xdcy(i, d, c, t)$ t zaman biriminde d dağıtım merkezinden c müşterisine taşınan i ürün miktarını göstermek üzere,

$$\sum_t \sum_i \sum_d \sum_c BSFY(i) . xdcy(i, d, c, t) \quad (5.9)$$

şeklinde hesaplanır.

Geri kazanılmış ürünlerin satışından elde edilen toplam gelir; $BSFE(i)$ i ürününün satış fiyatı ve $xdce(i, d, c, t)$ t zaman biriminde d dağıtım merkezinden c müşterisine taşınan i ürün miktarını göstermek üzere,

$$\sum_t \sum_i \sum_d \sum_c BSFE(i) . xdce(i, d, c, t) \quad (5.10)$$

şeklinde hesaplanır.

Geri kazanım sürecinde oluşan bileşenler fabrikalar tarafından kullanılmakta olup, geri kazanım sürecinde oluşan malzemeler ise dış tedarikçilere satılmaktadır. Malzemelerin satışından elde edilen toplam gelir; $BSFM(m)$ bir birim m malzemesinin satış fiyatı ve $xrm(m, r, t)$ t zaman biriminde r dönüşüm merkezi tarafından üretilen m malzeme miktarını göstermek üzere,

$$\sum_t \sum_r \sum_m BSFM(i) . xrm(m, r, t) \quad (5.11)$$

şeklinde hesaplanır.

$xrm(m, r, t)$, $dmq(i, r, t)$ t zaman biriminde r dönüşüm merkezinde tersine üretimine karar verilen i ürünü miktarı, $CQ(i, n)$ i ürünü içinde bulunan n bileşeni adedi ve $MQ(n, m)$ n bileşeni içinde bulunan m malzemesi miktarı olmak üzere;

$$xrm(m, r, t) = \sum_i dmq(i, r, t) \sum_n CQ(i, n) . MQ(n, m) \quad (5.12)$$

şeklinde hesaplanır.

Yeni ürünlerin ve geri kazanılmış ürünlerin satışından elde edilen gelir toplamı GLR aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$GLR = \sum_t \sum_i \sum_d \sum_c BSFY(i) \cdot xdcy(i, d, c, t) + \sum_t \sum_i \sum_d \sum_c BSFE(i) \cdot xdce(i, d, c, t) + \sum_t \sum_r \sum_m BSFM(i) \cdot xrm(m, r, t) \quad (5.13)$$

5.4 Maliyet Fonksiyonları

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri kapsamında göz önünde bulundurulmuş maliyet bileşenleri; satın alma maliyetleri, işleme maliyetleri, taşıma maliyetleri, kurulma maliyetleri, sabit maliyetler, depolama, elde bulundurma ve ceza maliyetleridir. Bu maliyet bileşenlerinin içerikleri ve ilgili matematiksel ifadeler ilgili alt bölümlerde açıklanmaktadır.

5.4.1 Satın Alma Maliyetleri

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri sistemi kapsamında,

- Bileşenin dışarıdan satın alınması durumunda bileşen satın alma maliyeti ve
- Müşterilerin kullanım ömrünü tamamlamış ürünleri iade etmesi durumunda oluşan satın alma maliyeti

olmak üzere iki çeşit satın alma maliyeti oluşmaktadır.

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri sisteminin işleyişi gereği, bir fabrika malzeme ihtiyacını bir iade merkezinden karşılayamıyorsa, sistem dışında bulunan bir tedarikçiden malzeme ihtiyacının karşılamasına izin verilmektedir. Bu durumda ortaya çıkan malzeme satın alma maliyeti, $SAM(n, p, t)$ t zaman biriminde p fabrikasının satın aldığı bileşen miktarı ve $SAF(n)$ satın alma fiyatı olmak üzere,

$$\sum_t \sum_n \sum_p SAM(n, p, t) \cdot SAF(n) \quad (5.14)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Satın alma maliyeti oluşturan diğer bir durum ise, müşterilerin iade ettikleri her bir ürüne parasal bir değer ödenmesidir. Müşterilerde kullanım ömrünü tamamlamış olan ürünlerin iade edilmesini teşvik etmek üzere, müşterilere iade ettikleri her bir ürün için bir iade fiyatı ödenmektedir. Bu sayede oluşan iade satın alma maliyeti, $BSFI(i)$ birim satın alma fiyatı ve $xcj(i, c, j, t)$ ise t zaman biriminde c müşterisinden j toplama noktasına iade edilen i ürünü

miktarı olmak üzere,

$$\sum_t \sum_i \sum_j \sum_c BSFI(i) \cdot xcj(i, c, j, t) \quad (5.15)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu durumda oluşan toplam satın alma maliyeti $TTSM$;

$$TTSM = \sum_t \sum_n \sum_p SAM(n, p, t) \cdot SAF(n) + \sum_t \sum_i \sum_j \sum_c BSFI(i) \cdot xcj(i, c, j, t) \quad (5.16)$$

şeklinde ifade edilir.

5.4.2 İşleme Maliyetleri

İncelenen kapalı çevrim tedarik zinciri sistemi kapsamında oluşan toplam işleme maliyeti ($TTIM$) aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- Toplam İnceleme ve Ayıklama Maliyeti (TAM),
- Toplam De-montaj Maliyeti (TDM),
- Toplam Tersine Üretim Maliyeti (TTM),
- Toplam Yenileme Maliyeti (TYM),
- Toplam Bozunma Maliyeti (TBM),
- Toplam Üretim Maliyeti (TUM)'dir.

Toplam İnceleme ve Ayıklama Maliyeti (TAM), $SCC(i, r, t)$ t zaman biriminde r dönüşüm merkezinde bir i ürünü inceleme ve sınıflama maliyeti ve $\sum_j xjr(i, j, r, t)$ t zaman biriminde incelenmek ve sınıflandırılmak üzere tüm toplama noktalarından bir r dönüşüm merkezine gelen i ürünü miktarını göstermek üzere;

$$TAM = \sum_t \sum_i \sum_r SCC(i, r, t) \sum_j xjr(i, j, r, t) \quad (5.17)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Toplam De-montaj Maliyeti, $DIC(i, r, t)$ t zaman biriminde r dönüşüm merkezinde bir birim i ürünün de-monte edilmesi maliyeti ve $DQ(i, r, t)$ t zaman biriminde de-montajı yapılmak üzere tüm toplama noktalarından bir r dönüşüm merkezine gelen i ürünü miktarını göstermek üzere;

$$TDM = \sum_t \sum_i \sum_r DIC(i, r, t) DQ(i, r, t) \quad (5.18)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $DQ(i, r, t)$ miktarı, bir t zaman biriminde bir r dönüşüm merkezine gelen tüm i ürünlerinin bir inceleme sonucunda de-montajı yapılmasına karar verilen miktarını temsil etmekte olup, bir t zaman biriminde bir r dönüşüm merkezine gelen tüm i ürünlerinin toplamının belli bir oranına $Pdis(t)$ eşittir.

$$DQ(i, r, t) = Pdis(t) \sum_j xjr(i, j, r, t) \quad (5.19)$$

Toplam Tersine Üretim Maliyeti, $DMC(i, r, t)$ t zaman biriminde belli bir r dönüşüm merkezinde bir i ürününün malzemesine dönüştürülmesi maliyeti ve $DMQ(i, r, t)$ bir t zaman biriminde de-montajı gerçekleştirilen bir ürünün bileşenlerinin kullanıma uygun olmaması nedeniyle malzemesine dönüştürülmesine karar verilen ürün miktarını göstermek üzere;

$$TTM = \sum_t \sum_i \sum_r DMC(i, r, t) DMQ(i, r, t) \quad (5.20)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $DMQ(i, r, t)$ miktarı, herhangi bir t zaman biriminde bir r dönüşüm merkezine gelip de-montajı gerçekleştirilen i ürünlerinin belli bir oranına eşittir.

$$DMQ(i, r, t) = Pdem(t) DQ(i, r, t) \quad (5.21)$$

Toplam Yenileme Maliyeti, $RRC(i, f, t)$ bir birim i ürünün f yenileme tesisinde bir t zaman biriminde yenilenmesi maliyetini ve $\sum_r xrf(i, r, f, t)$ t zaman biriminde yenilenmek üzere tüm dönüşüm merkezlerinden bir f yenileme tesisine gelen i ürünü miktarını göstermek üzere;

$$TYM = \sum_t \sum_i \sum_f RRC(i, f, t) \sum_r xrf(i, r, f, t) \quad (5.22)$$

Tedarik zinciri tasarımı kapsamında dönüşüm merkezinde ve yenileme tesisinde gerçekleştirilen işlemler neticesinde atıklar oluşmakta ve bu atıkların yok edilmesi bir maliyet kalemi oluşturmaktadır.

Toplam Bozunma (Yok Etme) Maliyeti, dönüşüm merkezinde oluşan atık yok etme maliyeti (TBM_R) ve yenileme tesisinde oluşan atık yok etme maliyetinin (TBM_F) toplamıdır. Toplam bozunma maliyeti, ilgili tesise gelen ürünlerin belirli bir oranı ölçüsünde meydana gelen atık miktarı ile birim atık yok etme maliyetinin çarpılması yoluyla hesaplanır.

$$TBM = TBM_R + TBM_F \quad (5.23)$$

Dönüşüm tesislerinde oluşan atıkların birim bozunma maliyeti $DCR(i, r, t)$, DRC de-montaj işlemi sırasında oluşan atık oranı ve DRM tersine üretim sırasında oluşan atık oranı olmak üzere, dönüşüm merkezlerinde oluşan toplam bozunma maliyeti (TBM_R);

$$TBM_R = \sum_t \sum_i \sum_r DCR(i, r, t) [DRM \cdot DQ(i, r, t) + DRC \cdot DMQ(i, r, t)] \quad (5.24)$$

şeklinde ifade edilir.

Yenileme tesislerinde oluşan atıkların birim bozunma maliyeti $DCF(i, f, t)$ ve DRF de-montaj işlemi sırasında oluşan atık oranı olmak üzere, dönüşüm merkezlerinde oluşan toplam bozunma maliyeti (TBM_F);

$$TBM_F = \sum_t \sum_i \sum_f DCF(i, f, t) \cdot DRF \cdot \sum_r xrf(i, r, f, t) \quad (5.25)$$

şeklinde ifade edilir.

Bir birim i ürünü üretmenin maliyeti $PCI(i, p, t)$ ve t zaman biriminde d dağıtım merkezine p fabrikasından gönderilecek toplam i ürünü miktarı $xpd(i, p, d, t)$ olmak üzere, toplam ürün üretmenin maliyeti,

$$TUM = \sum_t \sum_i \sum_p \sum_d PCI(i, p, t) xpd(i, p, d, t) \quad (5.26)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Dönüşüm merkezleri tarafından karşılanamayan miktarda bileşen talebi oluşması durumunda, fabrikalar karşılanamayan miktar kadar bileşeni dışarıda bir tedarikçiden satın alma durumunda kalmaktadırlar.

Sonuç olarak, kapalı çevrim tedarik zinciri kapsamında oluşan tüm işleme maliyetlerinin toplamı ($TTIM$);

$$TTIM = TAM + TDM + TTM + TYM + TBM + T\ddot{U}M \quad (5.27)$$

şeklinde ifade edilebilir.

5.4.3 Taşıma Maliyetleri

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri modeli kapsamında, belirli bir noktadan diğer bir noktaya giden mallar için taşıma maliyetleri göz önünde bulundurulmuştur. Belirli bir i ürünü taşımanın maliyeti $UTC(i)$ olup, bir birim i ürününü bir birim mesafeyi taşımanın maliyetini (TL/km) ifade eder. Benzer şekilde, belirli bir n bileşenini bir birim mesafe taşımanın

maliyeti ise, $UTCN(n)$ 'dir.

Bir c müşterisinin bir j toplama noktasına olan uzaklığı $dist(c, j)$ ve $xcj(i, c, j, t)$ t zaman biriminde bir c müşterisinden bir j toplama noktasına giden i ürünü miktarını göstermek üzere; toplam toplama noktalarına taşıma maliyeti (TMJ)

$$TMJ = \sum_t \sum_i \sum_j \sum_c UTC(i) \, dist(c, j) \, xcj(i, c, j, t) \quad (5.28)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bir j toplama noktasının bir r dönüşüm merkezine olan uzaklığı $dist(j, r)$ ve $xjr(i, j, r, t)$ t zaman biriminde bir j toplama noktasından bir r dönüşüm merkezine giden i ürünü miktarını göstermek üzere; toplam dönüşüm merkezlerine taşıma maliyeti (TMR)

$$TMR = \sum_t \sum_i \sum_r \sum_j UTC(i) \, dist(j, r) \, xjr(i, j, r, t) \quad (5.29)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bir r dönüşüm merkezinin bir f yenileme tesisine olan uzaklığı $dist(r, f)$ ve $xf(i, r, f, t)$ t zaman biriminde bir r dönüşüm merkezinden bir f yenileme tesisine giden i ürünü miktarını göstermek üzere; toplam yenileme tesislerine taşıma maliyeti (TMF)

$$TMF = \sum_t \sum_i \sum_f \sum_r UTC(i) \, dist(r, f) \, xrf(i, r, f, t) \quad (5.30)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bir f yenileme tesisinin bir d dağıtım merkezine olan uzaklığı $dist(f, d)$ ve $xfd(i, f, d, t)$ t zaman biriminde bir f yenileme tesisinden bir d dağıtım merkezine giden i ürünü miktarını göstermek üzere; toplam yenileme tesislerinden dağıtım merkezlerine taşıma maliyeti

$$\sum_t \sum_i \sum_d \sum_f UTC(i) \, dist(f, d) \, xfd(i, f, d, t) \quad (5.31)$$

ve bir p fabrikasının bir d dağıtım merkezine olan uzaklığı $dist(p, d)$ ve $xpd(i, p, d, t)$ t zaman biriminde bir p fabrikasından bir d dağıtım merkezine giden i ürünü miktarını göstermek üzere; toplam fabrikalardan dağıtım merkezlerine taşıma maliyeti

$$\sum_t \sum_i \sum_d \sum_p UTC(i) \, dist(p, d) \, xpd(i, p, d, t) \quad (5.32)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu durumda, toplam dağıtım merkezlerine taşıma maliyeti (TMD),

$$TMD = \sum_t \sum_i \sum_d \sum_f UTC(i) \text{ dist}(f, d) xfd(i, f, d, t) + \sum_t \sum_i \sum_d \sum_p UTC(i) \text{ dist}(p, d) xpd(i, p, d, t) \quad (5.33)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Bir r dönüşüm merkezinin bir p fabrikasına olan uzaklığı $\text{dist}(r, p)$ ve $xrp(n, r, p, t)$ t zaman biriminde bir r dönüşüm merkezinden bir p fabrikasına giden n bileşeni miktarını göstermek üzere; toplam dönüşüm merkezlerinden fabrikalara taşıma maliyeti (TMP),

$$TMP = \sum_t \sum_n \sum_p \sum_r UTCN(n) \text{ dist}(r, p) xrp(n, r, p, t) \quad (5.34)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bir c müşterisinin bir d dağıtım merkezine olan uzaklığı $\text{dist}(d, c)$, $xdcy(i, d, c, t)$ t zaman biriminde bir d dağıtım merkezinden bir c müşterisine giden i yeni ürünü miktarı ve $xdce(i, d, c, t)$ t zaman biriminde bir d dağıtım merkezinden bir c müşterisine giden i geri kazanılmış ürün miktarı olmak üzere;

$$TMC = \sum_t \sum_i \sum_c \sum_d UTC(i) \text{ dist}(d, c) xdcy(i, d, c, t) + \sum_t \sum_i \sum_c \sum_d UTC(i) \text{ dist}(d, c) xdce(i, d, c, t) \quad (5.35)$$

toplam müşterilere taşıma maliyetini (TMC) ifade etmektedir. Böylece toplam taşıma maliyeti ($TTTM$) denklem (5.36)'da verilmektedir.

$$TTTM = TMJ + TMR + TMF + TMP + TMD + TMC \quad (5.36)$$

5.4.4 Kurulma Maliyetleri

$KM(j)$ bir j toplama noktasının kurulma maliyetini ve $Z(j, t)$ bir j toplama noktasının t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm toplama noktalarının toplam kurulma maliyeti ($TKMJ$)

$$TKMJ = KM(j) \cdot \max(t, Z(j, t)) \quad (5.37)$$

şeklinde ifade edilir.

$KM(r)$ bir r dönüşüm merkezinin kurulma maliyetini ve $Z(r, t)$ bir r dönüşüm merkezinin t

zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm dönüşüm merkezlerinin toplam kurulma maliyeti (TKMR)

$$TKMR = KM(r).max(t, Z(r, t)) \quad (5.38)$$

şeklinde ifade edilir.

KM(d) bir d dağıtım merkezinin kurulma maliyetini ve Z(d,t) bir d dağıtım merkezinin t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm dağıtım merkezlerinin toplam kurulma maliyeti (TKMD)

$$TKMD = KM(d).max(t, Z(d, t)) \quad (5.39)$$

şeklinde ifade edilir.

KM(f) bir f yenileme tesisinin kurulma maliyetini ve Z(f,t) bir f yenileme tesisinin t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm yenileme tesislerinin toplam kurulma maliyeti (TKMF)

$$TKMF = KM(f).max(t, Z(f, t)) \quad (5.40)$$

şeklinde ifade edilir.

