

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERİ KAZANIMLI KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN
DAĞITIM PLANLAMA**

DOKTORA TEZİ

İrem OTAY

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERİ KAZANIMLI KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN
DAĞITIM PLANLAMA**

DOKTORA TEZİ

**İrem OTAY
(507092015)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ferhan ÇEBİ

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507092015 numaralı Doktora Öğrencisi **İrem OTAY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GERİ KAZANIMLI KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN DAĞITIM PLANLAMA**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ferhan ÇEBİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ**
Maltepe Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Dilay ÇELEBİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **29 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **27 Haziran 2015**

Her zaman doktor olmamı isteyen sevgili aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında kapalı çevrim tedarik zinciri üretim ve dağıtım planlama problemi incelenerek bu alanda yapılan çalışmalara katkıda bulunmak ve gelecek çalışmalar için kaynak oluşturulması amaçlanmıştır.

Doktora tezi ve öğrenim sürecimde, bana destek veren, bana inanan, zaman ayıran ve ne zaman ihtiyacım olursa benimle ilgilenip sorularıma cevap veren sevgili danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ferhan Çebi'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisi, bilgi ve deneyimleriyle bana hep yol göstermiş, yapmış olduğumuz tüm çalışmalarda her zaman beni teşvik etmiştir. Kendisine ayrıca güler yüzü ve tüm sıcaklığı için çok teşekkür ederim.

Her zaman sorularıma kıymetli zamanını ayıran, güler yüzlü, çalışkan, mütevazı ve anlayışlı hocam Sayın Prof. Dr. Cengiz Kahraman'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Tanyaş'a değerli katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

İTÜ'de doktora yapmam konusunda beni yönlendiren ve destekleyen hocam Sayın Prof. Dr. Selime Sezgin'e teşekkürlerimi sunarım.

GAMS programı için yardımlarını esirgemeyen başta hocam Sayın Doç. Dr. Dilay Çelebi olmak üzere, Ar. Gör. Aycan Kaya'ya ve Öğr. Gör. Ayça Altay'a ilgileri ve destekleri için teşekkür ederim.

Bana bu süreçte yardımcı oldukları için Yrd. Doç. Dr. Başar Öztayşı'ya ve Yrd. Doç. Dr. Gül Tekin Temur'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının tüm uygulama sürecinde ve tamamlanmasında bana her türlü desteği veren, tüm bilgi ve tecrübelerini aktaran Sayın Yüksek Endüstri Mühendisi Abdullah Günay'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim süresince sağladıkları burs desteği ile etkin bir tez hazırlamama imkân sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK)'a da teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenim ve tezim süresince başından sonuna bana her türlü maddi ve manevi desteği veren ve doktor olmamı arzulayan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim. Esprili, güler yüzlü, özverili ve yüce gönüllü sevgili annem Güzide Otay'a ve tüm çalışmalarımda bilgi ve deneyimlerini benimle içtenlikle paylaşan, yoktan var eden, merhametli, çalışkan ve güzel insan sevgili babam Cavit Otay'a bana vermiş oldukları tüm değerler için çok teşekkür ederim. Her zaman esprileriyle ve güler yüzüyle tezimde ve çalışmalarımda beni destekleyen neşe kaynağım sevgili kardeşim Mustafa Yiğit Otay'a çok teşekkür ederim. Yaşamı boyunca bana her zaman canımın canı diye seslenen ve "inşallah büyük insan olursun evladım" diyen sevgi dolu kanatsız meleğim sevgili anneannem Nazmiye Fero'ya bana vermiş olduğu tüm sevgi ve ilgi için ve iyi insan olmayı öğrettiği için sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak, doktora süresince bana destek veren tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Haziran 2015

İrem OTAY
Endüstri Mühendisi, MBA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Çalışmanın Gerekliliği ve Literatüre Katkıları.....	5
1.3 Tezin Organizasyonu.....	6
2. TEDARİK ZİNCİRİ	9
2.1 Tedarik Zinciri.....	9
2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi	10
2.3 Lojistik	10
2.4 Yeşil Tedarik Zinciri	10
2.5 Tersine Tedarik Zinciri ve Tersine Lojistik	11
3. TERSİNE LOJİSTİK	13
3.1 İleri ve Tersine Lojistiğin Karşılaştırması.....	14
3.2 Ürün Geri Dönüş Nedenleri	15
3.3 Tersine Lojistik Tanımları.....	16
3.4 Tersine Lojistikte Yaklaşımları	17
3.5 Tersine Lojistik Uygulama Alanları.....	19
3.6 Tersine Lojistikte Karşılaşılan Belirsizlikler.....	20
4. KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ VE TERSİNE LOJİSTİK KONULARINDA LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	21
5. BULANIK KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ MODELLERİ	31
5.1 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Problemlerinde Belirsizliğin İncelenmesi	31
5.2 Bulanık Mantık.....	32
5.2.1 Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları.....	33
5.2.2 Genelleme ilkesi.....	36
5.2.2.1 Bulanık sayılar ve aritmetik işlemler	36
5.3 Bulanık Hedef Programlama	38
5.3.1 Bulanık hedef ve bulanık kısıtlı modeller	40
5.3.2 Bulanık parametrelili modeller.....	43
6. GERİ KAZANIMLI KAPALI ÇEVİRİM MODELLERİ: ÖNERİLEN MODELLER VE NÜMERİK ÖRNEKLER	47
6.1 Tersine Lojistik Üretim ve Dağıtım Problemlerine Yönelik Önerilen Hipotetik Modeller	47
6.1.1 Model 1	49

6.1.1.1 Notasyon.....	51
6.1.1.2 Matematiksel formülasyon	53
6.1.2 Model 2	59
6.1.2.1 Notasyon.....	60
6.1.2.2 Matematiksel formülasyon	62
6.1.3 Model 3	70
6.1.3.1 Notasyon.....	71
6.1.3.2 Matematiksel formülasyon	73
6.1.4 Model 4	82
6.1.4.1 Notasyon.....	84
6.1.4.2 Matematiksel formülasyon	86
6.1.5 Model 5	95
6.1.5.1 Notasyon.....	97
6.1.5.2 Matematiksel formülasyon	100
6.1.6 Genelleştirilmiş model	111
6.1.6.1 Notasyon.....	111
6.1.6.2 Matematiksel formülasyon	114
7. GERİ KAZANIMLI KAPALI ÇEVİRİM MODELLERİ: GERÇEK HAYAT UYGULAMASI	119
7.1 Notasyon.....	123
7.2 Modelin Geliştirilmesi.....	127
7.2.1 Tek hedefli kapalı çevrim modeli.....	127
7.2.2 Çok hedefli kapalı çevrim modeli	143
7.2.2.1 Bulanık hedef ve bulanık talepli çok amaçlı KÇTZ modeli.....	143
7.2.2.2 Bulanık talep ve bulanık geri dönüşüm oranlı çok amaçlı KÇTZ modeli.....	163
8. SONUÇLARIN ANALİZİ.....	179
8.1 Doğruluk ve Geçerlilik Analizleri	179
8.2 Duyarlılık Analizi	180
9. TARTIŞMA	189
10. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	191
KAYNAKLAR.....	195
EKLER.....	203
ÖZGEÇMİŞ.....	279