KM(p) bir p fabrikasının kurulma maliyetini ve Z(p,t) bir p fabrikasının t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm dönüşüm merkezlerinin toplam kurulma maliyeti (TKMP)

$$TKMP = KM(p).max(t, Z(p, t)) \quad (5.41)$$

şeklinde ifade edilir. Dolayısıyla toplam kurulma maliyeti (TTKM)

$$TTKM = TKMJ + TKMR + TKMP + TKMF + TKMD \quad (5.42)$$

şeklinde hesaplanır.

5.4.5 Sabit Maliyetler

SM(j) bir j toplama noktasının sabit maliyetini ve Z(j,t) bir j toplama noktasının t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm toplama noktalarının toplam sabit maliyeti (TSMJ)

$$TSMJ = \sum_j SM(j) \sum_t Z(j, t) \quad (5.43)$$

şeklinde ifade edilir.

$SM(r)$ bir r dönüşüm merkezinin sabit maliyetini ve $Z(r,t)$ bir r dönüşüm merkezinin t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm dönüşüm merkezlerinin toplam sabit maliyeti (TSMR)

$$TSMR = \sum_r SM(r) \sum_t Z(r,t) \quad (5.44)$$

şeklinde ifade edilir.

$SM(d)$ bir d dağıtım merkezinin sabit maliyetini ve $Z(d,t)$ bir d dağıtım merkezinin t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm dağıtım merkezlerinin toplam sabit maliyeti (TSMD)

$$TSMD = \sum_d SM(d) \sum_t Z(d,t) \quad (5.45)$$

şeklinde ifade edilir.

$SM(f)$ bir f yenileme tesisinin sabit maliyetini ve $Z(f,t)$ bir f yenileme tesisinin t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm yenileme tesislerinin toplam sabit maliyeti (TSMF)

$$TSMF = \sum_f SM(f) \sum_t Z(f,t) \quad (5.46)$$

şeklinde ifade edilir.

$SM(p)$ bir p fabrikasının sabit maliyetini ve $Z(p,t)$ bir p fabrikasının t zaman biriminde açık olması durumunu göstermek üzere, açılacak tüm dönüşüm merkezlerinin toplam sabit maliyeti (TSMP)

$$TSMP = \sum_p SM(p) \sum_t Z(p,t) \quad (5.47)$$

şeklinde ifade edilir. Sonuç olarak, toplam sabit maliyet (TTSM)

$$TTSM = TSMP + TSMR + TSMF + TSMD + TSMJ \quad (5.48)$$

şeklinde gösterilir.

5.4.6 Depolama ve Elde Bulundurma Maliyetleri

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri kapsamında, depolama ve elde bulundurma maliyetleri dönüşüm merkezlerinde ve dağıtım merkezlerinde oluşmaktadır. Tasarlanan sistem gereği, toplama noktalarında elde bulundurma maliyetinin oluşmadığı kabul edilmiştir.

Toplama noktalarında toplanan ürünler, o dönem itibarıyla dönüşüm merkezlerine gönderilmektedir. Dönüşüm merkezleri tüm toplama noktalarından gelen iade ürünleri detaylı bir inceleme ve sınıflama sürecinden geçirir. Bu incelemede, öncelikle ürünün bütünlüğünün bozunmadan bir tamir veya yenileme işlemine tabi tutulması sayesinde geri kazanımı seçeneği üzerinde durulur. Ürünün bir bütün halinde geri kazanılması, paketlenmesi ve dağıtım merkezlerine gönderilmesi süreçlerinin yürütülmesi yenileme tesislerinin görevidir. Ürünün bir bütün olarak geri kazanılması mümkün değilse bileşenlerine ayrılmasına karar verilir. Demontajı gerçekleştirilen ürünler, bu aşamadan sonra bileşen olarak değerlendirilirler. Bileşenler detaylı bir incelemeden geçirildikten sonra, bileşen olarak kullanılabilir olup olmadığına karar verilir. Bir bileşenin yeni ürün üretiminde kullanılabilmesi için, o ürünün kalite özelliklerini ve ürün yaşam süresi kısıtlarını karşılayabilir nitelikte olması beklenir. Eğer bileşen bu niteliklere sahipse, fabrikalara yeni ürün üretiminde kullanılmak üzere gönderilir. Aksi halde, bileşen malzemesine dönüştürülmek üzere tersine üretim sürecine dâhil edilir.

Özetle, dönüşüm tesislerine gelen ürünlerin tamamı bir inceleme sürecinden geçtikten sonra, gelen malzemenin kalite durumuna göre bileşenine veya malzemesine dönüştürülmektedir. Bu işlemler gerçekleştikten sonra, fabrikaların bileşen ihtiyacını karşılamak üzere bu merkezlerde depolanır. Bileşenlerin malzemesine dönüştürülen kısmı, tedarikçilere veya başka müşterilere gelir elde etmek üzere satılır, depolama yapılmaz. Yani, dönüşüm merkezlerinde sadece bileşen depolanmaktadır. Dönüşüm merkezlerinde toplam bileşen depolama maliyeti, $dm(n, r, t)$ t zaman biriminde bir r dönüşüm merkezinde depolanan n bileşeni depolama maliyeti ve $bdm(n, r, t)$ t zaman biriminde bir r dönüşüm merkezinde depolanan n bileşeni depolanan miktarı olmak üzere, toplam bileşen depolama maliyeti (TBDM)

$$TBDM = \sum_t \sum_n \sum_r DM(n, r, t) BDM(n, r, t) \quad (5.49)$$

şeklinde ifade edilebilir. $bdm(n, r, t)$ ise şu şekilde hesaplanır:

$$bdm(n, r, t) = bdm(n, r, t - 1) + DQ(i, r, t) \cdot CQ(i, n) + \sum_p xrp_n(n, r, p, t) \quad (5.50)$$

Diğer bir depolama noktası ise, dağıtım merkezleridir. Dağıtım merkezleri, hem fabrikalardan gelen yeni ürünleri hem de yenileme tesislerinden gelen geri kazanılmış ürünlerin depolanması ve dağıtımından sorumludurlar. Dağıtım merkezlerinde oluşan toplam ürün depolama maliyeti (TÜDM), $dm(i, d, t)$ t zaman biriminde bir d dağıtım merkezinde depolanan i ürününün depolama maliyeti olmak üzere, toplam ürün depolama maliyeti

(TÜDM)

$$\begin{aligned}
 TUDM = & \sum_t \sum_i \sum_d dm(i, d, t) \sum_f xfd(i, f, d, t) \\
 & - \sum_t \sum_i \sum_d dm(i, d, t) \sum_c xdce(i, d, c, t)
 \end{aligned} \tag{5.51}$$

şeklinde hesaplanır.

Dağıtım merkezlerinde oluşan toplam ürün elde bulundurma maliyeti ise (TEBM), $ebm(i, d, t)$ t zaman biriminde bir d dağıtım merkezinde elde bulunan i ürününün depolanma maliyeti olmak üzere, toplam ürün elde bulundurma maliyeti (TEBM)

$$\begin{aligned}
 TEBM = & \sum_t \sum_i \sum_d ebm(i, d, t) \sum_f xfd(i, f, d, t) \\
 & + \sum_t \sum_i \sum_d ebm(i, d, t) \sum_p xpd(i, p, d, t) \\
 & - \sum_t \sum_i \sum_d ebm(i, d, t) \sum_f xdce(i, d, c, t) \\
 & - \sum_t \sum_i \sum_d ebm(i, d, t) \sum_f xdcy(i, d, c, t)
 \end{aligned} \tag{5.52}$$

şeklinde hesaplanır.

5.4.7 Ceza Maliyetleri

Tasarlanan tedarik zinciri modeli kapsamında, tatmin edilmeyen müşteri taleplerinden kaynaklanan ceza maliyetleri yer almaktadır. Bu ceza maliyetleri, modelin talebin mümkün olan azami seviyede karşılanması zorlanması amacıyla yönelik olarak eklenmiştir. Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri sistemi dâhilinde, geri kazanılmış ürün ve yeni ürün taleplerinin tamamıyla karşılanamamasından kaynaklanan ve karşılanamayan talep miktarıyla doğrudan orantılı olan iki farklı ceza maliyeti bileşeni yer almaktadır.

Ürün taleplerinin karşılanamamasından kaynaklanan birim ceza maliyeti yeni ürün ve geri kazanılmış ürün için de aynı olup $pen(i)$ ile gösterilmektedir. Karşılanamayan yeni ürün talepleri $UDY(i, c, t)$ ve karşılanamayan geri kazanılmış ürün talepleri $UDE(i, c, t)$ ile gösterilmek üzere, toplam ceza maliyeti TCM şu şekilde hesaplanabilir.

$$UDY(i, c, t) = D_Y(i, c, t) - \sum_d xdcy(i, d, c, t) \tag{5.53}$$

$$UDE(i, c, t) = D_E(i, c, t) - \sum_d xdce(i, d, c, t) \quad (5.54)$$

$$TCM = \sum_t \sum_i \sum_c pen(i)[UDE(i, c, t) + UDY(i, c, t)] \quad (5.55)$$

5.5 Karar Bileşenleri

Tasarlanan tedarik zinciri modeli, belirli muhtemel konumlar arasında en uygun tesis kurulma noktalarının belirlenmesiyle, bir ürünün bileşenleri bazında tedarik zinciri bileşenleri içerisinde tamamladığı süreç model içerisine dâhil edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda iki tip ürün (I1 veya I2) iki farklı çeşidi ile (yeni veya geri kazanılmış şekilde) tedarik zinciri içinde varlığını göstermektedir. Bu iki tip ürün iki farklı tipteki bileşenin farklı miktarlarda bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Benzer şekilde, her bir bileşen farklı iki tipteki malzemelerin farklı şekillerde ve miktarlarda bir araya getirilmesiyle oluşmuştur.

Bununla birlikte, tedarik zincirinde yer alan müşterilerin konumları belli olup, kurulacak tesisler için muhtemel yerleşim noktaları da aynıdır. Bu verilerin ışığında oluşturulan kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımı matematiksel modelinde kullanılan karar bileşenlerinin oluşturduğu küme Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Karar Bileşenleri ve Kümeleri

Sembol	Kümenin Tanımı	Küme Elemanları
p	Fabrikalar için muhtemel konumların kümesi	$\{P1, P2, P3, P4\}$
d	Dağıtım merkezleri için muhtemel konumların kümesi	$\{D1, D2, D3, D4\}$
r	Dönüşüm merkezleri için muhtemel konumların kümesi	$\{R1, R2, R3, R4\}$
j	Toplama noktaları için muhtemel konumların kümesi	$\{J1, J2, J3, J4\}$
f	Geri kazanım tesisleri için muhtemel konumların kümesi	$\{F1, F2, F3, F4\}$
c	Müşterilerin bulundukları konumların kümesi	$\{C1, C2, C3, C4\}$
t	Dönemler	$\{1 - 12\}$
i	Ürün tipleri kümesi	$\{I1, I2\}$
n	Bileşen tipleri kümesi	$\{N1, N2\}$
m	Malzeme tipleri kümesi	$\{M1, M2\}$

Tasarlanan model kapsamında, tedarik zinciri tasarımında yer alan her bir tesis tipinin sayısına ve yerleşim noktasına karar verilmektedir. Dolayısıyla, her bir tesis için, belli bir t döneminde o tesisinin açık veya kapalı olduğunu gösteren (0-1) karar değişkeni atanmıştır. Tesisin açık veya kapalı olduğunu gösteren değişkenler ve sembolleri Çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 Tesis Açılması Karar Değişkenleri

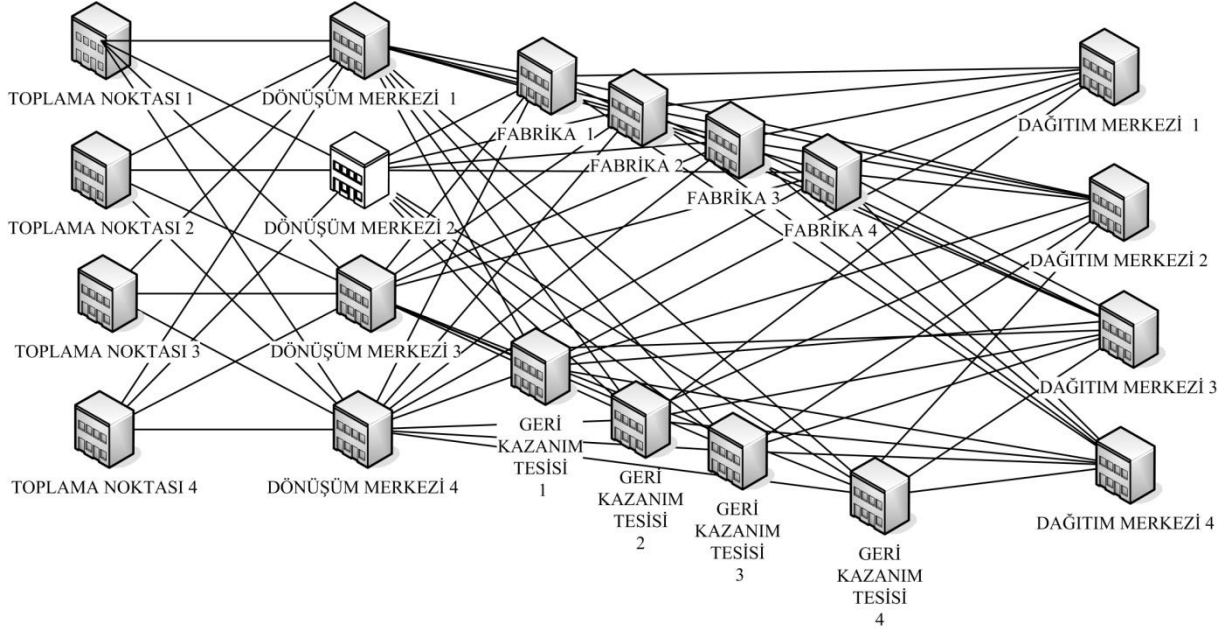
Sembol	Tanımı
$Z(j, t)$	Bir j toplama noktasının belli bir t döneminde açık olup olmadığını gösterir.
$Z(r, t)$	Bir r dönüşüm merkezinin belli bir t döneminde açık olup olmadığını gösterir.
$Z(p, t)$	Bir p fabrikasının belli bir t döneminde açık olup olmadığını gösterir.
$Z(f, t)$	Bir f geri kazanım tesisinin belli bir t döneminde açık olup olmadığını gösterir.
$Z(d, t)$	Bir d dağıtım merkezinin belli bir t döneminde açık olup olmadığını gösterir.

Tasarlanan model kapsamında, herhangi bir tesisten bir başka tesise malzeme veya ürün gönderilmesi veya gönderilmemesi durumu yine bir (0-1) karar değişkeni ile ifade edilmektedir. Modelde bu karar değişkenleri ifade ettikleri atama durumlarına bağlı olarak isimlendirilmiş ve bu değişkenler Çizelge 5.3’de açıklanmaktadır.

Çizelge 5.3 Atama Karar Değişkenleri

Sembol	Karar değişkeni tanımı
$y(c, j, t)$	Bir t döneminde bir c müşterisinin j bir toplama noktasına atanması
$y(j, r, t)$	Bir t döneminde bir j toplama noktasının r bir dönüşüm merkezine atanması
$y(r, f, t)$	Bir t döneminde bir r dönüşüm merkezinin bir f geri kazanım tesisine atanması
$y(f, d, t)$	Bir t döneminde bir f geri kazanım tesisinin bir d dağıtım merkezine atanması
$y(r, p, t)$	Bir t döneminde bir r dönüşüm merkezinin bir p fabrikasına atanması
$y(p, d, t)$	Bir t döneminde bir p fabrikasının bir d dağıtım merkezine atanması
$y(d, c, t)$	Bir t döneminde bir d dağıtım merkezinin bir c müşterisine atanması

Bu ikili değişkenlerin tayini ile tedarik zincirinde hangi tesislerin açılacağına ve hangi tesislerden hangi tesislere taşıma yapılacağı belirlenmektedir. Böylece; mümkün olan tüm alternatif atamaların en uygun çözümünün araştırıldığı bir matematiksel modelin çözülmesiyle tedarik zinciri ağ tasarımı ortaya çıkmaktadır. Araştırılan tüm ilişkiler Şekil 5.12’de verilmektedir.



Şekil 5.12 İncelenen tedarik zinciri ağı

Tasarlanan model içeriğinde, müşterilerin yeni ve geri kazanılmış ürün taleplerinin tatminini ifade eden ve müşterilerin satın alma ve satış fiyatından kaynaklanan memnuniyetlerini gösteren üyelik derecelerini ifade eden sürekli karar değişkenleri de bulundurmaktadır. Bu değişkenler ve açıklamaları Çizelge 5.4’de verilmektedir.

Çizelge 5.4 Üyelik fonksiyonuyla ifade edilen karar değişkenleri

Sembol	Değişkenin Tanımı
$\mu_{e-talep}$	Geri kazanılmış ürün talebinin tatminini ifade eden üyelik fonksiyonu
$\mu_{y-talep}$	Yeni ürün talebini ifade eden üyelik fonksiyonu
μ_{crc}	Müşteri ve dönüşüm merkezi tatminini ifade eden üyelik fonksiyonu
μ_{e-dcc}	Müşterinin geri kazanılmış ürün fiyatından tatminini içeren üyelik fonksiyonu
μ_{y-dcc}	Müşterilerin yeni ürün fiyatından tatminini ifade eden üyelik fonksiyonu

Çizelge 5.5 Fiyatlarla ilgili sürekli karar değişkenleri

Sembol	Değişkenin Tanımı
$BSFI(i)$	Müşterilerin iade ettikleri i ürününe ödenen iade fiyatı
$BSFY(i)$	i yeni ürünü fiyatı
$BSFE(i)$	Geri kazanılmış i ürünü fiyatı

Ayrıca, tasarlanan matematiksel model kapsamında fiyatlar da birer değişken olarak yer almakta olup, Çizelge 5.5’de özetlenmektedir.

Çizelge 5.6 Tamsayılı değişkenler tablosu

Sembol	Karar değişkeni tanımı
$xcj(i, c, j, t)$	Bir t döneminde bir c müşterisinden j bir toplama noktasına giden ürün miktarı
$xjr(i, j, r, t)$	Bir t döneminde bir j toplama noktasından r bir dönüşüm merkezine giden ürün miktarı
$xrf(i, r, f, t)$	Bir t döneminde bir r dönüşüm merkezinden bir f geri kazanım tesisine giden ürün miktarı
$xfd(i, f, d, t)$	Bir t döneminde bir f geri kazanım tesisinden bir d dağıtım merkezine giden ürün miktarı
$xrp(n, r, p, t)$	Bir t döneminde bir r dönüşüm merkezinden bir p fabrikasına giden n bileşen miktarı
$xpd(i, p, d, t)$	Bir t döneminde bir p fabrikasından bir d dağıtım merkezine giden yeni ürün miktarı
$xdce(i, d, c, t)$	Bir t döneminde bir d dağıtım merkezinden bir c müşterisin giden geri kazanılmış ürün miktarı
$xdcy(i, d, c, t)$	Bir t döneminde bir d dağıtım merkezinden bir c müşterisin giden yeni ürün miktarı
$SAM(n, p, t)$	Bir t döneminde bir p fabrikasının satın aldığı n bileşeni miktarı

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri kapsamında verilen tüm kararlar için bir karar değişkeni atanmıştır. Fiyatların belirlenmesi ve müşteri tatminini ifade eden kâra değişkenlerine ek olarak, kurulmasına karar verilen bir tesisten kurulmasına karar verilen diğer bir tesise giden ürün veya bileşen miktarlarını gösteren değişkenler de modelin içinde yer almaktadır. Bu değişkenlerin birer ürünü veya birer bileşeni göstermesi nedeniyle tamsayı olma zorunluluğu vardır. Bu tamsayılı değişkenler Çizelge 5.6’da açıklanmaktadır.

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri modelinde yer alan karar bileşenlerinden biri olan karar değişkenleri yukarıdaki bölümde özetlenmiştir. Bu karar değişkenlerinin belirlenmesinde etkili olan karar parametreleri karar bileşenlerinin diğer bir sınıfını oluşturmaktadır. Bu parametrelerin sembolleri ve tanımları Çizelge 5.7’de verilmektedir.

Çizelge 5.7 Karar modelinin parametreleri

Sembol	Parametrenin tanımı
DRM	Tersine üretim sırasında oluşan atık miktarı oranı (Malzemeye dönüştürme)
DRC	De-montaj sırasında oluşan atık miktarı oranı (Bileşene dönüştürme)
DRF	Yenileme sırasında oluşan atık miktarı oranı (Tamir)
$UTC(i)$	Bir birim i ürününü 1 km. taşımanın maliyeti
$UTCN(n)$	Bir birim n bileşenini 1 km. taşımanın maliyeti
$dist(c, j)$	Bir c müşterisinin bir j toplama noktasına uzaklığı (km)
$dist(j, r)$	Bir j toplama noktasının bir r dönüşüm merkezine uzaklığı (km)
$dist(r, f)$	Bir r dönüşüm merkezinin bir f geri kazanım tesisine uzaklığı (km)
$dist(r, p)$	Bir r dönüşüm merkezinin bir p fabrikasına uzaklığı (km)
$dist(p, d)$	Bir p fabrikasının bir d dağıtım merkezine uzaklığı (km)
$dist(f, d)$	Bir f geri kazanım tesisinin bir d dağıtım merkezine uzaklığı (km)
$dist(d, c)$	Bir d dağıtım merkezinin bir c müşterisine uzaklığı (km)
$SCC(i, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde i ürününü inceleme/ayıklama maliyeti
$DIC(i, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde bir i ürününün de-montajı maliyeti
$DMC(i, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde bir i ürününün tersine üretimi maliyeti

Çizelge 5.7 Karar modelinin parametreleri (devamı)

Sembol	Parametrenin tanımı
$SCC(i, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde i ürününü inceleme/ayıklama maliyeti
$DIC(i, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde bir i ürününün de-montajı maliyeti
$DMC(i, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde bir i ürününün tersine üretimi maliyeti
$RRC(i, f, t)$	t döneminde bir f kazanım tesisinde bir birim i ürününün yenilenmesi maliyeti
$DCR(i, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde bir i ürününün bozunması maliyeti
$DCF(i, f, t)$	t döneminde bir f kazanım tesisinde bir birim i ürününün bozunması maliyeti
$PCI(i, p, t)$	t döneminde bir p fabrikasında bir birim i ürününün yenilenmesi maliyeti
$dm(n, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde bir n bileşeni depolama maliyeti
$dm(i, r, t)$	t döneminde bir r dönüşüm merkezinde bir i ürünü depolama maliyeti
$ebm(i, d, t)$	t döneminde bir d dağıtım merkezinde bir i ürünü bulundurma maliyeti
$v(i)$	Bir i ürününün kapladığı hacim
$v(n)$	Bir n bileşeninin kapladığı hacim
$cap(j)$	Bir j toplama noktasının azami kapasitesi
$cap(r)$	Bir r dönüşüm merkezinin azami kapasitesi
$cap(f)$	Bir f geri kazanım tesisinin azami kapasitesi
$cap(d)$	Bir d dağıtım merkezinin azami kapasitesi
$cap(p)$	Bir p fabrikasının azami kapasitesi
$SM(j)$	Bir j toplama noktasının çalışması sırasında oluşan sabit maliyet
$SM(r)$	Bir r dönüşüm merkezinin çalışması sırasında oluşan sabit maliyet
$SM(f)$	Bir f geri kazanım tesisinin çalışması sırasında oluşan sabit maliyet
$SM(d)$	Bir d dağıtım merkezinin çalışması sırasında oluşan sabit maliyet
$SM(p)$	Bir p fabrikasının çalışması sırasında oluşan sabit maliyet
$KM(j)$	Bir j toplama noktasının kurulma maliyeti
$KM(r)$	Bir r dönüşüm merkezinin kurulma maliyeti
$KM(f)$	Bir f geri kazanım tesisinin kurulma maliyeti
$KM(d)$	Bir d dağıtım merkezinin kurulma maliyeti
$KM(p)$	Bir p fabrikasının çalışması kurulma maliyeti

Çizelge 5.7 Karar modelinin parametreleri (Devamı)

Sembol	Parametrenin tanımı
$pen(i)$	Bir birim i ürün talebinin karşılanmamasından kaynaklanan ceza maliyeti
$Pdis(t)$	Bir t zaman biriminde de-montajına karar verilen ürün miktarı oranı
$Pdem(t)$	Bir t zaman biriminde tersine üretimine karar verilen ürün miktarı oranı
$Pref(t)$	Bir t zaman biriminde yenilenmesine karar verilen ürün miktarı oranı
$SAF(n)$	Bir birim n bileşeni satın alma fiyatı
$BSFM(m)$	Bir birim m malzemesi satış fiyatı
$PCMIN(i)$	Bir iade i ürününü müşterinin satabileceği tahmini en düşük fiyat
$PCIDEAL(i)$	Bir iade i ürününü müşterinin satabileceği tahmini ideal fiyat
$PRCIDEAL(i)$	Bir iade i ürününü dönüşüm merkezinin alabileceği tahmini ideal fiyat
$PRCMAX(i)$	Bir iade i ürününü dönüşüm merkezinin alabileceği tahmini en yüksek fiyat
$PDCMIN(i)$	i geri kazanılmış ürünü dağıtım merkezinin satabileceği tahmini en düşük fiyat
$PDCIDEAL(i)$	i geri kazanılmış ürünü dağıtım merkezinin satabileceği tahmini ideal fiyat
$SCIDEAL(i)$	Bir i geri kazanılmış ürününü müşterinin alabileceği tahmini ideal fiyat
$SCMAX(i)$	Bir i geri kazanılmış ürününü müşterinin alabileceği tahmini en yüksek fiyat
$YDMIN(i)$	Bir i yeni ürünü dağıtım merkezinin satabileceği tahmini en düşük fiyat
$YDIDEAL(i)$	Bir i yeni ürünü dağıtım merkezinin satabileceği tahmini ideal fiyat
$YCIDEAL(i)$	Bir i yeni ürününü müşterinin alabileceği tahmini ideal fiyat
$YCMAX(i)$	Bir i yeni ürününü müşterinin alabileceği tahmini en yüksek fiyat

Sonuç olarak, tasarlanan kapalı çevrim tedarik zincirinin özellikleri belirleyecek karar bileşenleri bu bölümde özetlenmektedir. Toplam kapalı çevrim tedarik zinciri içinde yer alan tesislerin en uygun sayısına, yerleşimine, taşınan ve alınan miktarlara ve fiyatlara karar veren bu model literatürde eşine az rastlanır geniş bir alanı kapsamaktadır.

5.6 Kısıt Denklemleri

- Her bir toplama noktası için, toplam açık olduğu dönem 12'den fazla olmamalıdır.

$$\sum_t Z(j, t) \leq 12 \quad \forall j \in J \quad (5.56)$$

- Her bir dönüşüm merkezi için, toplam açık olduğu dönem 12'den fazla olmamalıdır.

$$\sum_t Z(r, t) \leq 12 \quad \forall r \in R \quad (5.57)$$

- Her bir fabrika için, toplam açık olduğu dönem 12'den fazla olmamalıdır.

$$\sum_t Z(p, t) \leq 12 \quad \forall p \in P \quad (5.58)$$

- Her bir geri kazanım tesisi için, toplam açık olduğu dönem 12'den fazla olmamalıdır.

$$\sum_t Z(f, t) \leq 12 \quad \forall f \in F \quad (5.59)$$

- Her bir dağıtım merkezi için, toplam açık olduğu dönem 12'den fazla olmamalıdır.

$$\sum_t Z(d, t) \leq 12 \quad \forall d \in D \quad (5.60)$$

- Her bir dönem için, mutlaka en az bir adet toplama noktası açık olmalıdır.

$$\sum_j Z(j, t) \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (5.61)$$

- Her bir dönem için, mutlaka en az bir adet dönüşüm merkezi açık olmalıdır.

$$\sum_r Z(r, t) \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (5.62)$$

- Her bir dönem için, mutlaka en az bir adet fabrika açık olmalıdır.

$$\sum_p Z(p, t) \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (5.63)$$

- Her bir dönem için, mutlaka en az bir adet geri kazanım merkezi açık olmalıdır.

$$\sum_f Z(f, t) \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (5.64)$$

- Her bir dönem için, mutlaka en az bir adet dağıtım merkezi açık olmalıdır.

$$\sum_d Z(d, t) \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (5.65)$$

- Daha önce açılmış olan bir toplama noktası açık kalmalıdır.

$$Z(j, t + 1) - Z(j, t) \geq 0 \quad \forall j \in J \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.66)$$

- Daha önce açılmış olan bir dönüşüm merkezi açık kalmalıdır.

$$Z(r, t + 1) - Z(r, t) \geq 0 \quad \forall r \in R \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.67)$$

- Daha önce açılmış olan bir fabrika açık kalmalıdır.

$$Z(p, t + 1) - Z(p, t) \geq 0 \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.68)$$

- Daha önce açılmış olan bir geri kazanım merkezi açık kalmalıdır.

$$Z(f, t + 1) - Z(f, t) \geq 0 \quad \forall f \in F \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.69)$$

- Daha önce açılmış olan bir dağıtım merkezi açık kalmalıdır.

$$Z(d, t + 1) - Z(d, t) \geq 0 \quad \forall d \in D \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.70)$$

- Bir müşteri sadece açık bir toplama noktasına atabilir.

$$\sum_j y(c, j, t). Z(j, t) = 1 \quad \forall c \in C \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.71)$$

- Bir müşteri sadece açık bir dağıtım merkezine atabilir.

$$\sum_d y(d, c, t). Z(d, t) = 1 \quad \forall c \in C \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.72)$$

- Sadece açık bir toplama noktası açık bir dönüşüm merkezine atanabilir.

$$y(j, r, t) \leq Z(j, t). Z(r, t) \quad \forall j \in J \text{ ve } \forall r \in R \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.73)$$

- Sadece açık bir dönüşüm merkezi açık bir fabrikaya atanabilir.

$$y(r, p, t) \leq Z(r, t). Z(p, t) \quad \forall r \in R, \forall p \in P \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.74)$$

- Sadece açık bir dönüşüm merkezi açık bir geri kazanım tesisine atanabilir.

$$y(r, f, t) \leq Z(r, t). Z(f, t) \quad \forall r \in R, \forall f \in F \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.75)$$

- Sadece açık fabrika açık bir dağıtım merkezine atanabilir.

$$y(p, d, t) \leq Z(p, t). Z(d, t) \quad \forall p \in P, \forall d \in D \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.76)$$

- Sadece açık bir geri kazanım tesisi açık bir dağıtım merkezine atanabilir.

$$y(f, d, t) \leq Z(f, t) \cdot Z(d, t) \quad \forall f \in F, \forall d \in D \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.77)$$

- Her bir toplama noktası en fazla kapasitesi kadar ürün bulundurabilir.

$$\sum_i \sum_c x_{cj}(i, c, j, t) \cdot v(i) \leq \text{cap}(j) \cdot Z(j, t) \quad \forall j \in J \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.78)$$

- Her bir dönüşüm merkezi en fazla kapasitesi kadar ürün işleyebilir.

$$\sum_i \sum_j x_{jr}(i, j, r, t) \cdot v(i) \leq \text{cap}(r) \quad \forall r \in R \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.79)$$

- Her bir fabrika en fazla kapasitesi kadar ürün işleyebilir.

$$\sum_i \sum_d x_{pd}(i, p, d, t) \cdot v(i) \leq \text{cap}(p) \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.80)$$

- Her bir geri kazanım tesisi en fazla kapasitesi kadar ürün işleyebilir.

$$\sum_i \sum_r x_{rf}(i, r, f, t) \cdot v(i) \leq \text{cap}(f) \quad \forall f \in F \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.81)$$

- Her bir dağıtım merkezi en fazla kapasitesi kadar ürün bulundurabilir.

$$\sum_i \left[\sum_f x_{fd}(i, f, d, t) + \sum_p x_{pd}(i, p, d, t) \right] \cdot v(i) \leq \text{cap}(d) \quad \forall d \in D \text{ ve } \forall t \in T \quad (5.82)$$

5.7 Modelin Çıktıları

Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri matematiksel modeli, önceliklendirilmiş üç amaç içermektedir. Bu amaçlar öncelik sırasına bağlı olarak aşağıda listelenmiştir:

(1) Müşterinin Fiyattan Tatmininin Ençoklanması

(2) Müşteri Taleplerinin Tatmininin Ençoklanması

(3) Sistemin Kârının Ençoklanması

Bu üç amacın çözülmesi sırasında, her bir seviyedeki çözüm ilgili değişkenlerin değerlerinin oluşmasını sağlamıştır.

(1) Müşterinin Fiyattan Tatmininin Ençoklanması:

$$\max Z1 = \sum_i \mu_{crc}(i) + \sum_i \mu_{e-dcc}(i) + \sum_i \mu_{y-dcc}(i) \quad (5.83)$$

Birinci seviyede, fiyattan tatmini sağlayan modelin çözümü sırasında, fiyat değişkenlerinin ve üyelik derecelerinin en iyi değerleri bulunur. Üyelik fonksiyonu değişkenlerinin $[0,1]$ arasında değer alabileceği göz önünde bulundurulduğunda, bu amaç fonksiyonunun alabileceği en yüksek değer 6 (altı)'dır. Amaç fonksiyonunun değeri, $\mu_{crc}(i)$, $\mu_{e-dcc}(i)$, $\mu_{y-dcc}(i)$ ve her bir ürün için $BSFI(i)$, $BSFY(i)$ ve $BSFE(i)$ değerleri Çizelge 5.8'de verilmektedir.