KISALTMALAR

KÇTZ	: Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri
KFD	: Kalite Fonksiyon Yayılımı
TRIZ	: Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch
ÜYD	: Ürün Yaşam Döngüsü
RFKT	: Radyo Frekansı ile Kimlik Tanımlama
GA	: Genetik Algoritma
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÜBS	: Üçgen Bulanık Sayı
YBS	: Yamuk Bulanık Sayı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : İleri ve tersine lojistik arasındaki farklar (Jamshidi, 2011; Ciliberti vd., 2008).....	15
Çizelge 3.2 : Geri dönüş nedenleri (Jamshidi, 2011).....	16
Çizelge 4.1 : KÇTZ ile ilgili çalışmalar.....	29
Çizelge 4.2 : Tersine lojistik ile ilgili çalışmalar.....	30
Çizelge 5.1 : Bulanık kümelerde temel kavramlar.....	35
Çizelge 5.2 : Üçgen bulanık sayılar için aritmetik işlemler.....	38
Çizelge 5.3: Doğrusal programlama modellerinde bulanıklık.....	39
Çizelge 6.1 : Parametre değerleri (Model 1).....	57
Çizelge 6.2 : Parametre değerleri (Model 2).	68
Çizelge 6.3 : Parametre değerleri (Model 3).....	79
Çizelge 6.4 : Parametre değerleri (Model 4).....	92
Çizelge 6.5 : Parametre değerleri (Model 5).	109
Çizelge 7.1 : Distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürün miktarları.....	141
Çizelge 7.2 : Müşterilere gönderilen ürün miktarları.....	142
Çizelge 7.3 : Üyelik fonksiyonları.....	148
Çizelge 7.4 : Bulanık hedef ve kısıtlı model için distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürün miktarları.....	161
Çizelge 7.5 : Bulanık hedef ve kısıtlı model için müşterilere gönderilen ürün miktarları.....	162
Çizelge 7.6 : Hedeflerin çözüm değerleri ve alt (z_l) - üst (z_u) limitleri.....	163
Çizelge 7.7 : Bulanık parametrelili model için distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürün miktarları.....	176
Çizelge 7.8 : Bulanık parametrelili model için müşterilere gönderilen ürün miktarları.....	177
Çizelge 8.1 : Distribütör kapasitelerindeki değişimin sonuçlara etkisi.	180
Çizelge 8.2 : Fabrika ile distribütör arasındaki mesafenin değişiminin sonuçlara etkisi.....	180
Çizelge 8.3 : Toplam maliyet hedefinin farklı ağırlık değerleri için sonuçlar.....	181
Çizelge A.1 : Fabrika ile tedarikçi, bölge deposu ve distribütör arasındaki mesafeler.....	205
Çizelge A.2: Distribütör grupları ve müşteri grupları arasındaki mesafeler.....	205
Çizelge A.3: Ürün talepleri.....	206
Çizelge A.4: Diğer parametre değerleri.....	207

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünya genelinde 2005-2013 yılları arası CO ₂ emisyonu (milyon metrik ton).....	3
Şekil 1.2 : Sektörlerin CO ₂ yayılımı (Worldbank, 2014).....	4
Şekil 1.3 : Araç tiplerine göre CO ₂ emisyonu.....	4
Şekil 2.1 : Tedarik Zinciri (Levi vd., 2003).....	9
Şekil 3.1 : İleri ve tersine akış (Fleischmann vd., 1997).	14
Şekil 3.2 : Tersine lojistik faaliyetlerinin akış diyagramı (Srivastava, 2008)	17
Şekil 5.1 : (a) Klasik küme (b) Bulanık küme	33
Şekil 5.2 : Çekirdek, destek aralığı, sınırlar ve yükseklik	35
Şekil 5.3 : Üçgensel bulanık sayı.....	37
Şekil 5.4 : Yamuk bulanık sayı.....	37
Şekil 5.5 : Doğrusal üyelik fonksiyonları: (a) Negatif hedef. (b) Pozitif hedef. (c) Bulanık kısıtlar	41
Şekil 6.1 : Model 1'e ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi	49
Şekil 6.2 : Model 1'in çözümü.	58
Şekil 6.3 : Model 2'ye ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi	59
Şekil 6.4 : Model 2'nin çözümü.	69
Şekil 6.5 : Model 3'e ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi	70
Şekil 6.6 : Model 3'ün çözümü.....	80
Şekil 6.7 : Model 4'e ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi	82
Şekil 6.8 : Model 4'ün çözümü.....	93
Şekil 6.9 : Model 5'e ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi	95
Şekil 6.10 : Model 5'in çözümü.	110
Şekil 7.1 : Gerçek hayat problemine ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi	121
Şekil 8.1 : Toplam CO ₂ emisyon hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam maliyetteki değişim	182
Şekil 8.2 : Toplam CO ₂ emisyon hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam kayıp miktarındaki değişim	182
Şekil 8.3 : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam maliyetteki değişim	183
Şekil 8.4 : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda CO ₂ emisyon miktarlarındaki değişim.....	184
Şekil 8.5 : Toplam maliyet hedef ağırlığının sabit olduğu durumda CO ₂ emisyon miktarlarındaki değişim.....	184
Şekil 8.6 : Toplam maliyet hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam kayıp miktarındaki değişim.....	185
Şekil 8.7 : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam maliyetteki değişim	185
Şekil 8.8 : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda CO ₂ emisyon miktarlarındaki değişim.....	186

Şekil 8.9 : Toplam maliyet hedef ağırlığının sabit olduğu durumda CO ₂ emisyon miktarlarındaki değişim.....	187
Şekil 8.10 : Toplam maliyet hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam kayıp miktarındaki değişim.....	187
Şekil 8.11 : Toplam CO ₂ emisyon hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam maliyetteki değişim	188
Şekil 8.12 : Toplam CO ₂ emisyon hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam kayıp miktarındaki değişim	188

GERİ KAZANIMLI KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN DAĞITIM PLANLAMA

ÖZET

Artan nüfus artışı, iklimsel değişiklikler ve doğal kaynakların hızla tükenmesi gibi çeşitli faktörler işletmeleri kaynak tüketimini azaltmaya ve böylece maliyetleri düşürmeye yönlendirmiştir. Bunlara ek olarak, günümüzün zorlu rekabet ortamı, teknolojideki hızlı gelişmeler, son yıllarda çevre bilincinin artmasıyla müşterilerin ürün ve/veya hizmet alırken çevreci yaklaşımlar sergileyen işletmelerden yana tercihlerini yapmaları ve çeşitli yasal yükümlülükler, çevreye dost ürünlerin üretimi, atıkların geri dönüşümü ve ürün, parça ve malzemelerin yeniden kazanımı gibi konulara verilen önemi arttırmıştır. Bu faktörler tersine lojistik faaliyetlerini incelenmesi, ürün, parça ve malzemeler için ileri ve tersine lojistik faaliyetlerinin etkin bir şekilde yönetilmesini gerektirmiş ve ürün geri kazanım yaklaşımları gibi konulara olan rağbeti arttırmıştır. Araştırmalar göstermiştir ki, tüm bu konuların dikkatle ele alınması ve planlanması işletmelere rekabet avantajı sağlamaktadır.

Bu kapsamda, bu doktora tez çalışması ürünlerin ileri ve geri akışlarını dikkate alan kapalı çevrim tedarik zinciri için üretim ve dağıtım faaliyetlerinin planlanması konusunu incelemektedir. Kapsamlı bir literatür araştırmasıyla, kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik konularında yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Ardından tersine lojistik ve kapalı çevrim tedarik zincirindeki belirsizlikler dikkate alınarak bulanık kapalı çevrim tedarik zinciri modelleri, bulanık kümeler ve bulanık modelleme konuları üzerinde durulmuştur. Bu bilgiler ışığında, farklı işletmelerin problemlerini çözmeye yönelik olarak çeşitli varsayımlar altında matematiksel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller nümerik örnekler için çözülerek modellerin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonrada bu modeller göz önüne alınarak genelleştirilmiş bir model oluşturulmuştur. Uygulama bölümünde ise geliştirilmiş modeller gerçek hayat problemine göre revize edilmiştir. Model, birden çok yeniden kullanılabilen ürün ve tek bir üretici, birden çok distribütör ve bölge deposu ile çok sayıdaki müşteriye içermektedir. Model tek bir dönem için planlama yapmakta ve birden çok amacı göz önüne almaktadır. Dikkate alınan amaçlardan ilki, kapalı çevrimdeki toplam maliyetin minimum kılınmasıdır. Diğer amaçlar sırasıyla, ileri ve tersine ürün akışı sırasında meydana gelen sera etkisi yaratan gazlardan biri olan karbondioksit gazının emisyonunun minimum kılınması ve müşterilerden geri toplanamayan (kullanılmış) ürün miktarının minimum kılınması şeklindedir.