Çizelge 5.8 Birinci seviyede elde edilen değişken değerleri

Değişkenler	Ürün Tipleri		Alabileceği Azami Değer	
	(i = 1)	(i = 2)	(i = 1)	(i = 2)
$\mu_{crc}(i)$	0,405	0,500	1	1
$\mu_{e-dcc}(i)$	0,250	0,545	1	1
$\mu_{y-dcc}(i)$	0,250	1,00	1	1
$BSFI(i)$	58,108	90,000	70	100
$BSFY(i)$	850,000	1300,000	1000	1400
$BSFE(i)$	550,000	990,091	700	1100
$Z1 = 2,951$			$Z1_{max} = 6,0$	

(2) Müşteri Taleplerinin Tatmininin Ençoklanması

$$\max Z2 = \sum_i \mu_{e-talep}(i, c, t) + \sum_i \mu_{y-talep}(i, c, t) \quad (5.84)$$

İkinci seviyede, taleplerin karşılanma miktarından kaynaklanan müşteri memnuniyeti fonksiyonu yer almaktadır. Taleplerin tatmin edilmeleriyle ilgili Bölüm 5.2.1'de verilen üyelik fonksiyonlarının ençoklanması amaçlanmaktadır. Bu seviyede modelin çözümü sırasında $xdce(i, d, c, t)$, $xdcy(i, d, c, t)$, $\mu_{e-talep}(i, c, t)$, $\mu_{y-talep}(i, c, t)$, $Z(d, t)$ ve $y(d, c, t)$ değişkenlerinin değerleri belirlenmektedir. Bu seviyede amaç fonksiyonu değeri $Z2 = 98.687$ değerini almaktadır. Amaç fonksiyonunun azami alabileceği değer ise 192'dir. Karar değişkenlerinin değerleri, Çizelge 5.8' de verilmektedir.

(3) Sistemin Kârının Ençoklanması

$$\begin{aligned} \max Z3 = & GLR - TSAM - TTIM - TTTM - TTKM \\ & - TTSM - TBDM - TUDM - TEBM - TCM \end{aligned} \quad (5.85)$$

Son seviye olan üçüncü seviyede kârın ençoklanması amaç fonksiyonu çalıştırılarak modelin çözümü sonuçlandırılır. Bu seviye en çok karar değişkeninin değerlerinin elde edildiği çok amaçlı karar modelinin üçüncü öncelikli amaç fonksiyonu yer almaktadır. Amaç fonksiyonunun ve amaç fonksiyonunu oluşturan bileşenlerin değerleri Çizelge 5.9’da verilmektedir.

Çizelge 5.9 Amaç fonksiyonu ve bileşenlerinin değerleri

Amaç Fonksiyonu Bileşenleri	Kârın Ençoklanması ($\times 1000$)
+ Gelir	1.324.992,743
- Toplam Satın Alma Maliyeti	96.844,463
- Toplam İşleme Maliyeti	84.310,610
- Toplam Taşıma Maliyeti	131.658,614
- Toplam Kurulma Maliyeti	176.900,000
- Toplam Sabit Maliyet	3.184,800
- Toplam Depolama ve Elde Bulundurma Maliyeti	24.042,680
- Toplam Ceza Maliyeti	34.342,25
= KÂR	808.051,575

Çizelge 5.10 Üyelik dereceleri değerleri

		$\mu_{e-talep}(i, c, t)$								$\mu_{y-talep}(i, c, t)$							
		1				2				1				2			
i																	
c		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
t	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,55	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,28	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	9	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge 5.11 $xdcy(i, d, c, t)$ Değerleri

		$xdcy(i, d, c, t)$ Değerleri																															
t	i	1																2															
	d	1				2				3				4				1				2				3				4			
	c	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
	1	.	.	.	.	.	.	.	.	7500	2000	7500	.	.	5500	.	6991	.	.	.	.	.	.	.	.	10000	.	10000	.	.	7500	.	10000
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	9500	5200	9500	.	.	4300	.	9500	.	.	.	.	.	.	.	.	10000	.	10000	.	.	9500	.	10000
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	9950	5920	9950	.	.	4030	.	9950	.	.	.	.	.	.	.	.	10000	8953	10000	.	.	997	.	10000
	4	.	.	.	.	.	.	.	.	9950	5950	9950	.	.	4000	.	9950	.	.	.	.	.	.	.	.	10000	.	10000	.	.	9950	.	10000
	5	.	.	.	.	.	.	.	.	9950	7809	9950	.	.	2141	.	9950	.	.	.	.	.	.	.	.	11000	.	11000	.	.	9950	.	11000
	6	.	.	.	.	.	.	.	.	9100	4514	9100	.	.	4586	.	9100	.	.	.	.	.	.	.	.	10000	9100	10000	.	.	.	.	10000
	7	.	.	.	.	.	.	.	.	12020	7697	12020	.	.	4323	.	12020	.	.	.	.	.	.	.	.	10100	12020	10100	.	.	.	.	10100
	8	.	.	.	.	.	.	.	.	12500	9659	12500	.	.	2841	.	12500	.	.	.	.	.	.	.	.	10000	11483	10000	.	.	1017	.	10000
	9	.	.	.	.	.	.	.	.	8500	5300	8500	.	.	3200	.	8500	.	.	.	.	.	.	.	.	10500	.	10500	.	.	8500	.	10500
	10	.	.	.	.	.	.	.	.	12020	3270	12020	.	.	8750	.	12020	.	.	.	.	.	.	.	.	12020	12020	12020	.	.	.	.	12020
	11	.	.	.	.	.	.	.	.	12500	10000	12500	.	.	2500	.	12500	.	.	.	.	.	.	.	.	12500	.	12500	.	.	12500	.	12500
	12	.	.	.	.	.	.	.	.	8500	7000	8500	.	.	1500	.	8500	.	.	.	.	.	.	.	.	8500	.	8500	.	.	8500	.	8500

Çizelge 5.12 $xdce(i, d, c, t)$ Değerleri

		$xdce(i, d, c, t)$ Değerleri																															
i	1																2																
d	1				2				3				4				1				2				3				4				
c	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4					
t	1	.	.	.	.	.	.	.	.	2800	.	3040	.	.	2960	.	3160	.	.	.	.	.	.	.	.	800	.	2900	.	.	5100	.	2796
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	3605	.	2940	.	.	2960	.	3200	.	.	.	.	.	.	.	.	2900	.	3311	.	.	3000	.	2520
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	3605	.	2940	.	.	2960	.	2180	.	.	.	.	.	.	.	.	500	.	4424	.	.	500	.	5004
	4	.	.	.	.	.	.	.	.	3000	.	3000	.	.	2800	.	2600	.	.	.	.	.	.	.	.	500	.	4516	.	.	700	.	4712
	5	.	.	.	.	.	.	.	.	3000	.	3000	.	.	1800	.	2800	.	.	.	.	.	.	.	.	500	.	4469	.	.	601	.	4148
	6	.	.	.	.	.	.	.	.	2900	.	3000	.	.	2600	.	3200	.	.	.	.	.	.	.	.	500	.	2818	.	.	1402	.	4404
	7	.	.	.	.	.	.	.	.	1214	.	3246	.	.	3140	.	3380	.	.	.	.	.	.	.	.	500	.	3008	.	.	2808	.	3368
	8	.	.	.	.	.	.	.	.	2700	.	2920	.	.	2941	.	2380	.	.	.	.	.	.	.	.	500	.	2606	.	.	2202	.	2710
	9	.	.	.	.	.	.	.	.	2700	.	2377	.	.	5200	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	500	.	3194	.	.	3094	.	1492
	10	.	.	.	.	.	.	.	.	1224	.	0	.	.	3200	.	3400	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	2818	.	.	248	.	2904
	11	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	3100	.	.	3242	.	3300	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	3814	.	.	1139	.	3585
	12	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	2066	.	.	0	.	3300	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	601	.	.	232	.	3923

Çizelge 5.13 $xpd(i, p, d, t)$ Değerleri

		$xpd(i, p, d, t)$ Değerleri																														
i	1														2																	
p	1				2				3				4				1				2				3				4			
d	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
t	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17000	12491	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20000	17500	.	.	.	.			
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	24200	13800	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20000	19500	.	.	.	.			
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25820	13980	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	28953	10997	.	.	.	.			
	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25850	13950	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20000	19950	.	.	.	.			
	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	27709	12091	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	22000	20950	.	.	.	.			
	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	22714	13686	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	29100	10000	.	.	.	.			
	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	31737	16343	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	32220	10100	.	.	.	.			
	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	34659	15341	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	31483	11017	.	.	.	.			
	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	22300	11700	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21000	19000	.	.	.	.			
	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	27310	20770	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	36060	12020	.	.	.	.			
	11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	35000	15000	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25000	25000	.	.	.	.			
	12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	24000	10000	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17000	17000	.	.	.	.			

Çizelge 5.14 $xfd(i, f, d, t)$ Değerleri

		$xfd(i, f, d, t)$ Değerleri																															
i		1																2															
f		1				2				3				4				1				2				3				4			
d		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
t	1	.	.	.	.	.	.	5840	6120	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3700	7896	.	.	.	.	.	.	.	.	
	2	.	.	.	.	.	.	6545	6160	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6211	5520	.	.	.	.	.	.	.	.	
	3	.	.	.	.	.	.	6545	5140	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4924	5504	.	.	.	.	.	.	.	.	
	4	.	.	.	.	.	.	6000	5400	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5016	5412	.	.	.	.	.	.	.	.	
	5	.	.	.	.	.	.	6000	4600	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4969	4749	.	.	.	.	.	.	.	.	
	6	.	.	.	.	.	.	5900	5800	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3318	5806	.	.	.	.	.	.	.	.	
	7	.	.	.	.	.	.	4460	6520	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3508	6176	.	.	.	.	.	.	.	.	
	8	.	.	.	.	.	.	5620	5321	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3106	4912	.	.	.	.	.	.	.	.	
	9	.	.	.	.	.	.	5077	5200	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3694	4586	.	.	.	.	.	.	.	.	
	10	.	.	.	.	.	.	1224	6600	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2818	3152	.	.	.	.	.	.	.	.	
	11	.	.	.	.	.	.	3100	6542	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3814	4724	.	.	.	.	.	.	.	.	
	12	.	.	.	.	.	.	2066	3300	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	601	4155	.	.	.	.	.	.	.	.	

Çizelge 5.15 $xrp(i, r, p, t)$ Değerleri

[illegible]

Çizelge 5.17 $xjr(i, j, r, t)$ Değerleri

		$xjr(i, j, r, t)$ Değerleri																															
i	1																2																
j	1				2				3				4				1				2				3				4				
r	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4					
t	1	3750				5080				6400				6450				4530				6040				7550				7650			
	2	4350				5880				7350				7450				4530				6040				7750				7750			
	3	4485				6060				7575				7675				4530				6040				7750				7750			
	4	4485				6060				7575				7675				4530				6040				7750				7750			
	5	4485				6060				7575				7675				4830				6440				8250				8250			
	6	4230				5720				7150				7250				4530				6040				7750				7750			
	7	5106				6888				8610				8710				9120				9120				9360				4680			
	8	5250				7080				8850				8950				9060				9060				9300				4650			
	9	4050				5480				6850				6950				9360				9360				9600				4800			
	10	5106				6888				8610				8710				6848				6848				7008				5256			
	11	5250				7080				8850				8950				7040				7040				7200				5400			
	12	4050				5480				6850				6950				5440				5440				5600				4200			

Çizelge 5.18 $xcj(i, c, j, t)$ Değerleri

		xcj(i, j, r, t) Değerleri																																				
i	1																2																					
c	1				2				3				4				1				2				3				4									
j	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
t	1	3750					5080				.	.		6400			.	.	.		6450	4530						6040					7550					7650
	2	4350					5880				.	.		7350			.	.	.		7450	4530						6040					7750					7750
	3	4485					6060				.	.		7575			.	.	.		7675	4530						6040					7750					7750
	4	4485					6060				.	.		7575			.	.	.		7675	4530						6040					7750					7750
	5	4485					6060				.	.		7575			.	.	.		7675	4830						6440					8250					8250
	6	4230					5720				.	.		7150			.	.	.		7250	4530						6040					7750					7750
	7	5106					6888				.	.		8610			.	.	.		8710	9120						9120					9360					4680
	8	5250					7080				.	.		8850			.	.	.		8950	9060						9060					9300					4650
	9	4050					5480				.	.		6850			.	.	.		6950	9360						9360					9600					4800
	10	5106					6888				.	.		8610			.	.	.		8710	6848						6848					7008					5256
	11	5250					7080				.	.		8850			.	.	.		8950	7040						7040					7200					5400
	12	4050					5480				.	.		6850			.	.	.		6950	5440						5440					5600					4200

Çizelge 5.19 Kurulma Değişkenlerinin Değerleri

		$Z(j, t)$				$Z(r, t)$				$Z(f, t)$				$Z(p, t)$				$Z(d, t)$			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
t	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	7	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	8	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	9	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	10	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	11	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	12	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

Çizelge 5.20 Atama Değişkenlerinin Değerleri

		J				R								P				F				D				C			
		$y(j,r,t) = 1$				$y(r,f,t) = 1$				$y(r,p,t) = 1$				$y(p,d,t) = 1$				$y(f,d,t) = 1$				$y(d,c,t) = 1$				$y(c,j,t) = 1$			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
t	1	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	2	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	3	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	4	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	5	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	6	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	7	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	8	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	9	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	10	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	11	R1	R1	R1	R1	F2	.	.	.	P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4
	12	R1	R1	R1	R1	F2				P3	.	.	.	.	.	D3,D4	.	.	D3,D4	.	.	.	.	C1,C2,C3	C2, C4	C1	C2	C3	C4

5.8 Çıktıların Analizi ve Modelin Doğrulanması

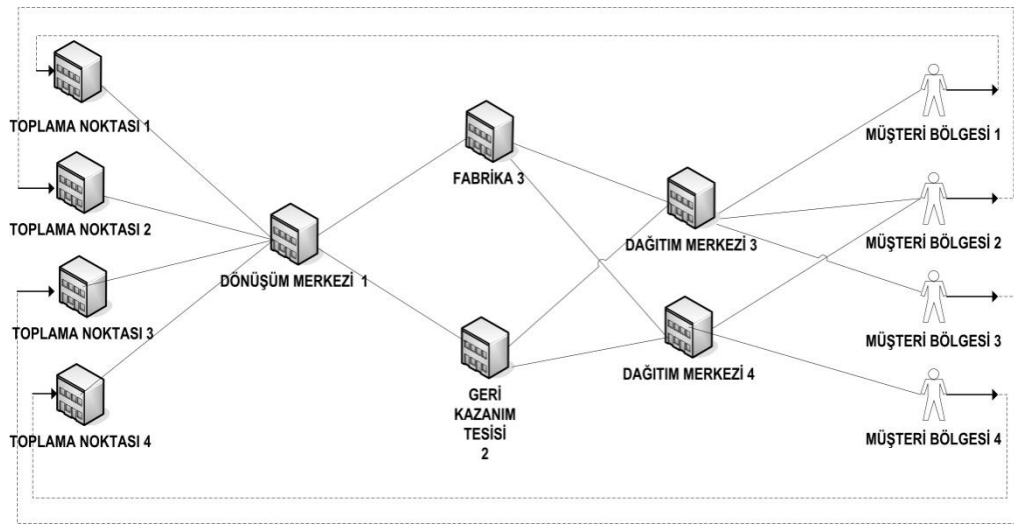
Karar değişkenlerinin aldığı değerler incelendiğinde, bir geri dönüşüm sisteminin var olmasının işletme için kârlı bir seçenek olduğu ortaya çıkmaktadır. Tasarlanan matematiksel modelin çıktıları ise aşağıda özetlenmektedir.

- Dört adet müşteri bölgesinden toplanan iade miktarları düşünüldüğünde, her bir zaman periyodu için her bir müşteri bölgesine bir toplama noktası açılması uygundur. Bu kararın en önemli dayanağı, toplama noktalarının kurulma maliyetleri ve her dönem oluşan sabit işleme maliyetlerinin düşük olmasıdır.
- Dört adet müşteri bölgesinde kurulan toplama noktalarına iade edilen ürünler tek bir dönüşüm merkezine gönderilmektedir. Bu dönüşüm merkezinin seçilmesindeki en önemli etken ise, kurulma maliyeti ve sabit işleme maliyeti en düşük olan dönüşüm merkezi olmasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan veriler incelendiğinde, birinci bölgede kurulmasına karar verilen dönüşüm merkezi taşıma maliyeti açısından en iyi performansı gösteren tesis olmamasına karşın, kurulma ve sabit işleme maliyetlerine ek olarak, değişken işleme maliyetleri açısından en düşük maliyetli olan dönüşüm merkezidir.
- Dönüşüm merkezinde gerçekleştirilen inceleme sonucunda yenilenmesine karar verilen ürünler geri kazanım tesisine gönderilmektedir. Yenilenme yoluyla geri kazanımına karar verilen ürünlerin oranı düşük olduğundan, yenilenmesine karar verilen ürün miktarı da düşük olmaktadır. Bu durum, geri kazanılmış ürün taleplerinin karşılanamamasında da önemli rol oynamaktadır. Yeni ürün talebinin yüksek olması ve iade oranının düşük olması nedeniyle, sadece geri kazanım yoluyla elde edilen bileşen miktarı fabrikanın üretimi için yeterli olmamaktadır. O nedenle, fabrika her dönem her iki bileşen türünden de satın almaktadır.
- Her dönem yenilenme yoluyla geri kazanımına karar verilen ürün miktarının az olması nedeniyle, model tek bir geri kazanım tesisinin kurulmasına karar vermiştir. Bu tesiste geri kazanılan ürünler, müşterilerin geri kazanılmış ürün taleplerini karşılamak üzere dağıtım merkezlerine gönderilmektedir.
- Model kapsamında yeni ürünler ve geri kazanılan ürünler dağıtım merkezleri aracılığıyla müşterilere ulaştırılmaktadır. Bu kapsamda, model iki adet dağıtım merkezinin kurulmasına karar vermektedir. 3.bölgede ve 4.bölgede kurulan dağıtım merkezleri sabit işleme maliyetleri açısından diğer alternatiflere göre daha düşük maliyetlidir. Kurulma maliyetleri açısından, her ne kadar 1. dağıtım merkezi daha

düşük maliyetli olsa da, sabit işleme maliyeti açısından yüksektir. Buna ek olarak, taşıma maliyetleri açısından da birim taşıma maliyeti diğer dağıtım merkezi alternatiflerine nazaran daha yüksektir.

- Her iki ürün türü için, 3. dağıtım merkezi kendi bölgesindeki müşteri bölgesine ve 1. bölgedeki müşteri bölgesine hizmet vermektedir. Dağıtım merkezi 3, 1. ve 3. bölgelerde bulunan müşterilere hizmet vermenin yanı sıra, 2. bölgedeki müşterilere de yeni ürünlerin dağıtımını kapsamında destek vermektedir. Dağıtım merkezi 3 ise, 2. ve 4. Bölgelerde bulunan müşterilere hizmet vermektedir. Dağıtım merkezi 3, kapasite anlamında dağıtım merkezi 4'ten daha fazla ürün bulundurabilmektedir.

Tüm bu sonuçlar ışığında, tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri ağı Şekil 5.13'de verilmektedir.



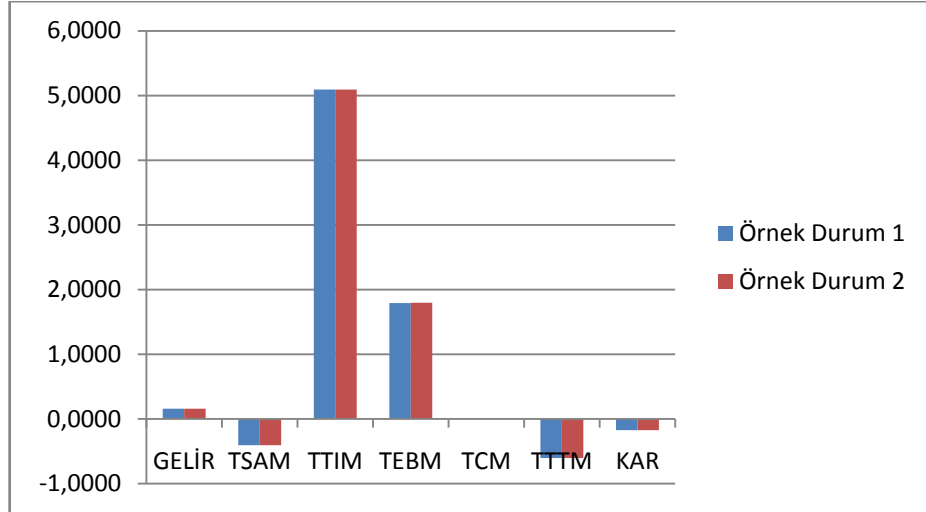
Şekil 5.13 Tasarlanan kapalı çevrim tedarik zinciri modeli

Bu bölümde, modelin çıktılarının incelenmesi ve yorumlanması yanı sıra, modelin doğruluğunun gösterilmesi ve hangi parametrelere karşı daha duyarlı olduğunun incelenmesi için benzetim tekniğinden faydalanılmaktadır. Kurulan modelin bazı parametrelerinin artırılması veya azaltılması durumunda amaç fonksiyonu bileşenlerinde oluşan değişimler irdelenmiştir.

Bu kapsamda, matematiksel modelde yer alan ve sonuçların değişiminde etkili olabilecek müşterilerden toplanan iade ürünlerin miktarıyla ilişkili iade oranları, iade edilen ürünlerin kalite durumlarına bağlı olarak yenilenme yoluyla geri kazanımına karar verilen ürünlerin miktarının belirlenmesinde önemli rol oynayan yenilenme oranları, kalite durumunun yetersiz olması nedeniyle de-montajına karar verilen ürünlerden malzeme geri kazanımı yoluyla üretilen malzeme miktarının belirlenmesinde önemli rol oynayan tersine üretim

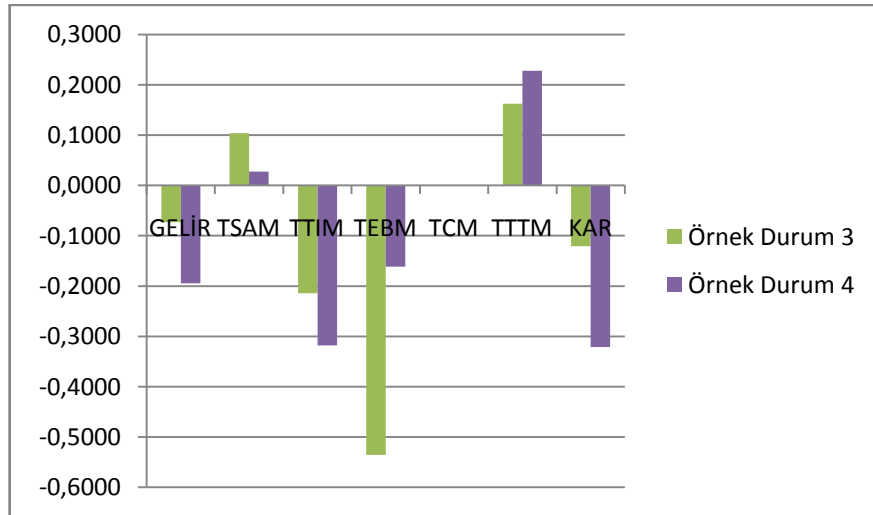
oranlarının değişimi durumunda modelin çıktılarında nasıl bir değişim gerçekleştiği bu bölümde incelenmektedir. İncelenen tüm örnek durumlar şöyle sıralanabilir:

- (1) rnek Durum 1: Modelde verilen yenilenme oranlarının bağımsız değişkenlerden oluşan poplsyonun bir rneği olduğunu varsayarak, poplsyonun standart sapması ve ortalaması tahmin edilir. Yenilenme oranları, bu poplsyonun normal dağılıma uyduğunu varsayarak, benzetim tekniği uygulandığı durumu temsil eder.
- (2) rnek Durum 2: rnek durum 1’de verilen şartlara ek olarak, tersine üretim oranlarının bağımsız değişkenlerden oluşan poplsyonun bir rneği ve normal dağılıma uyduğu varsayımıyla, benzetim tekniğinin uygulandığı durumu temsil eder.
- (3) rnek Durum 3: Modelde verilen yenilenme oranlarının bağımsız değişkenlerden oluşan poplsyonun bir rneği olduğunu varsayarak, örnekteki en düşük ve en yüksek değer poplsyonun en düşük ve en yüksek değeri kabul edilir. Yani, düzgün dağılım esas alınarak, değişkenler, aralıktaki tüm değerlerden eşit olasılıkla alınır. Yenilenme oranları, bu poplsyonun düzgün (tek biçimli) dağılıma uyduğunu varsayarak, benzetim tekniği uygulandığı durumu temsil eder.
- (4) rnek Durum 4: rnek durum 3’de verilen şartlara ek olarak, tersine üretim oranlarının bağımsız değişkenlerden oluşan poplsyonun bir rneği ve düzgün dağılıma uyduğu varsayımıyla, benzetim tekniğinin uygulandığı durumu temsil eder.
- (5) rnek Durum 5: İade edilen ürün miktarının belirlenmesinde etkili olan iade oranının arttırılması durumunda, sistemin performans göstergeleri üzerinde oluşan etkilerin incelendiği durumdur.
- (6) rnek Durum 6: rnek durum 5’de incelenen durumun tersine, iade oranının azaltılması durumunda, modelin performans göstergelerinde oluşan değişimin incelendiği durumdur.



Şekil 5.14 Örnek durum 1 ve 2 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi

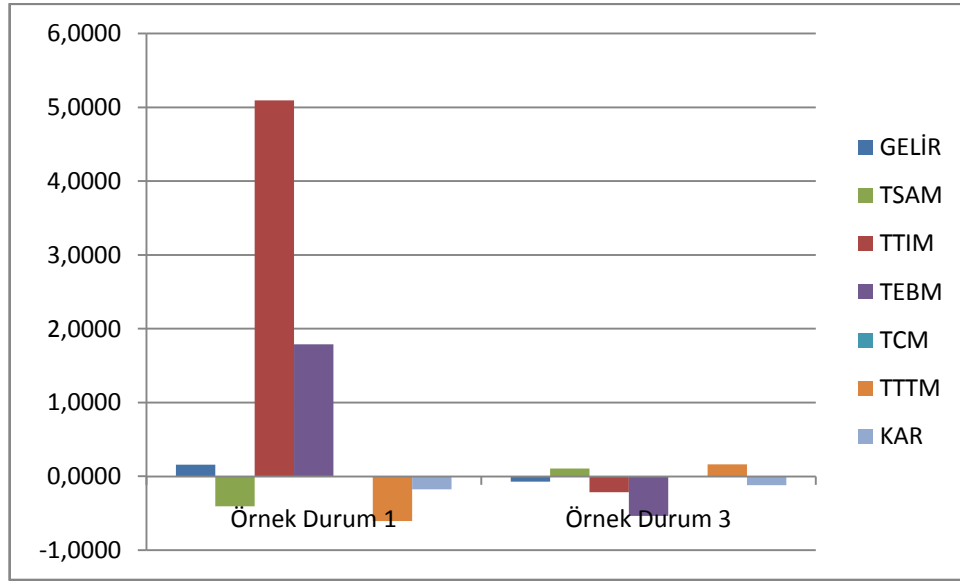
Örnek durum 1 ve 2’de gerçekleşen değerler incelendiğinde, her iki değişken popülasyonunun normal dağılıma uyduğu varsayımıyla elde edilen sonuçlar gelirden küçük bir artış, toplam işleme maliyeti, toplam elde bulundurma ve depolama maliyetinde ise belirgin bir artış, toplam taşıma maliyetinde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir. Hem yenilenme oranının hem de tersine üretim oranının değiştirilmesi ile yalnızca yenilenme oranının değiştirilmesi arasında ise önemli bir fark olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.15 Örnek durum 3 ve 4 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi

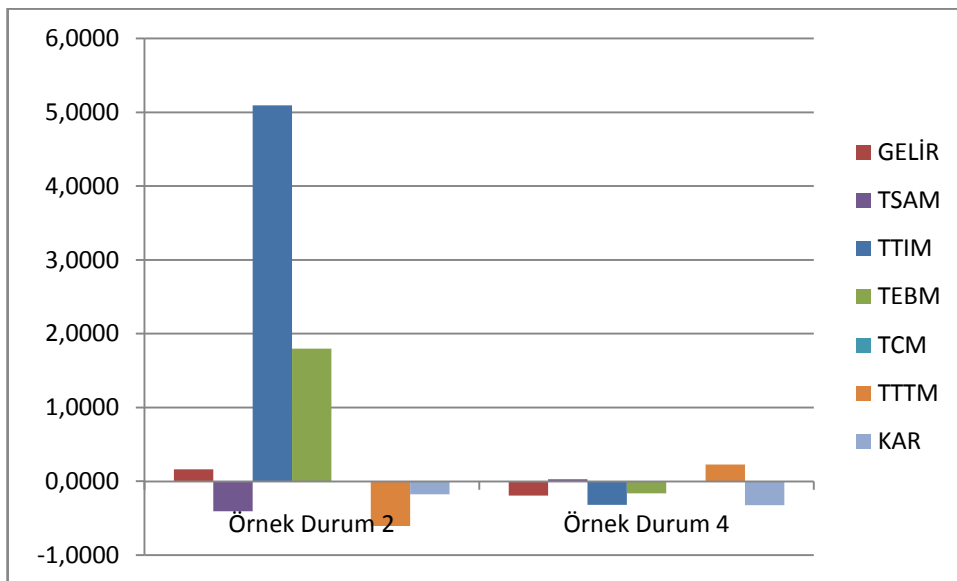
Örnek durum 3 ve 4’de gerçekleşen değerler incelendiğinde, her iki değişken popülasyonunun düzgün dağılıma uyduğu varsayımıyla elde edilen sonuçlar, gelirden, toplam işleme maliyeti, toplam elde bulundurma ve depolama maliyetinde azalma, toplam taşıma maliyetinde belirgin bir artış ve dolayısıyla kâr göstergesinde de azalma meydana geldiği görülmektedir. Hem yenilenme oranının hem de tersine üretim oranının değiştirilmesi ile yalnızca yenilenme

oranının değiştirilmesi durumları birbirlerine benzer davranış sergilemekte, fakat etkilerin şiddeti arasında farklar oluşmaktadır. Bu durum, değişimlerin etkilerinin kâr göstergesinden de anlaşılacağı gibi örnek durum 4'te daha şiddetli olduğu görülmektedir.



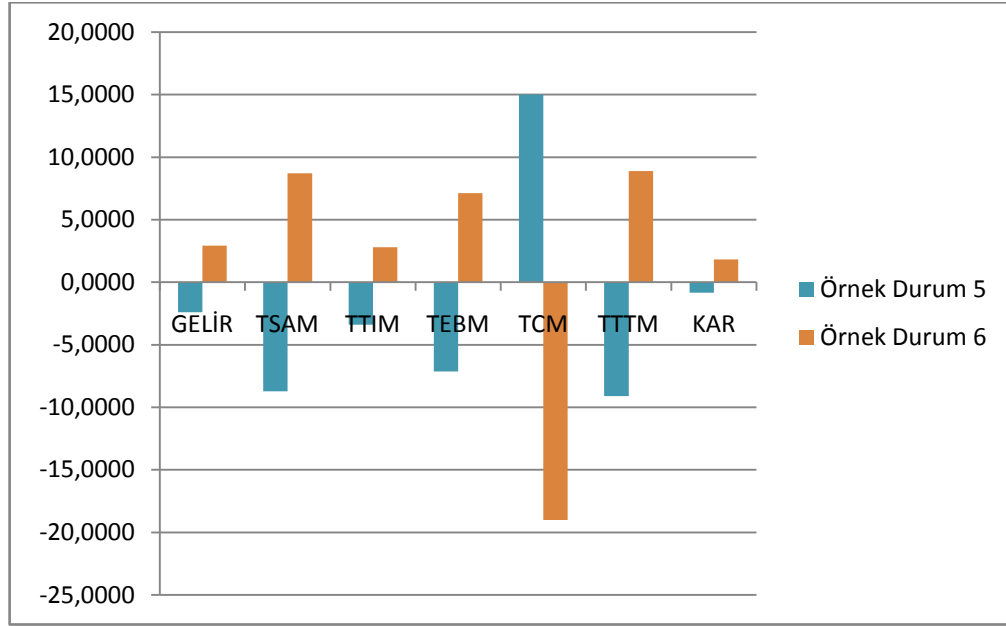
Şekil 5.16 Örnek durum 1 ve 3 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi

Örnek durum 1 ve 3'te gerçekleşen değerlerde meydana gelen değişimler incelendiğinde, yenilenme oranını temsil eden değişkenlerin oluşturduğu popülasyonun normal dağılımla ve düzgün dağılımla temsil edilmesi durumunda, modelin performans göstergelerinde meydana gelen değişimler Şekil 5.16'da verilmektedir. Şekil 5.16, optimal çözüme göre meydana gelen değişimler incelendiğinde, sistemin örnek durum 2 tarafından daha iyi temsil edildiği gözlenmektedir.



Şekil 5.17 Örnek durum 2 ve 4 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi

Şekil 5.17, bir önceki değerlendirmeye benzer şekilde, örnek durum 2 ve 4'te gerçekleşen değerlerde meydana gelen değişimlerin, hem yenilenme oranını hem de tersine üretim oranını temsil eden değişkenlerin oluşturdukları kümenin normal dağılımla ve düzgün dağılımla temsil edilmesi durumunda, modelin performans göstergelerinde meydana gelen değişimler incelenmektedir. Şekil 5.17, en uygun çözüme göre meydana gelen değişimler incelendiğinde, sistemin örnek durum 4 tarafından daha iyi temsil edildiği gözlenmektedir.