Kapalı çevrim tedarik zincirinde birçok belirsizlik ve eksik bilgi bulunmaktadır. Bu belirsizlikler, geri dönüş oranında, geri dönen ürünün kalitesinde, geri dönüş zamanında olabileceği gibi ürünlerin talebinde de olabilmektedir. Bu belirsizlik ve eksik bilgilerle başa çıkabilmek için çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modelinin çözümünde bulanık küme ve bulanık modellemeyi kullanılmıştır.

Modeldeki belirsizlik iki şekilde incelenmiştir. İlk olarak hedef ve kısıtlardaki bulanıklık ele alınmıştır. Modeldeki tüm hedeflerin erişim seviyeleri ile talep kısıtının bulanık olduğu durum değerlendirilmiştir. Bulanık çok amaçlı modelin geleneksel tek amaçlı doğrusal programlama modeline dönüştürülmesinde ağırlıklı toplamsal modelden yararlanılmıştır. Daha sonra ise, modeldeki çeşitli parametrelerdeki (geri dönüşüm oranı ve talep gibi) bulanıklık ele alınmıştır. Her iki durum gerçek hayat problemi için çözülmüştür. Modellerin çözümünde GAMS 24.02 - CPLEX solverdan yararlanılmıştır. Ek olarak, modellerin doğruluk ve geçerlilik analizleri ile duyarlılık analizleri gerçekleştirilerek sonuçlar analiz edilmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

DISTRIBUTION PLANNING OF A CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN WITH PRODUCT RECOVERY

SUMMARY

Increasing population, climate changes, and rapid consumption of natural resources are the factors that led organizations to reduce sources and to decrease costs. Today's highly competitive environment, increasing advancements in technology, growing customers environmental consciousness and legislations force organizations to produce environmentally friendly products, and to concentrate on waste management and recovery approaches of products, components, and materials. All these factors require to examine reverse logistic activities, to plan reverse flows of products, components, and materials and to manage effectively and efficiently forward and reverse logistic activities.

One of the important topics in reverse logistics is recovery approaches. There are different approaches which vary depending on the organization operate and even on the product, component and material. Therefore, choosing the appropriate recovery approach is both complex and important topic for the organizations.

The researches have highlighted that consideration of all these issues and planning of forward and reverse flows of products help organizations for decreasing costs, reducing resource consumptions while increasing productivity and proficiency, as well as protecting environment. Therefore, effective management of both forward and reverse flows allows organizations to gain competitive advantage in the market.

For all these reasons, closed-loop supply chain and reverse logistics have been one of the critical and popular topics drawing attentions of researchers and practitioners for more than two decades. In the literature some of the studies concentrate only on the aspect of reverse flows while some other integrate both the forward and the reverse flows. In this dissertation, closed-loop supply chain integrating both the forward and the reverse flows of the products is examined.

By conducting a comprehensive literature review, papers with regard to closed-loop supply chain and reverse logistics are analyzed and classified depending on the problem they handle. The literature review points out that the studies mainly focus on some of the topics such as network design, inventory control, life-cycle analysis, and routing problems. However, this dissertation concentrates on production and distribution planning problem of a closed-loop supply chain for recoverable products by considering forward and reverse flows of products.

The review also highlights that there are few studies made on reuse which is one of the product recovery options. However, a large amount of studies are conducted on particularly recycling and remanufacturing recovery options. In addition, there are some studies integrating couple of product recovery options such as recycling and

repairing, recycling and remanufacturing while there are a few number of studies conducted for reusable products and/or items.

The review also indicates that there are only some studies using fuzzy logic methodology for recoverable products. However, researchers emphasize that the fuzzy logic and fuzzy modelling provide efficient solutions for handling uncertainties, vagueness and lack of information in the real life applications. For this reasons, fuzzy closed-loop supply chain models are reviewed in the literature by considering uncertainties and lack of information in the closed-loop supply chain and reverse logistics topics.

In the dissertation, the fundamental concepts on fuzzy sets, extension principle, fuzzy numbers and fuzzy arithmetic operations are defined. Then, fuzzy mathematical modelling is analyzed in two different ways in which the previous deals with the fuzziness in the objectives and in the constraints while the last considers the fuzziness in the parameters (technological coefficients and right hand side values in the constraints).

By considering all these information stated above, in this dissertation, production and distribution planning problem for a closed-loop supply chain is analyzed under fuzzy environment. In this pursuit, a various mathematical models are developed for bringing solutions to production and distribution planning problems of different organizations.

For each model, graphical illustrations marking forward and reverse flows of the products are given in the dissertation to make the model more understandable. Also, indices, variables and parameters are defined and matematical models are formulated. The developed models are solved for numerical examples to check if the models are running. The results obtained from the solutions are presented using graphics. The results show that all the developed models run.

This study systematically analyzing the closed loop supply chain production and distribution problem from a broad perspective illustrates the application to the real life industrial problem. In the application part, the developed models are revised for the real-life industrial problem. All the necessary parameters are collected from the factory operating in Istanbul. The factory preferred to change proportionally the real data. The model considering multiple reusable products is composed of a single producer, multiple distributors and multiple regional warehouses as well as a large number of customers that demand the reusable products from the factory. The model is conducted for the city of Istanbul and constructed for a single time period.

A variety of objectives are evaluated in the model. One of the objectives having an economical perspective is to minimized total costs of a closed-loop supply chain. The second objective having enviromental perspective is to minimize carbon dioxide emissions occuring during forward and reverse flows of the products. This objective considers all the forward and the reverse transportation activities between a factory and distributors, factory and regional warehouses, distributors and customers in the model. This is one of the important objectives since carbon dioxide is playing essential role as green house gas. Additionally, carbon dioxide emission is also one of the popular and important topics that researchers and practitionars work on. The last objective deals with minimizing total number of products that can not be collected back from the customers. The objective is essential especially for the organizations that reuse products or components. The reduction in lost products help organization to reduce consumption of sources, to protect environment and to reduce costs such as

procurement costs, and transportation costs. Thus, this objective is also essential for the organizations.

On the other hand, in real life applications, there are uncertainties, vagueness and lack of information with regard to closed-loop supply chain and reverse logistics. One of the uncertainties are with regard to return rate of the products. The other uncertainty is on quality of the returned products or items. There are also uncertainties related to timing of returning items and even demands of the reusable products. To deal with the uncertainties, in this dissertation the developed multiobjective mixed-integer linear programming model is solved by using the concepts of fuzzy sets and fuzzy modelling.

In the application of the proposed model, the uncertainties associated to the problem are determined by reviewing the literature and by consulting to the factory management. The uncertainties are evaluated in two different aspects. Firstly, all the mentioned objectives and demand constraint are taken as fuzzy. Demand constraint is specifically chosen in the analysis because it affects many important decisions that the managers should make on such as inventory, production and logistics. For the solution of the first model, weighted additive approach is used for converting the fuzzy multiobjective model into crisp linear mathematical model having a single objective. This approach is preferred for the solution of the problem since the approach is easy to understand and easy to conduct. In addition, it is also easy to apply and it gives effective solutions. In the approach, weights obtained from fuzzy Analytic Hierarchy Analysis are assigned to the fuzzy objectives and fuzzy constraint.

Secondly, some of the important model parameters such as product return rate and product demand, are also evaluated under fuzzy environment. In this approach, there is no weight attained to the objectives and constraints. The model aims to reach a single satisfaction level for all the uncertainties and maximize this level.

For solving both of the single objective crisp mathematical models, an optimization software called GAMS (general algebraic modelling system) 24.04 with CPLEX solver is used. Both of the models are solved in couple of seconds and optimal solutions are obtained for both of them.

The solutions of both models given in the application section demonstrate different results. Even though demands of the customers are all satisfied, there are some differences in the results related to the distributors that the factory have to send the products, the amount of products should be sent to distributors by the factory, and the distributors should serve to the customers.