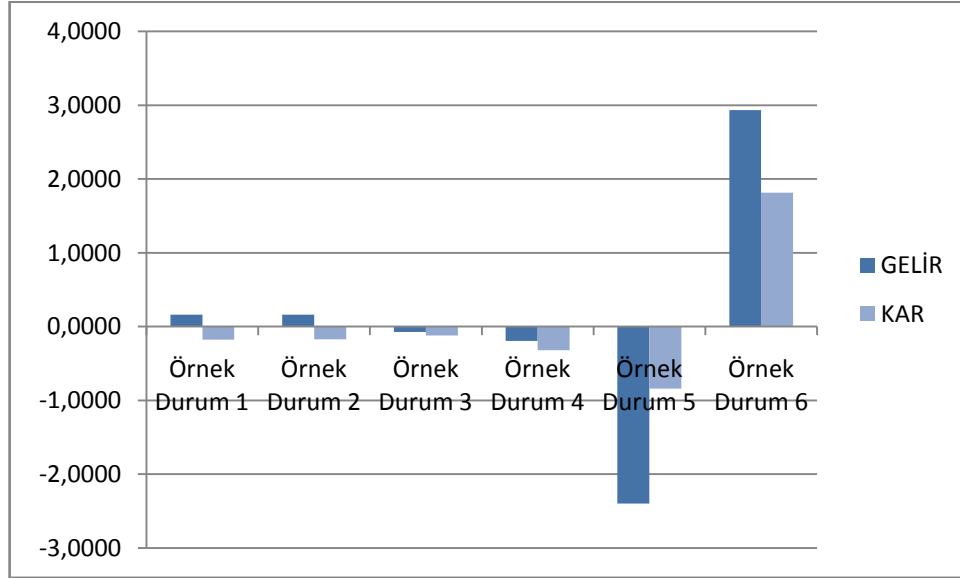


Şekil 5.18 Örnek durum 5 ve 6 için performans göstergelerindeki değişim yüzdesi

Örnek durum 5 ve 6, iade oranlarının değiştirilmesi durumunda modelin çıktılarında meydana gelen değişimi incelemek amacıyla hazırlanmıştır. Örnek durum 5, toplama noktalarına gelen iade ürünlerin miktarının belirlenmesine rol alan en önemli parametrelerden biri olan iade oranlarının her bir dönem için %20 azalması durumunda modelin nasıl çıktılar üreteceğini araştırmaktadır. Şekil 5.18'de yer alan en uygun çözüme göre oluşan yüzde değişimlerin görüldüğü grafikte gelirin ve kârın azaldığı, toplam ceza maliyetinin ise karşılanamayan geri kazanılmış ürün talebinin artması nedeniyle arttığı gözlenmektedir. Dolayısıyla, iade oranlarının azalması durumunda, tasarlanan tedarik zincirinin kârlılığının azalmasını önlemek amacıyla, tedarik zinciri yöneticilerinin iade edilen ürün miktarını koruma ve artırma yönünde stratejiler geliştirmesi uygundur.

Örnek durum 6, toplama noktalarına gelen iade ürünlerin miktarının belirlenmesine rol alan en önemli parametrelerden biri olan iade oranlarının her bir dönem için %20 artırılması durumunda modelin nasıl çıktılar üreteceğini araştırmaktadır. Optimal çözüme göre oluşan

yüzde değişimler, Şekil 5.18’de yer alan grafikte gösterilmektedir. Buradan elde edilen verilere göre; iade oranlarının arttırılması, kârın artması, gelirin artması ve karşılanamayan geri kazanılmış ürün taleplerinin azalması sonuçlarını üretmektedir. Karşılanamayan geri kazanılmış ürün taleplerinin azaltılması, müşterilere daha çok ürün satılması ve ceza maliyetlerinin azaltılması anlamında mevcut sistemin geliştirilmesinde önemli katkı sağlayacak iade oranının arttırılması konusu, tedarik zincirinin kârı arttırma konusunda yoğunlaşma gerektiren en önemli parametrelerden biridir.



Şekil 5.19 Tüm örnek durumların gelir ve kâr açısından optimal çözümden sapmaları

Tüm örnek durumlar için, gelir ve kâr performans göstergelerinde optimal çözüme göre oluşan yüzde değişimler Şekil 5.19’da verilen grafikte görülmektedir. Bu grafikte, her bir durumun gelir ve kâr üzerindeki etkileri izlenebilmektedir. Buradan hareketle, tasarlanan tedarik zinciri için iade oranı parametresinin kâr arttırma stratejileri oluşturulurken göz önünde bulundurmak gerekir.

Tüm bu sonuçlara ek olarak, iade oranının artırılması matematiksel modelde yer alan ikinci amaç fonksiyonunda taleplerin karşılanması yoluyla müşteri tatmininin arttırılmasına da katkıda bulunmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayileşmenin gelişmesiyle birlikte, doğadaki kaynakların kullanımının ve doğaya verilen zararın artması yeryüzünün yaşanabilir şartlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukların başında, son yüzyılda hava kirliliği oranının artması, enerji ve hammadde kaynaklarının azalması ve artan çevre kirliliği oranı gelmektedir.

Bu durum, çeşitli sivil toplum kuruluşlarını ve dünya ülkelerini çevre duyarlılığı konusunda çalışmalar yapmaya yöneltmiştir. Bu çalışmalar dünyanın yaşanabilir şartlarının devamını sağlayacak çeşitli önlemler alınması gerekliliğini ortaya koymuştur. İlgili önlemleri içeren çevreye duyarlı stratejileri üretmek için, başta Amerika Birleşik Devletleri ve bazı Avrupa ülkelerinde (Almanya) olmak üzere, birçok ülkede çeşitli ulusal ve uluslararası kurumlar kurulmuştur. Tüm bu çabalar, çevreye duyarlı sistemlerin tasarımını ve çevreye duyarlı ürünlerin geliştirilmesini desteklemek amacıyla hizmet için gerçekleştirilmektedir.

Büyüközkan ve Erkut (2008) çalışmalarında, bir kurumu çevreye duyarlı politikalar üretmeye ve uygulamaya teşvik eden dört temel gücün önemini vurgulamışlardır. Kurumları çevreye duyarlı veya yeşil uygulamalara iten en önemli gücün devlet, yani onları ikna edecek yasal zorunluluklar olduğunu belirtmişlerdir. Diğer bir faktör ise, çevresel anlamda yanlış yönetimler sonucu kurumların karşılaşılabilecekleri olumsuz finansal veya yasal sonuçlardır (Büyüközkan ve Erkut, 2008). Ayrıca, tüketiciye ürünün sunulması aşamasına kadar geçen tüm lojistik, üretim, montaj gibi süreçlerde oluşabilecek hataların en aza indirilmesiyle hem daha az atık oluşumuyla çevreye verilen zararın, hem de gerçekleşen maliyetlerin azaltılması sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, toplumda kazanılan çevresel bilinç ile tüketicilerin tercihlerinin değiştiği görülmekte ve çevresel duyarlılık anlamında talepleri kurumlar tarafından ihmal edilemeyecek boyutlara yükselmektedir. Tüm bu gelişmeler, işletmelerin rekabet stratejilerini çevresel anlamda da geliştirme gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, enerji ve hammadde kaynaklarının tasarruflu kullanılması, kaynak alternatiflerinin artırılması ve doğaya verilen zararın azaltılması konuları ülkelerin önemli politikalarını oluşturmaktadır. Bu politikaların oluşturulmasında ve uygulanmasında, sivil toplum kuruluşlarına ve sanayiye önemli görevler düşmektedir. Bu anlamda, bir ürünün yaşam çevriminde ilk aşama olan kavramsal tasarım aşamasından başlayarak, çevreye duyarlı ürünler üretmek üzere; yenilenemeyen kaynakların kullanımının azaltılması, yeniden dönüştürülebilen malzemelerin tercihi, standart malzemelerin kullanılması ve bileşen çeşidinin azaltılması seçenekleri değerlendirilmelidir. Ürünün tasarım aşamasında başlayan bu

çevreye duyarlı ürünlerin üretilmesinin yanı sıra, çevreye duyarlı sistemler tasarlanmasıyla devam edilmelidir. Çevreye duyarlı üretim ve lojistik sistemlerinin tasarlanmasıyla, çevreye duyarlı tedarik zincirlerinin tasarlanmasının önü açılmış olur.

Çevreye duyarlı tedarik zincirleri, kapalı çevrim tedarik zincirleri veya yeşil tedarik zincirleri olarak da anılmaktadır. Bu çalışmada, kapalı çevrim tedarik zinciri terimi kullanılmakta olup, kapalılık terimiyle zincirin azami derecede kapalı olması temsil edilmektedir. Özetle, zincirin dışına çıkan atık, enerji ve yenilenemeyecek herhangi bir kaynak miktarını azaltmak kapalı çevrim tedarik zincirinin öncelikli hedeflerindendir. Kapalı çevrim tedarik zinciri, bir ürünün yaşam çevrimi boyunca sadece ekonomik değer oluşturmak yerine, ekonomik değer ile birlikte çevresel değer oluşturmayı öngörmektedir.

Kapalı çevrim tedarik zincirinin önemini vurgulayan ve tasarımının etkin gerçekleştirilmesi için bir çalışma metodolojisi içeren bu çalışma, gerek literatüre kazandırdığı yenilikler açısından gerekse sanayide uygulanabilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, ileri tedarik zinciri, tersine tedarik zinciri, geri kazanım ağları ve birbiriyle bütünleştirilmesi konusunu anlatmak üzere, kavramsal açıklamalarına ve literatürde yer alan çalışmaların detaylı bir derlemesine yer verilmektedir. Benzer şekilde, bu tür tedarik zinciri problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler incelenmekte ve çözüm için önerilen modellerin yapısına bağlı olarak açıklanmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan kapalı çevrim tedarik zinciri modeli, müşterinin çeşitli yollardan memnuniyetini içeren amaç fonksiyonlarını ve çeşitli maliyet bileşenlerinin değerlendirildiği kârı ifade eden amaç fonksiyonunu içermektedir. Dolayısıyla, oluşturulan matematiksel model birden çok amacın öncelikli bir yapı dâhilinde çözümünü önermektedir. Bununla birlikte, matematiksel model tesislerin kurulmasına, bu tesislere ve müşterilere ürünlerin dağıtılmasına, satın alınacak hammadde miktarlarına karar vermektedir. İşleme maliyeti kapsamında, tüm tedarik zinciri boyunca ürün üzerinde gerçekleştirilen de-montaj, montaj, tersine üretim, inceleme ve ayıklama ve yenileme faaliyetlerinin tamamı göz önünde bulundurulmuştur. Her bir tedarik zinciri bileşeninden (toplama noktası, dönüşüm merkezi, geri kazanım tesisi, fabrika, dağıtım merkezi, müşteri) kendinden sonra gelen diğer bir tedarik zinciri bileşenine yapılacak taşıma miktarlarına karar vermektedir.

Görüldüğü üzere, incelenen karar verme problemi çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu nedenle, ürün çevrim zamanının kısaltılması, herhangi bir tesisin kendisiyle ilişkili bir başka tesisle aynı bölgede kurulması durumunda elde edilebilecek tasarruf, iade edilen ürünlerin kalitelerine göre sınıflandırılması sürecinin yapılandırılması, iade ürünlerin miktarını

dengeleyecek stratejiler ve dış kaynak kullanımı konusunun değerlendirilmesi bu çalışmanın gelecekte geliştirilme açılarından bazılarıdır.

Bununla birlikte, problemin çözümünün gerçekleştirilmesinde sezgisel yöntemlerin kullanılması ve bu yöntemlerinin performanslarının izlenmesi sayesinde daha hızlı ve iyi çözümler elde edilebilir. Benzer şekilde, kullanılan sezgisel algoritmaların performanslarını artıracak yeni hesaplama yöntemleri geliştirme ihtiyacı oldukça fazladır.

Sezgisel algoritmaların yanı sıra, bu tür kapalı çevrim tedarik zinciri problemlerinin çözümünde kullanımının uygun olabileceğine inandığım sistem dinamiği yaklaşımıdır. Sistem dinamiği, karmaşık sistemlerin zaman içindeki davranışlarını inceleyen ve geri besleme ve gecikmeli tepkilerin sistem davranışı üzerindeki etkilerini ortaya koyma anlamında yüksek değer yaratan bir yaklaşım olması nedeniyle, bu problemin doğası için oldukça uygundur.

KAYNAKLAR

- Aitken, J., Childerhouse, P. ve Towill, D., (2003), "The impact of product life cycle on supply chain strategy", *International Journal of Production Economics*, 85(2) :127-140.
- Anglani, A., Grieco, A., Guerriero, E. ve Musmanno, R., (2005), "Robust scheduling of parallel machines with sequence-dependent set-up costs", *European Journal of Operational Research*, 161(3): 704-720.
- Antonio, K.W. ,Yam,L. ve Tang, E., (2007), "The impacts of product modularity on competitive capabilities and performance: An empirical study", *International Journal of Production Economics*, 105 (1): 1-20.
- Aras, N., Aksen, D., ve Tanugur, A.G.,(2008), "Locating Collection Centers for Incentive-Dependent Returns Under A Pick-Up Policy With Capacitated Vehicles", *European Journal of Operational Research*, 191(3): 1223-1240.
- Aurich, J.C., Fuchs, C. ve Wagenknecht, C., (2006), "Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems", *Journal of Cleaner Production*, 14 (17): 1480-1494.
- Barros, A. I., Dekker, R. ve Scholten, V., (1998), "A Two-Level Network For Recycling Sand: A Case Study", *European Journal of Operational Research*, 110(2):199-214.
- Barton, P.I. ve Selot, A., (2007), "A production allocation framework for natural gas production systems", *Computer Aided Chemical Engineering*, 24:539-544.
- Bautista, J. ve Pereira, J., (2006), "Modeling The Problem of Locating Collection Areas For Urban Waste Management: An Application to The Metropolitan Area of Barcelona", *Omega*, 34 (6): 617-629.
- Beale, E.M.L., (1977), "Integer Programming in The State of the Art in Numerical Analysis", Academic Press, London, 409-448.
- Beamon, B.M. ve Fernandes, C., (2004), "Supply-chain network configuration for product recovery", *Production Planning and Control*, 15(3): 270–281.
- Beamon, B.M., (1998), "Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods", *International Journal of Production Economics*, 55(3): 281-294.
- Bhagwat, R., ve Sharma, M.K., (2007), "Performance Measurement of Supply Chain Management: A Balanced Scorecard Approach", *Computers & Industrial Engineering*, 53 (1): 43-62.

Biehl, M., Prater, E., ve Realff, M.J., (2007), "Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems", *Computers & Operations Research*, 34(2): 443-463.

Blackhurst, J., Wu, T., ve O'Grady, P., (2005), "PCDM: a decision support modeling methodology for supply chain, product and process design decisions", *Journal of Operations Management*, 23:325-343.

Büyüközkan, G. ve Erkut, E., (2008), *Kalite Fonksiyonu Göçerimi Temelli Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi Tasarımı*, YAEM 2008 Kongresi, 30 Haziran- 2 Temmuz, İstanbul.

Chandra, C. ve Grabis, J., (2007), "Supply Chain Configuration Concepts, Solutions, and Applications", Springer Science, New York.

Chen, H., (1994), "A note on a fuzzy goal programming algorithm by Tiwari, Dharmar, and Rao", *Fuzzy Sets and Systems*, 62(3) :287-290.

Chen, L. ve Tsai, F., (2001), "Fuzzy goal programming with different importance and priorities", *European Journal of Operational Research*, 133(3): 548-556.

Chen,C. ve Lee, W.,(2004), "Multi-Objective Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Networks with Uncertain Product Demands and Prices", *Computers & Chemical Engineering*, FOCAPO2003 Special Issue, 28 (6-7): 1131-1144.

Chiang, W.K., ve Monahan, G.E, (2005), "Managing inventories in a two-echelon Dual-Channel Supply Chain", *European Journal of Operational Research*, 162 (2): 325-341.

Cousins, P.D. ve Menguc, B., (2006), "The Implications of Socialization and Integration in Supply Chain Management", *Journal of Operations Management*, 24(5): 604-620.

Çetinsaya, V., (2004), "Çok Kriterli Kaynak Tahsisi Problemlerinin Optimizasyonunda Bulanık Karar verme Yöntemlerinin Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Danışman: Prof. Dr. Hüseyin Başlıgil.

Daniel, S.E., Voutsinas, T.G. ve Pappis, C.P., (1999), "Implementation of Life Cycle Analysis in the Starter Batteries, Reverse Chain", Çalışma Yayını, Piraes Üniversitesi.

De Brito, M. ve Dekker, R. (2002), "Reverse Logistics- a Framework", *Econometric Institute Report EI 2002-38*.

De la Fuente, LM.V., Ros, L., ve Cardos, M., (2008), "Integrating Forward and Reverse Supply Chains: Application to a Metal-Mechanic Company", *International Journal of*

Production Economics, Special Section on Sustainable Supply Chain, 111(2): 782-792.

Del Castillo, T.G. ve Cochran, J.K., (1996), "Optimal Short Horizon Distribution Operations in Reusable Containers", Journal of The Operational Research Society, 47: 48-60.

Duran, M.A. ve Grossmann, I.,E., (1986). "An Outer Approximation Algorithm for a Class of Mixed Integer Nonlinear Programs," Mathematical Programming 36: 307-339.

Ehrgott, M. ve Gandibleux, X., (2002), "Multiple Criteria Optimization: State of the Art Annotated Bibliographic Survey", International Series in Operations Research and Management Science 52, Kluwer Academic Publishers, Boston.

Fine, C.H., Golany, B., ve Naseraldin, H., (2005), "Modeling Tradeoffs in Three-Dimensional Concurrent Engineering: A Goal Programming Approach", Journal of Operations Management, 23: 389-403.

Fixson, S.K., (2005), "Product Architecture Assessment: A Tool to link Product, Process, and Supply Chain Design Decisions", Journal of Operations Management, Coordinating Product Design, Process Design and Supply Chain Design Decisions, 23(3-4): 345-369.

Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M., ve Van Wassenhove, L.N., (2001), "The impact of product recovery on logistics network design", Production and Operations Management, 10(2): 156-172.

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

Fleischmann, M., Krikke, H., Dekker, R., ve Flapper, S.D., (2000), "A characterisation of logistics networks for product recovery", Omega, 28: 653-666.

Floudas, C.A., (1995), "Nonlinear and Mixed-Integer Optimization: Fundamentals and Applications", Oxford University Press, Newyork.

French, M.L., ve LaForge, R.L., (2006), "Closed-loop supply chains in process industries: An empirical study of producer re-use issues", Journal of Operations Management, 24(3): 271-286.

Garavelli, A.C., (2003), "Flexibility configurations for the supply chain management", International Journal of Production Economics, 85: 141-153.

Garg, A., (1999), "An Application of Designing Products And Processes For Supply Chain

Management”, IIE Transactions, 31: 417-429.

Garud, R., Kumaraswamy, A., ve Langlois, R. N. (2003), “Managing in The Modular Age”, Blackwell Publishers, MA, USA.

Geoffrion, A.M., (1972), “Generalized Benders Decomposition”, Journal of Optimization Theory and Applications, 10 (4), 237-260.

Graves, S.C., ve Willems, S.P., (2003), “Supply Chain Design: Safety Stock Placement and Supply Chain Configuration”, Handbooks in Operations Research and Management, Science Elsevier, 95-132.

Grossman, I. E., (1990), “Mixed-Integer Nonlinear Programming Techniques for the Synthesis of Engineering Systems”, Research in Engineering Design, 1: 205-228.

Guide, V.D.,R., Harrison, T.P., ve Van Wassenhove, L.,N., (2003a), “The Challenge of Closed-Loop Supply Chains”, Interfaces, 33: 3-6.

Guide, V.D.R. ve Van Wassenhove, L. N., (2001), “Managing product returns for remanufacturing”, Production Operations Management, 10:142-154.

Guide.,V. D. R., Jayaraman, V., ve Linton, J. D., (2003b), “Building Contingency Planning for Closed-Loop Supply Chains with Product Recovery”, Journal of Operations Management, 21 (3): 259-279.

Gunasekaran, A., Patel, C., ve McGaughey, R.,E., (2004), “A Framework for Supply Chain Performance Measurement”, International Journal of Production Economics, Supply Chain Management for the 21st Century Organizational Competitiveness, 87 (3): 333-347.

Gunasekaran, A., ve Ngai, E.W.T., (2005), “Build-to-order Supply Chain Management: A Literature Review and Framework for Development”, Journal of Operations Management, The Build to Order Supply Chain (BOSC), 23 (5): 423-451.

Gupta, S. M. ve Pochampally, K.K., (2004), “Crucial Issues In Closed-Loop Supply Chain Design”, Second World Conference on POM and 15th Annual POM Conference, Cancun, Mexico, Nisan 30 - Mayıs 3, 2004.

Güngör, A., ve Gupta, S.M., (1999), “Issues in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery: A Survey”, Computers & Industrial Engineering, 36 (4): 811-853.

Hannan, E.L., (1981), “Linear programming with multiple fuzzy goals”, Fuzzy Sets and Systems, 6(3): 235-248.

- Hillegersberg, J. Zuidwijk, R., Nunen, J. ve Eijk, D., (2001), "Supporting Return Flows in The Supply Chain", *Communications Of The ACM*, 44(6):74-79.
- Hu, C., Shen, Y. ve Li, S., (2009), "An interactive satisficing method based on alternative tolerance for fuzzy multiple objective optimization", *Applied Mathematical Modelling*, 33 (4): 1886-1893.
- Hu, C., Teng, C. ve Li, S., (2007), "A Fuzzy Goal Programming Approach To Multi-Objective Optimization Problem with Priorities", *European Journal of Operational Research*, 176(3): 1319-1333.
- Huang, G. G. Q., Zhang, X. Y. ve Liang, L., (2005), "Towards Integrated Optimal Configuration Of Platform Products, Manufacturing Processes, and Supply Chains", *Journal of Operations Management*, 23(3-4): 267-290.
- Hugos, M., (2006), "Essentials of Supply Chain Management", Second Edition, John Wiley and Sons Inc, Hoboken, New Jersey, USA.
- Hwang, Y., Lin, Y. ve Lyu Jr., J., (2008), "The Performance Evaluation of SCOR Sourcing Process: The Case Study of Taiwan's TFT-LCD Industry", *International Journal of Production Economics, Institutional Perspectives on Supply Chain Management*, 115(2): 411-423.
- Islam, S. ve Roy, T.R., (2006), "A new fuzzy multi-objective programming: Entropy based geometric programming and its application of transportation problems", *European Journal of Operational Research*, 173(2):387-404.
- Javadi, B., Saidi-Mehrabad, M., Haji, A., Mahdavi, I., Jolai, F. ve Mahdavi-Amiri, N., (2008), "No-wait flow shop scheduling using fuzzy multi-objective linear programming", *Journal of the Franklin Institute*, 345(5): 452-467.
- Jayaraman V., Guide, Jr. V.D.R. ve Srivastava R., (1999), "A Closed-Loop Logistics Model for Remanufacturing", *Journal of the Operational Research Society*, 50: 497-508.
- Jayaraman, V., Patterson, R.A. ve Rolland, E., (2003), "The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures", *European Journal of Operational Research*, 150(1): 128-149.
- Kahraman, C., (2007), "Fuzzy decision-making applications", *International Journal of Approximate Reasoning Fuzzy Decision-Making Applications*, 44 (2) : 91-92.
- Kainuma, Y. ve Tawara, N., (2006), "A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management", *International Journal of Production Economics*, 101(1):

99-108.

Kainuma, Y. ve Tawara,N., “A Multiple Attribute Utility Theory Approach To Lean And Green Supply Chain Management”, *International Journal of Production Economics*, 101(1): 99-108.

Karaman,A. ve Altıok, T.,(2009), “Approximate Analysis and Optimization of Batch Ordering Policies in Capacitated Supply Chains”, *European Journal of Operational Research*, 193(1): 222-237.

Kim, J. ve Whang, K., (1998), “A tolerance approach to the fuzzy goal programming problems with unbalanced triangular membership function”, *European Journal of Operational Research*, 107(3): 614-624.

Kleijnen, J. P. C. ve Smits, M. T., (2003), “Performance Metrics in Supply Chain Management”. *Journal of Operations Research Society*, 54: 507–514.

Ko, H.J., ve Evans, G.W., (2007) “A Genetic Algorithm-Based Heuristic for The Dynamic Integrated Forward/Reverse Logistics Network for 3PLs”, *Computers & Operations Research*, 34 (2): 346-366.

Kopicki, R., Berg, M.J., Legg, L., Dasappa, V. and Maggioni, C. (1993), “Reuse and Recycling – Reverse Logistics Opportunities”, Council of Logistics Management, Oak Brook, IL, USA.

Krikke H.R., Van Harten A. ve Schuur P.C., (1999), “Business Case Oce: Reverse logistics Network Re-design for Copiers”, *OR Spektrum*, 21(3): 381-409.

Krikke, H. R. R., Bloemhof-Ruwaard, J.M., ve Van Wassenhove, L.N., (2001a), “Design of Closed Loop Supply Chains, ERIM Report Series Reference No. ERS-2001-45-LIS.

Krikke, H. R. R., Pappis, C.P., Tsoufias, G.T. ve Bloemhof-Ruwaard, J.M., (2001b), Design Principles for Closed Loop Supply Chains, ERIM Report Series Reference No. ERS-2001-62-LIS.

Kumar,S. ve Malegeant,P., (2006), “Strategic Alliance in a Closed-Loop Supply Chain: A Case of Manufacturer and Eco-Non-Profit Organization”, *Technovation*, 26 (10): 1127-1135.

Lai, K., Ngai, E.W.T. ve Cheng, T.C.E., (2004), “An Empirical Study of Supply Chain Performance in Transport Logistics”, *International Journal of Production Economics*, 87(3): 321-331.

- Lee,D., ve Dong, M., (2008), “A Heuristic Approach to Logistics Network Design for End-of-Lease Computer Products Recovery”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3): 455-474.
- Li, H. ve Yu, C., (1999), “Comments on 'Fuzzy programming with nonlinear membership functions.'”, *Fuzzy Sets and Systems*, 101(1):109-113.
- Li, X, Zhang, B. ve Li, H., (2006), “Computing efficient solutions to fuzzy multiple objective linear programming problems”, *Fuzzy Sets and Systems*, 157(10): 1328-1332.
- Lieckens, K., ve Vandaele, N., (2007), “Reverse Logistics Network Design with Stochastic Lead Times”, *Computers & Operations Research*, 34 (2): 395-416.
- Listeş,O., (2007), “A Generic Stochastic Model for Supply-and-Return Network Design”, *Computers & Operations Research*, 34 (2):417-442.
- Lin, C. ve Chen, A.P., (2002), “Generalization of Yang et al.'s method for fuzzy programming with piecewise linear membership functions”, *Fuzzy Sets and Systems*, 132 (3): 347-352
- Lockamy, A. ve McCormack K., (2004), “Linking SCOR planning practices to supply chain performance: An Exploratory Study”, *International Journal of Operations and Production Management*, 24(12): 1192-1218.
- Louwers, D., Kip, B.J., Peters, E., Souren, F., ve Flapper, S.D.P., (1999), “A facility location allocation model for reusing carpet materials”, *Computers & Industrial Engineering*, 36(4): 855-869.
- Lu, Z. ve Bostel, N., (2007), “A Facility Location Model for Logistics Systems Including Reverse Flows: The case of Remanufacturing Activities”, *Computers and Operations Research*, 34 (2): 299-323.
- Luo, Z., Chen, L., Yang, J., Zhang, Y. ve Abdel-Malek, K., (2006), “Fuzzy Tolerance Multilevel Approach For Structural Topology Optimization”, *Computers and Structures*, 84 (3-4): 127-140.
- Max Shen, Z. ve Qi, L., (2007), “Incorporating Inventory and Routing Costs in Strategic Location Models”, *European Journal of Operational Research*, 179 (2): 372-389.
- McNeil, S.J., Sunderland, M.R., ve Zaitseva, L.I., (2007), “Closed-loop wool carpet recycling”, *Resources, Conservation and Recycling*, 51(1): 220-224.
- Meixell, M.,J. ve Gargeya,V.B, (2005), “Global supply Chain Design: A Literature Review

and Critique”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41 (6): 531-550.

Melo, M.T., Nickel, S. ve Saldanha-da-Gama, F., (2009), “Facility Location and Supply Chain Management - A Review”, *European Journal of Operational Research*, 196(2): 401-412.

Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N., W., Smith, C.D. ve Zacharia, Z.G., (2001), “Defining Supply Chain Management”, *Journal of Business Logistics*, 22 (2): 1-26.

Miemczyk, J., (2008), “An Exploration of Institutional Constraints on Developing End-of-Life Product Recovery Capabilities”, *International Journal of Production Economics*, 115(2) : 272-282.

Mikkola, J.H. ve Gassmann, O., (2003), “Managing Modularity of Product Architectures: Toward an Integrated Theory”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 50 (2): 204 - 218.

Min, H., Ko, H.J. ve Ko, C.S. (2006), “A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-Echelon Reverse Logistics Network for Product Returns”, *Omega*, 34(1): 56-69.

Minner, S., (2001), “Strategic Safety Stocks in Reverse Logistics Supply Chains”, *International Journal of Production Economics*, 71(1-3): 417-428.

Neiro, S.M.S. ve Pinto, J.M., (2004), “A general modeling framework for the operational planning of petroleum supply chains”, *Computers & Chemical Engineering*, 28(6-7): 871-896.

Otto, A., ve Kotzab, H., (2003), “Does Supply Chain Management Really Pay? Six Perspectives To Measure The Performance Of Managing A Supply Chain”, *European Journal of Operational Research*, 144(2): 306-320.

Özkan, M.M., (2003), “Bulanık Hedef Programlama”, Ekin Yayınları, İstanbul.

Petersen, K., Handfield, R. ve Ragatz, G., (2005), “Supplier Integration into New Product Development: Coordinating Product, Process, and Supply Chain Design”, *Journal of Operations Management*, 23(3-4), 371-388.

Ponnambalam, K., Karray, F. ve Mousavi, S.J., (2003), “Minimizing Variance of Reservoir Systems Operations Benefits Using Soft Computing Tools”, *Fuzzy Sets and Systems*, 139 (2): 451-461.

- Pourmohammadi, H., Dessouky, M.M., ve Rahimi, M., (2005), "Sustainable Reverse Logistics for Distribution of Industrial Waste/By-Products: A Joint Optimization of Operation and Environmental Costs", *Supply Chain Forum: An International Journal*, 9(1):1-28.
- Rabbani, M., Layegh, J., ve Ebrahim, R. M., (2008), "Determination of Number of Kanbans in a Supply Chain System Via Memetic Algorithm", *Advances in Engineering Software*, Basımda.
- Ragatz, G.L., Handfield, R.B., ve Petersen, K.J., (2002), "Benefits Associated with Supplier Integration into New Product Development Under Conditions of Technology Uncertainty", *Journal of Business Research*, 55: 389-400.
- Realff, M.J., Ammons, C.J. ve Newton, D., (2000), "Strategic design of reverse production systems", *Computers & Chemical Engineering*, 24(2-7): 991-996.
- Realff, M.J., Ammons, C.J. ve Newton, D., (2004), "Robust Reverse Productio System Design for Carpet Recycling", *IIE Transactions*, 36: 767-776.
- Rogers, D. ve Tibben-Lembke, R. S., (1999), "Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices", Pittsburgh: RLEC Press.
- Roghanian,E., Sadjadi, S.J. ve Aryanezhad,M.B., (2007), "A Probabilistic Bi-Level Linear Multi-Objective Programming Problem to Supply Chain Planning", *Applied Mathematics and Computation*, 188 (1): 786-800.
- Romeijn, H.E., Shu, J. ve Teo,C., (2007), "Designing Two-Echelon Supply Networks", *European Journal of Operational Research*, 178(2): 449-462.
- Roy, T. K. ve Maiti, M., (1998), "Multi-objective Inventory Models of Deteriorating Items with Some Constraints in A Fuzzy Environment", *Computers & Operations Research*, 25(12): 1085-1095.
- Rungtusanatham, M., ve Forza, C., (2005), "Coordinating Product Design, Process Design, and Supply Chain Design Decisions: Part A: Topic Motivation, Performance Implications, and Article Review Process", *Journal of Operations Management*, 23(3-4): 257-265.
- Sakawa, M., (1988), "An Interactive Fuzzy Satisfying Method For Multiobjective Linear Fractional Programming Problems, *Fuzzy Sets and Systems*, 28 :129–144.
- Salema, M.I.S., Pova, A.P.B. ve Novais, A.Q., (2005), "Design And Planning of Supply Chains with Reverse Flows", *Computer Aided Chemical Engineering*, 20: 1075-1080.

- Schleiffer, R., Wollenweber, J., Sebastian, H., Golm, F., ve Kapoustina, N., (2004), "Application of Genetic Algorithms for the Design of Large-Scale Reverse Logistic Networks in Europe's Automotive Industry", Proceedings of the 37th Annual Hawaii international Conference on System Sciences (Hicss'04) , Ocak 05- 08, 2004.
- Schultmann, F., Zumkeller, M. ve Rentz, O., (2006), "Modeling Reverse Logistic Tasks Within Closed-Loop Supply Chains: An Example From The Automotive Industry", European Journal of Operational Research, 171(3): 1033-1050.
- Seuring, S., Sarkis, J., Muller, M. ve Rao, P., (2008), "Sustainability and Supply Chain Management - An Introduction to the Special Issue", Journal of Cleaner Production, Sustainability and Supply Chain Management, 16(15): 1545-1551.
- Seuring,S., ve Muller,M., (2008), "From A Literature Review To A Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management", Journal of Cleaner Production, Sustainability and Supply Chain Management, 16(15): 1699-1710.
- Spengler, T., Puchert, H., Penkuhn, T. ve Rentz, O., (1997), "Environmental integrated production and recycling management", European Journal of Operational Research, 97(2): 308-326.
- Thangavelu, S.R. ve Samavedham,L.,(2007), "A Performance Assessment Framework For Supply Chain Networks", Computer Aided Chemical Engineering, 24: 709-714.
- Thierry, M.C., Salomon, M., van Nunen, J. ve Van Wassenhove, L., (1995), "Strategic Issues in Product Recovery Management", California Management Review, 37 (2): 114-135.
- Tiwari, R. N., Dharmar, S. ve Rao, J. R., (1986), "Priority structure in fuzzy goal programming", Fuzzy Sets and Systems, 19(3): 251-259.
- Vlachos, D., Georgiadis, P. ve Iakovou, E., (2007), "A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains", Computers & Operations Research, 34(2):367-394.
- Vonderembse, M., Uppal, M., Huang, S.H. ve Dismukes, J.P., (2006), "Designing Supply Chains: Towards Theory Development", International Journal of Production Economics, 100 (2), 223-238.
- Wadhwa, S., Madaan, J. ve Chan, F.T.S.,(2009), "Flexible Decision Modeling Of Reverse Logistics System: A Value Adding MCDM Approach For Alternative Selection", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 25(2): 460-469.