In addition, the values calculated for each objective also changed. For instance, according to the first model total cost, total CO₂ emissions and total lost products are calculated as 20.316.460 TL, 39,6 tonne and 668.540 products, respectively. On the other hand, total costs, total CO₂ emissions and total lost products are obtained as 22.552.820 TL, 47,5 tonne and 675.580 products, respectively.

In this context, the verification and validation analysis are conducted. First, distributors are selected randomly and the capacity of them are assigned as “0”. Then, the distances between factory and distributors are increased around 10.000 km. Thus, the model is tested if it gives rational results. The results of these analysis show that the model does not choose the distributor having the capacity of zero and choose the distributor which is far away from the factory.

Sensitivity analysis is also performed to check if there is a change in the solutions when the parameters are changed. In this analysis, the weights of the fuzzy objectives

and fuzzy constraints are systematically changed. Starting from the first objective, the weights are changed in the range of $[0,10;1.0]$ with an incremental increase of 0,10 while the rest of the weights are changed proportionally. The results are illustrated by figures.

Lastly, the discussions, conclusions and suggestions for the further studies are represented.

1. GİRİŞ

Tedarik zinciri yönetimi özellikle 20. yy'da önem kazanmış ve işletmelerin üzerinde önemle durdukları bir konu halini almıştır. Ancak 21. yy'la birlikte artan rekabet, küreselleşme, hızla gelişen teknoloji, müşteri odaklılık vb. faktörler işletmelerin yüksek maliyetlerle karşı karşıya gelmelerine ve karlılıklarının düşmesine yol açtı. Bu nedenle işletmeler rekabet avantajı sağlamak ve maliyetlerini düşürmek için değer yaratan faaliyetlere odaklanmaya başladılar. Kısıtlı kaynaklar, hızla artan nüfus ve dolayısıyla tüketim artışı; yaşam döngüsünü tamamlamış ürünlerin geri kazanımı ve yeniden kullanımını daha da önemli hale getirmiştir. Bu nedenlerle çevreye zararlı ve tehlikeli atıkların güvenli ve ekonomik bir şekilde uzaklaştırılması veya dönüştürülerek ekonomiye katkı sağlamaları son derece önemlidir.

İşte tersine lojistik çevresel kaygılar, küresel ısınma, karbon salınımı ve atıkların geri dönüşümü gibi konulardan dolayı giderek önem kazanmıştır. Bunlara ek olarak, yasal yükümlülükler, sosyal sorumluluk, kurumsal imaj, ekonomik faydalar ve bilinçli müşteriler, işletmeleri çevreye dost ürünler üretmeye ve aynı zamanda ömrünü tamamlamış ürünlerin geri toplanmasına sevketmektedir (Mutha ve Pokharel, 2009). Tüm bu nedenler, işletmeleri tersine lojistik uygulamaya yönlendirmektedir.

Tersine lojistik ilk olarak 1990'larda gündeme gelmiş olup en basit anlamda ileri tedarik zincirindeki akışın tersi olarak düşünülebilir. Gelişmiş birçok ülkede (Almanya, Amerika, Hollanda ve İsveç gibi) tersine lojistik çok önem verilen bir konu olup gelişmekte olan ülkelerde ise henüz çok yeni bir konudur.

Tersine lojistikte geri toplanan ürünlerden tekrar faydalanmak için yeniden kullanım, yeniden üretim ve geri dönüşüm gibi birçok ürün geri kazanım yaklaşımı söz konusudur. Literatürde tersine lojistik konusundaki çalışmalar ürün geri kazanım yaklaşımlarından ağırlıklı olarak geri dönüşüm ve yeniden üretim odaklıdır.

Ayrıca, literatürde bazı çalışmalar sadece ürünlerin tersine akışı incelerken, bazı çalışmalar ise hem ileri hem de tersine akışı ele almaktadır. Literatürdeki mevcut

alışmalar daha çok ağ tasarımı, yer seçimi ve stok yönetimi gibi konular üzerine yoğunlaşmıştır.

Bununla birlikte, işletmelerin ekonomik olarak kazanç elde etmek ve sosyal sorumluluklarını yerine getirmek gibi birbiriyle çelişen çeşitli hedeflere ulaşmak için etkin ve verimli bir planlama yapmaları gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ise hem ileri hem tersine ürün akışlarının dikkate alındığı kapalı çevrim tedarik zinciri üretim ve dağıtım planlama probleminin çözümü üzerinde durulacaktır. Bu amaçla detaylı bir çalışma sunularak üretim ve dağıtım planlama probleminin çözümü için basitten karmaşığa doğru kapalı çevrim tedarik zinciri modelleri geliştirilmiş, ürün geri kazanım yaklaşımlarından literatürde çok az incelenen yeniden kullanım ele alınmış ve kapalı çevrim tedarik zincirindeki belirsizlikler modele yansıtılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

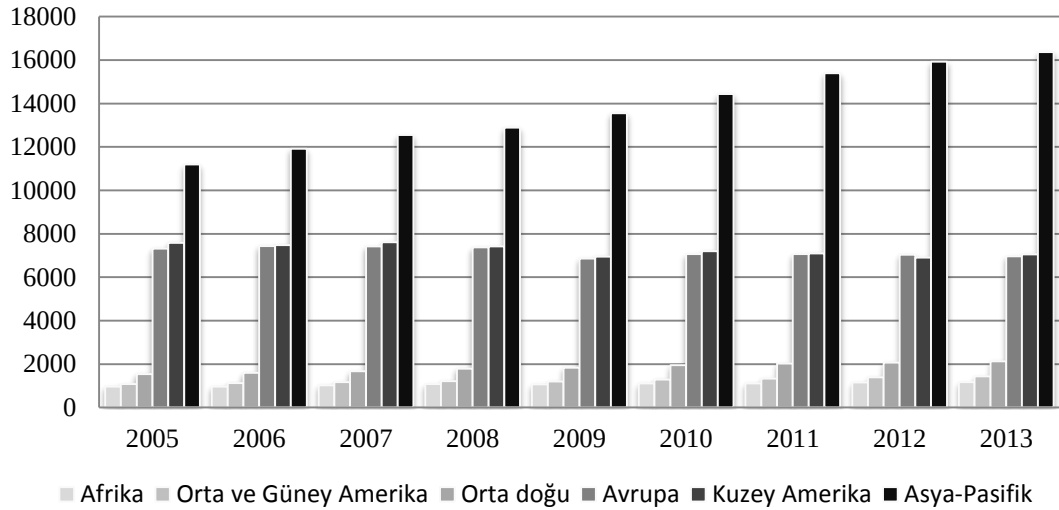
Kapalı evrim tedarik zincirinde uzun dönemli (yer seçimi, tesis yerleşimi ve kapasite gibi), orta dönemli (operasyonların bütünleştirilmesi v.b.) ve kısa dönemli (envanter, araç rotalama, çizelgeleme) kararlar söz konusudur. Kapalı evrim tedarik zinciri ve tersine lojistik literatürü incelendiğinde mevcut kantitatif çalışmaların daha çok ağ tasarımı, envanter kontrolü, yer seçimi, kaynak tahsisi ve ürün akışıyla ilgili olduğu görülmektedir (Srivastava, 2008). Diğer taraftan önemli bir konu olan ve işletmelere kısa dönem etkileri olan üretim ve dağıtım planlama konusu ise halen güncelliğini korumaktadır.

Kapalı evrim tedarik zincirinde ve tersine lojistikte bazı parametrelerde belirsizlik-muğlaklık ve bilgi eksikliği söz konusudur. Bu belirsizlikler, geri dönüş miktarında ve teslimat zamanında olduğu gibi ürün kalitesinde de olabilir. Bu nedenle bu belirsizlikleri dikkate alan modellerin işletmelerin ihtiyaçlarına uygun ve mevcut politikalarına göre tasarlanması gerekir. Bu amaçla kapalı çevrim tedarik zinciri üretim ve dağıtım probleminin çözümünde, belirsizliğin betimlenmesinde en iyi yollardan biri olarak kabul edilen, klasik/geleneksel kümelerin katı yaklaşımını ortadan kaldıran ve insan düşünce yapısındaki esnekliği matematiksel modellere yansıtıp birleştirebilen bulanık küme teorisi ve bulanık modellemeden yararlanılmıştır.

Literatür araştırması ve ürün geri kazanım faaliyetlerini uygulayan işletmelerle yapılan görüşmeler sonucunda, bu çalışma kapsamında çok amaçlı bir modelin tasarlanmasına

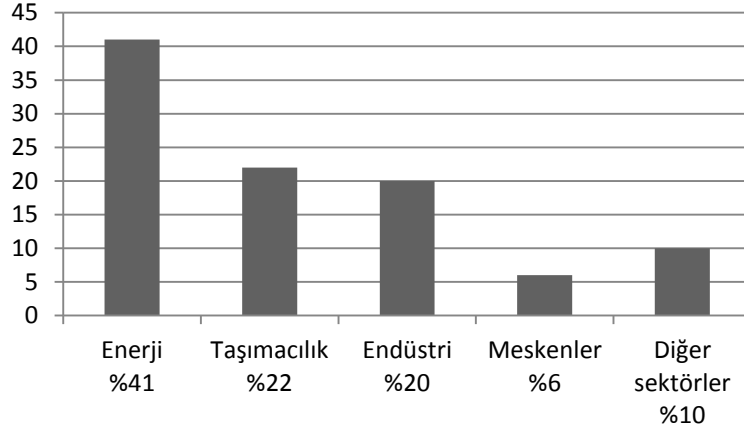
karar verilmiştir. Amaçlar, kapalı çevrimin toplam maliyetinin minimum kılınması, taşımalarda çevreye yayılan karbondioksit (CO₂) gazı emisyon miktarının minimum kılınması ve müşterilerden geri toplanamayan kullanılmış ürün (kayıp ürün) miktarının minimum kılınması şeklindedir.

Gelişmiş ülkelerde, sera gazının çevreye ve iklim değişikliğine zararlı etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle, özellikle karbondioksit gazı emisyon miktarı üzerinde çok durulan bir konudur. Birçok ülke CO₂ gazı yayılımını dikkatle izlemekte ve CO₂ yayılımını azaltma politikalarını uygulanmaktadır. Şekil 1.1’de dünya genelinde 2005-2013 yılları arasındaki CO₂ emisyonu grafiksel olarak verilmiştir (Url-1).



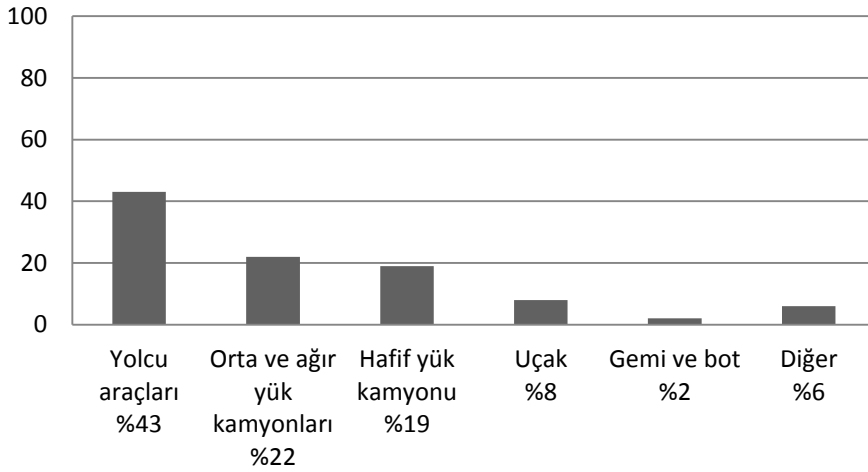
Şekil 1.1 : Dünya genelinde 2005-2013 yılları arası CO₂ emisyonu (milyon metrik ton).

Şekil 1.2’de çeşitli sektörlerin çevreye yaydıkları CO₂ miktarları yüzdesel olarak gösterilmektedir (Url-2). Şekilde de görüldüğü gibi, en çok CO₂ yayılımı enerji endüstrisindedir. Enerji endüstrisinden sonra en fazla CO₂ yayılımı taşımacılıkta görülmektedir. Bu grupta özellikle kara taşımacılığının payı en fazladır (Url-2).



Şekil 1.2 : Sektörlerin CO₂ yayılımı (Worldbank, 2014).

Şekil 1.3'te farklı araç tiplerinin çevreye yaydıkları CO₂ miktarları yüzdesel olarak verilmiştir (Url-3). Şekilde de görüldüğü gibi yolcu araçlarından sonra en çok CO₂ yayılım yüzdesi orta ve ağır yük kamyonları ile hafif yük kamyonlarındadır. Bu çalışma kapsamında incelenen kapalı çevrim tedarik zincirindeki tüm lojistik aktivitelerinin kamyon/tır taşımacılığı ile yapılacağı düşünöldüğünde CO₂ yayılımı üzerinde önemle durmanın gereğı açıktır.



Şekil 1.3 : Araç tiplerine göre CO₂ emisyonu.

Tüm bu bilgiler ışığında, bu tez çalışması yeniden kullanılabilen ürünler için kapalı çevrim tedarik zinciri üretim ve dağıtım planlama problemi üzerinde durmuş, farklı işletmelerin karşılaşılabileceğı problemler için farklı varsayımlar altında çeşitli modeller önermiş, sistemdeki belirsizlikleri göz önüne alarak çözüm yöntemi olarak bulanık modellemeden yararlanmıştır. Uygulama kısmında birden çok ürün ve

ekonomik ve çevresel kapsamlı birden çok hedef ele alınarak, ürün geri dönüş oranı, hurda ve talep fazlası üretim gibi çeşitli kısıtlar altında modelin çözülmesi amaçlanmıştır.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik literatüründe üretim ve dağıtım planlama problemi çok az çalışılmış konulardandır. Özellikle tersine lojistikte ürünlerin yeniden kullanımı yaklaşımı ile ilgili olarak literatürde çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Öte yandan yeniden kullanım yaklaşımıyla ilgili olarak yapılmış çalışmalarda üretim ve dağıtım problemini ele alan çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Ayrıca yukarıda bahsedilen belirsizlikleri dikkate alan çalışma geliştirilen çok hedefli kapalı çevrim tedarik zinciri üretim ve dağıtım planlama modelinin çözümünde, yine kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik literatüründe çok az çalışma bulunan bulanık modellemeden yararlanılarak belirsizlik ve bilinmezlik altında daha doğru kararların verilmesi ve literatürdeki tüm bu boşlukların doldurması amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Gerekliliği ve Literatüre Katkıları

Kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik literatüründeki mevcut çalışmalar ağırlıklı olarak geri dönüşüm (Shih, 2001; Realff vd., 2000; Schultmann vd., 2006) ve yeniden üretim (Mutha ve Pokharel, 2009; Kim vd., 2006) odaklıdır. Bazı çalışmalarda ise birden çok yeniden kazanım yaklaşımı entegre (geri dönüşüm ve yeniden üretim; yeniden kullanım ve geri dönüşüm (Woolridge vd., 2006)) edilmiştir.

Literatürde, yeniden kullanımla ilgili olarak çok az çalışma bulunmaktadır. Söz konusu çalışmalar, ağ tasarımı modeli, çok kriterli karar verme teknikleri, stok kontrol ve yönetimi ve yaşam döngüsü analizi gibi konular üzerine yoğunlaşmıştır. Diğer taraftan, literatür araştırmasında, yeniden kullanım için üretim ve dağıtım problemini ele alan çalışmaya rastlanmamıştır.

Kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik literatüründe, dağıtım ağı konusunda mevcut çalışmalarda problemlerin çözümünde ağırlıklı olarak karma tamsayılı modeller, stokastik modeller ve sezgisel yöntemlerden (Genetik Algoritma gibi) yararlanılmıştır. Belirsizliğin değerlendirilmesinde başarılı sonuçlar veren bulanık modellemeye ise söz konusu literatürde çok az rastlanmaktadır. Öte yandan, kapalı çevrim ve tersine lojistik problemlerindeki belirsizlik ve muğlaklık durumlarıyla başa

ıkabilmek için bulanık mantık ve bulanık modellemeden yararlanmanın çok yerinde ve uygun olacağı düşünülmektedir.

Özetlenen tüm bu bilgiler ışığında, bu tez çalışmasında, yeniden kullanılabilen ürünler için kapalı çevrim tedarik zinciri üretim ve dağıtım probleminin çözümü için farklı işletmelerin ihtiyaçlarına yönelik olarak çeşitli matematiksel modeller önerilmiştir. Birden çok hedefin aynı anda dikkate alındığı modelde maliyetlerin ve kayıp ürün miktarının minimum kılınması amaçlanmıştır. Ayrıca evreci bir yaklaşım ile taşımalar sonucu çevreye yayılan sera etkisi yaratan gazlardan biri olan karbondioksit gazı yayılımının minimum kılınması hedeflenmektedir. Modelde gerçek hayat problemlerine uygun olarak hurda miktarı, talep fazlası üretim ve geri dönüşüm oranı gibi birçok kısıt dikkate alınmıştır. Modeldeki belirsizliğin giderilmesinde bulanık mantık ve bulanık kümeleme yaklaşımından yararlanılmıştır.

Böylece kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik literatüründe çok az çalışılan yeniden kullanılabilen ürünlerin incelenmesi, yine yeniden kullanılabilen ürünlerle ilgili olarak yapılmış çalışmalardan farklı olarak üretim ve dağıtım planlama probleminin ele alınması ve çözüm yöntemi olarak bulanık mantık ve bulanık modellemeden yararlanılması ile kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik literatürüne katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.

1.3 Tezin Organizasyonu

Tez çalışmasının içeriği şu şekilde özetlenebilir: Birinci bölümde tezin amacı, gerekliliği ve literatüre katkısı üzerinde durulmuştur. Çalışmada geliştirilen kapalı çevrim tedarik zinciri modellerinden, bulanık küme ve bulanık modellemeden, bulanık modelleme kullanmanın avantajlarından kısaca bahsedilmiştir. Ayrıca çalışmanın organizasyonu açıklanmıştır.

İkinci bölümde, genel olarak tedarik zinciri kavramı üzerinde durulmuş, sırasıyla tedarik zinciri yönetimi, lojistik, yeşil tedarik zinciri, tersine tedarik zinciri ve tersine lojistik kavramları özetlenmiştir.

nc bölümde özellikle tersine tedarik zinciri ve tersine lojistik konusu incelenmiştir. Öncelikle ileri lojistik ve tersine lojistik çeşitli açılardan karşılaştırılmıştır. Bu bölümde tersine lojistik literatüründe çok önemli bir konu olan

ürün geri dönüş nedenleri üzerinde de durulmuştur. Çeşitli araştırmacıların ve kurumların yapmış olduğu tersine lojistik tanımlarını da içeren bu bölümde, ürün geri kazanım yaklaşımları tek tek açıklanmıştır. Ayrıca, bu bölümde tersine lojistiğin hangi alanlarda kullanıldığı ve bu konuda karşılaşılan belirsizlikler açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, bir önceki bölümlerde kavramsal tanımlarına yer verilen tersine lojistik ile hem ileri hem tersine ürün akışını değerlendiren kapalı çevrim tedarik zinciriyle ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. En çok üzerinde çalışılan başlıklar belirlenmiş, bu kapsamda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Beşinci bölümde bulanık kapalı çevrim tedarik zinciri modelleri yer alır. Bölümde, bulanık mantık, bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları ile ilgili olarak temel bilgiler verilmiş ve tanımlamalar yapılmıştır. Bulanık küme teorisinde çok önemli rol oynayan genelleme ilkesi açıklanmıştır. Bu tanımlardan hareketle, bu bölümde bulanık sayılar tanıtılmış ve aritmetik işlemlere yer verilmiştir. Bu bölümde ayrıca bulanık hedef programlama konusuna değinilmiş, hedefler ve kısıtların bulanık olduğu ve parametrelerin bulanık olduğu durumlar için çözüm yöntemleri açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, geri kazanımlı ürünler için kapalı çevrim tedarik zinciri üretim ve dağıtım problemini çözmek amacıyla toplam beş model geliştirilmiştir. Modeller zorluk derecesine göre en basitten en karmaşığı doğru yapılmıştır. Her bir model grafiksel olarak sunulmuş böylece modellerin anlaşılması kolaylaştırılmıştır. Geliştirilen her bir model; değişkenleri, parametreleri ve varsayımları verilerek tek tek incelenmiş ve nümerik örnekler için çözülmüştür. Ek olarak, önerilen modellerin farklı durumlar ve işletmeler için kullanılabileceği genelleştirilmiş bir model sunulmuştur.

Yedinci bölümde daha önceki bölümlerde yapılmış olan araştırmalar ışığında geliştirilmiş olan modeller gerçek hayat uygulaması ile somutlaştırılmıştır. Öncelikle uygulama problemi açıklanmış, bununla beraber notasyon verilmiş ve matematiksel formülasyon sunulmuştur. Model öncelikle tek bir hedef için çözülmüş, ardında diğer hedefler tanıtılmıştır ve modeldeki belirsizlikler dikkate alınarak çok hedefli modelin çözümünde bulanık modellemeyi kullanılmıştır. Çok hedefli model iki farklı şekilde çözülmüştür. Bunlar: hedeflerin ve talep kısıtının bulanık olduğu durum ve geri dönüş oranı ile talep kısıtının bulanık olduğu durumdur.

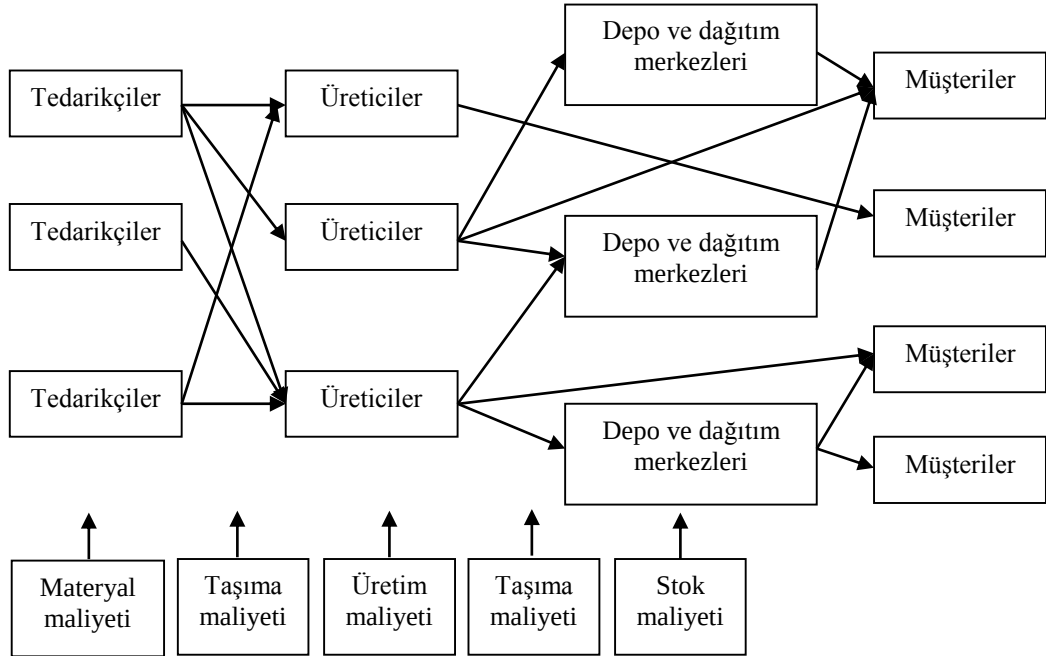
Sekizinci bölümde, modelin sonuçları değerlendirilmiş, doğruluk ve geçerlilik analizleri ile modelin doğru çalışıp çalışmadığı incelenmiş ve duyarlılık analizi yapılarak önemli parametrelerdeki değişimlere modelin nasıl cevap verdiği araştırılmıştır. Dokuzuncu bölümde de model çeşitli açılardan tartışılmıştır.