- Wang, H. ve Fu, C., (1997), "A generalization of fuzzy goal programming with preemptive structure", *Computers & Operations Research*, 24(9): 819-828.
- Wang, R. ve Liang, T., (2004), "Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning", *Computers & Industrial Engineering*, 46(1): 17-41.
- Wang, S. ve Sarker, B.R., (2006), "Optimal models for a multi-stage supply chain system controlled by kanban under just-in-time philosophy", *European Journal of Operational Research*, 172(1): 179-200.
- Wang, J. ve Shu, Y., (2005), "Fuzzy Decision Modeling For Supply Chain Management", *Fuzzy Sets and Systems*, 150(1):107-127.
- Wang, J. ve Shu, Y., (2007), "A Possibilistic Decision Model For New Product Supply Chain Design" *European Journal of Operational Research*, 177(2): 1044-1061.
- Xiaobo, Z., Xu,D., Zhang,H. ve He,Q., (2007), "Modeling and Analysis of A Supply-Assembly-Store Chain", *European Journal of Operational Research*, 176(1):275-294.
- Yaghoobi, M.A. ve Tamiz, M., (2007), "A method for solving fuzzy goal programming problems based on MINMAX approach", *European Journal of Operational Research*, 177(3): 1580-1590.
- Yang,T., Ignizio, J.P. ve Kim, H., (1991), "Fuzzy programming with nonlinear membership functions: Piecewise linear approximation", *Fuzzy Sets and Systems*, 41(1): 39-53.
- Yao,D., Yue, X., Mukhopadhyay, S.K. ve Wang,Z., (2009), "Strategic Inventory Deployment For Retail and E-Tail Stores", *Omega*, 37(3): 646-658.
- You, F., ve Grossmann, I.,E., (2008), "Design of Responsive Supply Chains Under Demand Uncertainty", *Computers & Chemical Engineering*, 32 (12): 3090-3111.

EKLER

Ek 1 Modelde Kullanılan Parametrelerin Değerleri

Ek 1 Modelde Kullanılan Parametrelerin Değerleri

DRM	Malzeme geri kazanımı sırasında oluşan atık oranı	/0 .009/
DRC	Bileşen geri kazanımı sırasında oluşan atık oranı	/0.006/
DRF	Ürün geri kazanımı sırasında oluşan atık oranı	/0.002/
UTC(i)	Bir i ürünü bir birim (km) taşımanın maliyeti	/1 0.090, 2 0.075/
UTCN(n)	Bir n bileşenini bir birim (km) taşımanın maliyeti	/N1 0.050, N2 0.030/
voli(i)	Bir birim i ürününün hacmi	/1 2.0, 2 2.8/
voln(n)	Bir birim n bileşeninin hacmi	/N1 0.80, N2 0.4/
Penal(i)	Bir birim i ürünü talebinin karşılanamamasından kaynaklanan ceza maliyeti	/1 100, 2 150/
maxcapj(j)	Bir j toplama noktasının azami kapasitesi /J1 40000, J2 40000,J3 40000,J4 40000/	
maxcapr(r)	Bir r dönüşüm merkezinin azami kapasitesi /R1 800000,R2 960000,R3 800000,R4 900000/	
maxcapf(f)	Bir f geri kazanım tesisinin azami kapasitesi /F1 100000,F2 120000,F3 110000,F4 200000/	
maxcapd(d)	Bir d dağıtım merkezinin azami kapasitesi /D1 900000,D2 800000,D3 700000,D4 900000/	
maxcapp(p)	Bir p fabrikasının azami kapasitesi /P1 500000, P2 420000, P3 501000, P4 600000/	
FIXJ (j)	Bir j toplama noktasının sabit işleme maliyeti /J1 20000, J2 30000, J3 20400, J4 40000/	
FIXR (r)	Bir r dönüşüm merkezinin sabit işleme maliyeti /R1 20000, R2 50000, R3 30000, R4 23000/	
FIXD (d)	Bir d dağıtım merkezinin sabit işleme maliyeti /D1 73000, D2 61000, D3 4500, D4 44000/	
FIXF (f)	Bir f geri kazanım tesisinin sabit işleme maliyeti /F1 54000, F2 30000, F3 30000, F4 40800/	
FIXP (p)	Bir p fabrikasının sabit işleme maliyeti /P1 12400,P2 19000,P3 16000,P4 18000/	
STCP (p)	Bir p fabrikasının kurulma maliyeti /P1 1000000,P2 1100000,P3 1500000,P4 1400000/	

STCJ (j)	Bir j toplama noktasının kurulma maliyeti /J1 800000,J2 1100000,J3 1500000,J4 1400000/
STCR (r)	Bir r dönüşüm merkezinin kurulma maliyeti /R1 2000000,R2 5000000,R3 3000000,R4 2300000/
STCD (d)	Bir d dağıtım merkezinin kurulma maliyeti /D1 7003000,D2 8100000,D3 4500000,D4 4400000/
STCF (f)	Bir f geri kazanım tesisinin kurulma maliyeti /F1 5004000,F2 3090000,F3 6700000,F4 4000800/
Pdis(t)	Bir t zaman biriminde de-montajına karar verilen ürün miktarı oranı /1 0.55,2 0.55,3 0.60,4 0.60,5 0.65,6 0.65,7 0.70,8 0.75,9 0.75,10 0.77,11 0.68,12 0.77 /
Pdem(t)	Bir t zaman biriminde tersine üretimine karar verilen ürün miktarı oranı /1 0.30,2 0.40,3 0.30,4 0.20,5 0.40,6 0.30,7 0.25,8 0.40,9 0.20,10 0.23,11 0.32,12 0.23 /
Pref(t)	Bir t zaman biriminde yenilenmesine karar verilen ürün miktarı oranı /1 0.45,2 0.45,3 0.40,4 0.40,5 0.35,6 0.35,7 0.30,8 0.25,9 0.25,10 0.23,11 0.32,12 0.23 /
UPPN(n)	Bir birim n bileşeni satın alma fiyatı /N1 50, N2 70/
USPM(m)	Bir birim m malzemesi satış fiyatı /M1 100, M2 200/
PCMIN(i)	Bir iade i ürününü müşterinin satabileceği tahmini en düşük fiyat /1 50, 2 80/
PCIDEAL(i)	Bir iade i ürününü müşterinin satabileceği tahmini ideal fiyat /1 70, 2 100/
PRCMAKS(i)	Bir iade i ürününü dönüşüm merkezinin alabileceği tahmini en yüksek fiyat /1 65, 2 100/
PRCIDEAL(i)	Bir iade i ürününü dönüşüm merkezinin alabileceği tahmini ideal fiyat /1 48, 2 80/
PDCMIN(i)	i geri kazanılmış ürünün satılabileceği tahmini en düşük fiyat /1 500, 2 800/
PDCIDEAL(i)	i geri kazanılmış ürünü dağıtım merkezinin satabileceği tahmini ideal fiyat /1 700, 2 1000/
SCMAKS(i)	Bir i geri kazanılmış ürününü müşterinin alabileceği tahmini en yüksek fiyat /1 600, 2 1100/
SCIDEAL(i)	Bir i geri kazanılmış ürününü müşterinin alabileceği tahmini ideal fiyat /1 400, 2 750/

YDMIN(i)	Bir i yeni ürünü dağıtım merkezinin satabileceği tahmini en düşük fiyat /1 800, 2 1100/
YDIDEAL(i)	Bir i yeni ürünü dağıtım merkezinin satabileceği tahmini ideal fiyat /1 1000, 2 1300/
YCMAKS(i)	Bir i yeni ürününü müşterinin alabileceği tahmini en yüksek fiyat /1 850, 2 1400/
YCIDEAL(i)	Bir i yeni ürününü müşterinin alabileceği tahmini ideal fiyat /1 700, 2 1050/

SCC(i,r,t) Birim inceleme ve ayıklama maliyeti

<i>i</i>	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>t</i>	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	30	20	20	20	10	11	20	30
2	30	20	20	20	10	12	20	30
3	30	20	20	20	10	13	20	30
4	30	20	20	20	10	14	20	30
5	30	20	20	20	10	15	20	30
6	30	20	20	20	10	16	20	30
7	30	20	20	20	10	17	20	30
8	30	20	20	20	10	18	20	30
9	30	20	20	20	10	19	20	30
10	30	20	20	20	20	20	20	20
11	30	20	20	20	20	20	20	20
12	30	20	20	20	20	20	20	20

DIC(i,r,t) Birim De-montaj Maliyeti

<i>i</i>	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>t</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
1	30	20	20	20	10	11	20	30
2	30	20	20	20	10	12	20	30
3	30	20	20	20	10	13	20	30
4	30	20	20	20	10	14	20	30
5	30	20	20	20	10	15	20	30
6	30	20	20	20	10	16	20	30
7	30	20	20	20	10	17	20	30
8	30	20	20	20	10	18	20	30
9	30	20	20	20	10	19	20	30
10	30	20	20	20	20	20	20	20
11	30	20	20	20	20	20	20	20
12	30	20	20	20	20	20	20	20

DMC(i,r,t) Birim Tersine Üretim Maliyeti

<i>i</i>	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>t</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
1	40	40	30	40	30	31	20	30
2	40	40	30	40	30	32	20	30
3	40	40	30	40	30	33	20	30
4	40	40	30	40	30	34	20	30
5	40	40	30	40	30	35	20	30
6	40	40	30	40	30	36	20	30
7	40	40	30	40	30	37	20	30
8	40	40	30	40	30	38	20	30
9	40	40	30	40	30	39	20	30
10	40	40	40	40	30	40	40	40
11	40	40	40	40	30	41	20	40
12	40	40	40	40	30	42	30	30

RRC(i,f,t) Birim Yenileme Maliyeti

<i>i</i>	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>t</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>
1	30	20	20	20	10	11	20	30
2	30	20	20	20	10	12	20	30
3	30	20	20	20	10	13	20	30
4	30	20	20	20	10	14	20	30
5	30	20	20	20	10	15	20	30
6	30	20	20	20	10	16	20	30
7	30	20	20	20	10	17	20	30
8	30	20	20	20	10	18	20	30
9	30	20	20	20	10	19	20	30
10	30	30	30	30	30	30	30	30
11	30	20	20	20	20	20	20	20
12	30	20	20	20	20	20	20	20

DCR(i,r,t) Bir r dönüşüm merkezinde birim bozunma maliyeti

<i>i</i>	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>t</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
1	5	4	3	4	3	3	12	0
2	5	4	3	4	3	2	12	0
3	5	4	3	4	3	3	12	0
4	5	4	3	4	3	4	12	0
5	7	8	6	4	3	5	12	1
6	7	8	6	4	3	6	12	1
7	7	8	6	4	3	7	12	1
8	7	8	6	4	3	8	12	1
9	7	8	6	4	3	9	12	1
10	7	7	7	7	4	7	7	7
11	7	7	7	7	4	8	8	8
12	7	7	7	7	4	9	9	9

DCF(i,f,t) Bir f geri kazanım tesisinde birim bozunma maliyeti

<i>i</i>	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>t</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>
1	7	4	3	4	3	3	6	3
2	7	4	3	4	3	2	6	3
3	7	4	3	4	3	3	6	3
4	7	4	3	4	3	6	6	3
5	7	4	3	4	3	6	6	7
6	7	4	3	4	3	6	6	7
7	7	5	6	4	3	7	6	7
8	7	5	6	4	3	5	6	7
9	7	5	6	4	3	9	6	7
10	7	7	7	7	7	7	7	7
11	7	8	8	8	8	8	8	8
12	7	9	9	9	9	9	9	9

PCI(i,p,t) Birim Üretim Maliyeti

<i>i</i>	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>t</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>
1	50	50	70	40	40	50	40	60
2	50	50	70	40	40	50	40	60
3	50	50	70	40	40	50	40	60
4	50	50	70	40	40	50	40	60
5	50	50	70	40	40	50	40	60
6	50	50	70	40	40	50	40	60
7	50	50	70	40	40	50	40	60
8	50	50	70	40	40	50	40	60
9	50	50	70	40	40	50	40	60
10	50	50	50	50	50	50	50	50
11	50	50	50	50	50	50	50	50
12	50	50	50	50	50	50	50	50

UHCN(n,r,t) Bir birim n bileşenini elde bulundurma maliyeti

<i>n</i>	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N2</i>	<i>N2</i>	<i>N2</i>
<i>t</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
1	15	14	13	14	13	13	12	13
2	15	14	13	14	13	12	12	13
3	15	14	13	14	13	13	12	13
4	15	14	13	14	13	13	12	13
5	15	18	16	14	13	15	12	13
6	15	18	16	14	13	16	12	13
7	15	18	16	14	13	17	12	13
8	15	18	16	14	13	18	12	13
9	15	18	16	14	13	19	12	13
10	15	15	15	15	15	15	15	15
11	15	15	15	15	15	15	15	15
12	15	15	15	15	15	15	15	15

UHCI(i,d,t) Bir birim i ürününü elde bulundurma maliyeti

<i>i</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
<i>d</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D3</i>	<i>D4</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D3</i>	<i>D4</i>
1	15	14	3	4	3	3	12	3
2	5	4	3	4	3	2	12	3
3	5	4	3	4	3	3	12	3
4	5	4	3	4	3	3	12	3
5	7	8	6	4	3	5	12	13
6	7	8	6	4	3	6	12	13
7	7	8	6	4	3	7	12	13
8	7	8	6	4	3	8	12	13
9	7	8	6	4	3	9	12	13
10	8	15	8	8	8	8	8	8
11	8	15	8	8	8	8	8	8
12	8	15	8	8	8	8	8	8

UHCR(i,r,t) Bir birim i ürününü dönüşüm merkezinde tutma maliyeti

<i>i</i>	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>t</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
1	15	14	3	4	3	3	12	3
2	5	4	3	4	3	2	12	3
3	5	4	3	4	3	3	12	3
4	5	4	3	4	3	3	12	3
5	7	8	6	4	3	5	12	13
6	7	8	6	4	3	6	12	13
7	7	8	6	4	3	7	12	13
8	7	8	6	4	3	8	12	13
9	7	8	6	4	3	9	12	13
10	8	15	8	8	8	8	8	8
11	8	15	8	8	8	8	8	8
12	8	15	8	8	8	8	8	8

CQ(i,n) Bir birim i ürünü içinde bulunan bileşen miktarları

<i>i</i>	N1	N2
1	1	2
2	3	1

MQ(n,m) Bir birim n bileşeni içinde bulunan malzeme miktarı

	M1	M2
<i>N1</i>	0,35	0,70
<i>N2</i>	0,90	0,51

DMNDE(i,c,t) Geri Kazanılmış Ürünler için müşteri talepleri

	$i=1$				$i=2$			
t	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$
1	5000	5200	5300	5400	5100	5100	5100	5300
2	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
3	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
4	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
5	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
6	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
7	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
8	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
9	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
10	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
11	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500
12	5000	5200	5200	5400	5100	5100	5500	5500

DMNDY(i,c,t) Yeni ürün için oluşan müşteri talepleri

[illegible]

RR(i,c,t) İade Oranı

	<i>i=1</i>				<i>i=2</i>			
<i>t</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
1	0,30	0,40	0,50	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50
2	0,30	0,40	0,50	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50
3	0,30	0,40	0,50	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50
4	0,30	0,40	0,50	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50
5	0,30	0,40	0,50	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50
6	0,30	0,40	0,50	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50
7	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,30
8	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,30
9	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,30
10	0,30	0,40	0,50	0,50	0,40	0,40	0,40	0,30
11	0,30	0,40	0,50	0,50	0,40	0,40	0,40	0,30
12	0,30	0,40	0,50	0,50	0,40	0,40	0,40	0,30

DISTCJ(c,j) C müşterisinin J toplama noktasına olan uzaklığı (km)

	J1	J2	J3	J4
C1	1	860	360	780
C2	860	1	1110	565
C3	370	1100	1	1200
C4	770	565	1200	1

DISTJR(j,r) j toplama noktasının r dönüşüm merkezine olan uzaklığı (km)

	R1	R2	R3	R4
J1	1	860	360	780
J2	860	1	1110	565
J3	370	1100	1	1200
J4	770	565	1200	1

DISTR_F (r,f) r dönüşüm merkezinin f geri kazanım tesisine olan uzaklığı (km)

	F1	F2	F3	F4
R1	1	860	360	780
R2	860	1	1110	565
R3	370	1100	1	1200
R4	770	565	1200	1

DISTR_P (r,p) r dönüşüm merkezinin p fabrikasına olan uzaklığı (km)

	P1	P2	P3	P4
R1	1	860	360	780
R2	860	1	1110	565
R3	370	1100	1	1200
R4	770	565	1200	1

DIST_{FD} (f,d) f geri kazanım tesisinin d dağıtım merkezine olan uzaklığı

	D1	D2	D3	D4
F1	1	860	360	780
F2	860	1	1110	565
F3	370	1100	1	1200
F4	770	565	1200	1

DISTPD (p,d) p fabrikasının d dağıtım merkezine olan uzaklığı

	D1	D2	D3	D4
P1	1	860	360	780
P2	860	1	1110	565
P3	370	1100	1	1200
P4	770	565	1200	1

DISTDC(d,c) d dağıtım merkezinin c müşteri bölgesine olan uzaklığı

	C1	C2	C3	C4
D1	1	860	360	780
D2	860	1	1110	565
D3	370	1100	1	1200
D4	770	565	1200	1

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	29.11.1980	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1995-1998	Özel Üsküdar Fen Lisesi
Lisans	1998-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Sistem Mühendisliği Programı
Doktora	2004-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programı

Çalıştığı kurum(lar)

Stajer	Ford Otosan San.Tic.A.Ş. FPS Departmanı – Atölye Stajı (Temmuz - Eylül 1999)
Stajer	Vestelnet A.Ş. I.T. Departmanı - Bilgisayar Stajı (Temmuz – Eylül 2001)
Stajer	Microsoft Türkiye E.P.G. Departmanı – Endüstri Mühendisliği Stajı (Temmuz – Eylül 2002)
Araştırma Görevlisi	Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı (Ekim 2002 – Devam etmektedir)