En son bölümde ise elde edilen tüm sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecek çalışmaların hangi yön/lerde ilerleyebileceği tartışılmaktadır.

2. TEDARİK ZİNCİRİ

2.1 Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri, müşteri isteklerine uygun olan ürünün üretilmesi için gerekli malzemelerin temini, nihai ürünün üretilmesi ve nihai ürünün müşterilere sevkiyatının yapılması için gerekli olan tüm tesisleri içeren bir ağıdır. İşte bu nedenlerden ötürü zincirin en başından en son halkasına kadar olan tüm faaliyetlerin (hammadde tedariki, üretim/montaj, stok ve depo yönetimi, satınalma ve sipariş yönetimi ve bilgi sistemleri vb.) yönetimini içerir (Savaş ve Değirmenci, 2010). Tedarik zinciri; tedarikçiler, üreticiler, lojistik hizmet sağlayıcıları ve perakendecileri kapsar ve bu sistemdeki malzeme, ürün ve bilgi akışını içerir. Bir diğer tanıma göre, tedarik zinciri; hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin tedarikçiler, depolar, dağıtım merkezleri ve perakendeciler arasındaki akışı içerir (Simchi-Levi vd., 2003).



Şekil 2.1: Tedarik Zinciri (Levi vd., 2003).

2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi; müşterilere doğru ürünün, doğru miktarda, doğru zamanda, doğru fiyatta ve istenilen kalitede ulaştırılmasını amaçlar ve bu zincirdeki malzeme, bilgi ve paranın entegre bir şekilde yönetimini içerir (Cesur ve Birgün, 2010). Tedarik zinciri yönetimi sistemdeki toplam maliyeti azaltmak için tedarikçilerin, üreticilerin, depoların ve dağıtım merkezlerinin etkili bir şekilde bütünleştirilmesini hedefler (Güngör vd., 2010).

Tedarik zinciri yönetimi, müşteri ihtiyaç ve gereksinimlerini karşılamak üzere tedarikçiden üreticiye, üreticiden dağıtım merkezlerine, dağıtım merkezlerinden müşteriye doğru olan malzeme ve bilgi akışının planlanması, tasarlanması ve kontrol edilmesini ifade eder (Güngör vd., 2010).

Tedarik zinciri yönetimi; hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin, tedarikçiler, depolar, dağıtım merkezleri ve perakendeciler arasındaki akışını, depolamasını, planlanmasını ve kontrolünü içerir (Lambert ve Stock, 1999).

2.3 Lojistik

Lojistik, eski Yunanca “Logistikos” kelimesinden gelmekte olup ansiklopedilerde “hesap kitap bilimi” veya “hesapta becerikli” anlamına gelmektedir. Lojistik kelimesi, mantık (logic) ve istatistik (statistics) kelimelerinin birleşimidir (Tanyaş, 2011).

Lojistik kısaca malzemelerin/ürünlerin bir noktadan (çıkış noktası) başka bir noktaya (varış noktası) aktarılması sırasındaki tüm malzeme akışını kontrol ve koordine edilmesini içerir. Lojistik; taşıma, depolama, paketleme, sigorta, gümrük vb. faaliyetleri kapsar (Tanyaş, 2011).

2.4 Yeşil Tedarik Zinciri

20.YY’da araştırmalar çevresel konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Özellikle, Ozon tabakasındaki delinme, küresel ısınma ve tehlikeli atık gibi çevresel konular en önemli çevre konularını oluşturmaktadır (Wang ve Gupta, 2011). Çevresel konuların önem kazanması üzerine işletmelerde çevreci bakış açısıyla organizasyonlarını ve proseslerini gözden geçirmeye başladılar.

Yeşil tedarik zinciri geri dönüşebilen çevre dostu ürünlerin üretildiği, tüm proseslerde (satınalma, ürün dizaynı, depolama vd.) ve operasyonlarda (pazarlama, lojistik gibi) çevreci bir yaklaşımın sürülüp, müşteri ihtiyaç ve isteklerini karşılandığı bir sistemdir. Yeşil tedarik zinciri kısaca çevreci bakış açısının tedarik zincirine yansımış şeklidir. Yeşil tedarik zinciri bir başka bakış açısıyla, tedarik zincirinin tüm kollarına çevreyi koruma bakış açısının entegre edildiği hatta ve hatta tedarikçilerle de çevresel yönetimin birleştirildiği bir sistemdir (Temur vd., 2010).

2.5 Tersine Tedarik Zinciri ve Tersine Lojistik

Çevresel kaygılar ve artan rekabet koşulları nedeniyle işletmeler, kullanılmış ürünlerin müşterilerden toplanması, geri dönüşümü, yeniden üretimi ve imha aşamalarını içeren tersine lojistik konusuna eğilmişlerdir. Tersine lojistik gelişmiş ülkelerde tedarik zincirinin zorunlu bir parçası iken gelişmekte olan ülkelerde halen çok yeni bir konudur (Abdulrahman vd., 2014).

Tersine lojistik, tersine tedarik zincirinin en önemli beş faaliyetinden biridir. Diğer faaliyetler ise şu şekilde sıralanabilir: toplama, inceleme/ayırma, ön-işleme, lojistik ve dağıtım ve ağ tasarımı (Srivastava, 2008).

3. TERSİNE LOJİSTİK

Hukuksal düzenlemeler, çevresel kaygılar ve genişletilmiş üretici sorumluluğu kavramı üreticileri sadece ürünleri üretmekle değil aynı zamanda hayat döngüsünün sonuna gelmiş ürünlerin bundan sonraki sürecinden de sorumlu tutmaktadır (Bogataj ve Grubbström, 2013). Tersine lojistik çok önemli bir konu olmasına rağmen, özellikle son 10 yıldır yukarıda belirtilen nedenlerle akademik çalışmalarda ve endüstriyel uygulamalarda dikkat çekecek şekilde artış gözlemlenmiştir. Aslında bu konuda yapılmış olan birçok çalışma sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine artan ilgiden kaynaklanmaktadır (Bai ve Sarkis, 2013).

İşletmelerin tersine lojistik faaliyetlerini başarılı bir şekilde uygulayabilmeleri için mevcut sistem ve süreçlerinde düzenleme yapmaları ve yeni üretilen ürünlerle yeniden kazandırılan ürünlerin akışına uygun lojistik sistemleri kurmaları gerekir (Demirel ve Gökçen, 2008).

Etkin bir tersine lojistik sisteminde iade edilen ürünlerin takibi ve izlenmesi gibi birçok faaliyet için bilgi teknolojileri önem taşımaktadır (Ravi ve Shankar, 2005).

Tersine lojistiğin, işleme maliyetlerini azaltma, hatalı ya da modası geçmiş ürünlerin fırsat maliyetlerini azaltma, kaynakların verimli kullanılmasını sağlama ve çevreyi koruma gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Abdulrahman vd., 2014; Chiou vd., 2012).

Tersine lojistik ayrıca organizasyonların artan maliyetlerini kontrol etmelerini sağlayan ve ürünlerin değerini arttıran bir araçtır. Bu nedenlerden ötürü, organizasyonların performanslarını arttırmak için, tersine lojistiğin faydalarını anlamaları önemlidir (Ramirez, 2012).

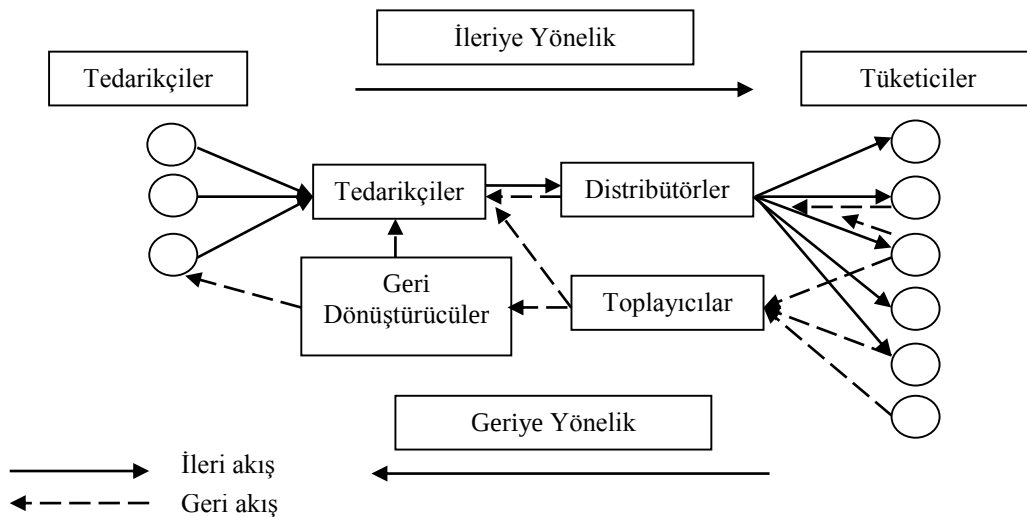
Tersine lojistik özellikle Avrupa’da çok önem verilen bir konudur. Örneğin, sadece Hollanda’da otomobil endüstrisi kullanılmış tüm arabaların geri dönüşümünden sorumludur. Bu konudaki yasalar yeterince bağlayıcı olmadığı zaman bile, müşterilerin çevreci yaklaşımları ve çevrenin korunması konusundaki beklentileri firmalar üzerinde baskı oluşturmuştur (Fleishmann vd., 1997). Bu nedenle, çevreyi

koruma amaçlı “yeşil imaj” işletmeler açısından çok önemli bir kriter ve önemli bir rekabet unsuru haline gelmiştir.

Tersine lojistikte çeşitli yaklaşımlar (geri toplama, inceleme, yeniden üretim, geri dönüşüm, tamir gibi) söz konusudur. Makine ve ekipmanların kiralanması da tersine lojistik kapsamında ele alınabilir (Alumur vd., 2012).

3.1 İleri ve Tersine Lojistiğin Karşılaştırması

Tersine lojistik, ileri lojistiğin simetriği değildir. Tersine lojistik, ileri lojistiğe göre daha karmaşık, pahalı ve farklı prosesler içerir ve ayrıca daha reaktif olmayı gerektirir (Srivastava, 2008). Tersine lojistik faaliyetlerinin ileri lojistik faaliyetlerinden en büyük farkı bilgi akışındaki, geri dönen ve imha edilmesi gereken ürünlerin talep ve planlamasındaki belirsizliklerdir (Fuente vd., 2008). Tersine lojistik dağıtım ağlarındaki bir diğer belirsizlik de, tüketicilerden toplanacak olan kullanılmış ürünlerin kalitesindeki belirsizliktir. Ayrıca birçok işletmenin tersine lojistik konusunda deneyimi yetersiz olduğundan, tersine lojistik faaliyetlerinin yönetilmesi zordur. Bu durum tersine lojistik sistemlerinde büyük miktarda belirsizliğe neden olmaktadır (Bai ve Sarkis, 2013). Şekil 3.1’de ileri ve tersine lojistik sistemlerindeki ürün ve/veya malzeme akışı gösterilmiştir. İleri ve tersine lojistik arasındaki farklılıklar Çizelge 3.1’de kısaca özetlenmiş ve listelenmiştir.



Şekil 3.1: İleri ve tersine akış (Fleischmann vd., 1997).

Çizelge 3.1 : İleri ve tersine lojistik arasındaki farklar
(Jamshidi, 2011; Ciliberti vd., 2008).

İleri lojistik	Tersine lojistik
1. Tahmin etme göreceli olarak daha kolaydır. 2. Taşıma genellikle bir noktadan başlayıp, birden fazla noktaya doğru olabilir. 3. Ürün kalitesi, paketleme, ve fiyatlandırma nispeten düzgündür, değişmez. 4. Uzaklık ve rota bellidir. 5. Standart bir kanal söz konusudur. 6. Muhasebe sistemi ileri dağıtım maliyetlerini çok yakından izler. 7. Maliyet kalemleri şeffaftır. 8. Stok yönetimi uygulanabilir. 9. Gerçek veriler mevcut ve kolaylıkla takip edilebilir. 10. Pazarlama yöntemleri açıktır. 11. Büyük miktarlar söz konusudur. 12. Otomatik bilgi sistemleri mevcuttur. 13. Sipariş çevrim zamanı kısadır.	1. Tahmin etme daha zordur. 2. Taşıma genellikle birden fazla noktadan tek bir noktaya doğru olabilir. 3. Ürün kalitesi ve paketleme aynı değildir, değişkenlik gösterir. 4. Uzaklık ve rota belirsizdir. 5. Değişken bir kanal vardır. 6. Maliyetlerini belirlemek çok zordur. 7. Maliyet kalemleri şeffaf değildir. 8. İşlemler karmaşıktır. 9. Pazarlama karmaşıktır. 10. Küçük miktarlar söz konusudur. 11. Manuel ve otomatik bilgi sistemleri mevcuttur. 12. Sipariş çevrim zamanı göreceli olarak daha uzundur.

3.2 Ürün Geri Dönüş Nedenleri

Ürün geri dönüşleri çok çeşitli nedenlerden olabilir. Genellikle hatalı ürünler, mevsimsel ürünler, geri dönüştürülebilir ve tehlikeli ürünler geri dönmektedir (Ramirez, 2012). İade edilen ürünlerin kalitesi bozuk, hasarlı olabileceği gibi ürün tüketici tarafından sadece istenmediğinden ötürü de iade edilmiş olabilir (Ravi ve Shankar, 2005). Geri dönen ürünlerin kalitesine ve geri dönüş yüzdesine bağlı olarak ürünler yeniden üretilebilir, yedek parça olarak kullanılabilir, ikincil pazarlara satılabilir ya da geri dönüştürülebilir (Guide Jr., 2000). Aşağıda Çizelge 3.2’de ürün geri dönüş nedenleri üç ana faktörde toplanmış ve her bir faktör için alt faktörler listelenmiştir.

Çizelge 3.2: Geri dönüş nedenleri (Jamshidi, 2011).

Faktörler	Alt faktörler
Üretimden kaynaklanan	1. Hammadde fazlası 2. Kalite kontrol geri dönüşleri 3. Üretim artığı ve yan ürünler
Dağıtımdan kaynaklanan	1. Güvenlik ve sağlık problemlerinden ötürü ürün geri toplama 2. Firmadan firmaya satıştaki geri dönüşler (Hasarlı teslimatlar ve satılamayan ürünlerden kaynaklanan ürün geri dönüşlerine izin veren sözleşmeler) 3. Modası geçen ürünlerin geri dönüşü 4. Ürünlerin dağıtımında taşıyıcı olarak kullanılan materyallerin (örneğin: paletler, konteynır) geri dönüşleri (Fonksiyonel geri dönüşler)
Müşteriden kaynaklanan	1. Ürün ihtiyaçlarının karşılanamaması durumunda ve müşterilerin fikirlerini değiştirmesi neticesindeki dönüşler 2. Kullanım süresince ortaya çıkan problemlerden ötürü garanti kapsamındaki geri dönüşler 3. Tekrar kullanılamayan ama geri dönüştürülebilir ürünlerin geri dönüşü 4. Ekonomik ve fiziksel olarak kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin dönüşü

3.3 Tersine Lojistik Tanımları

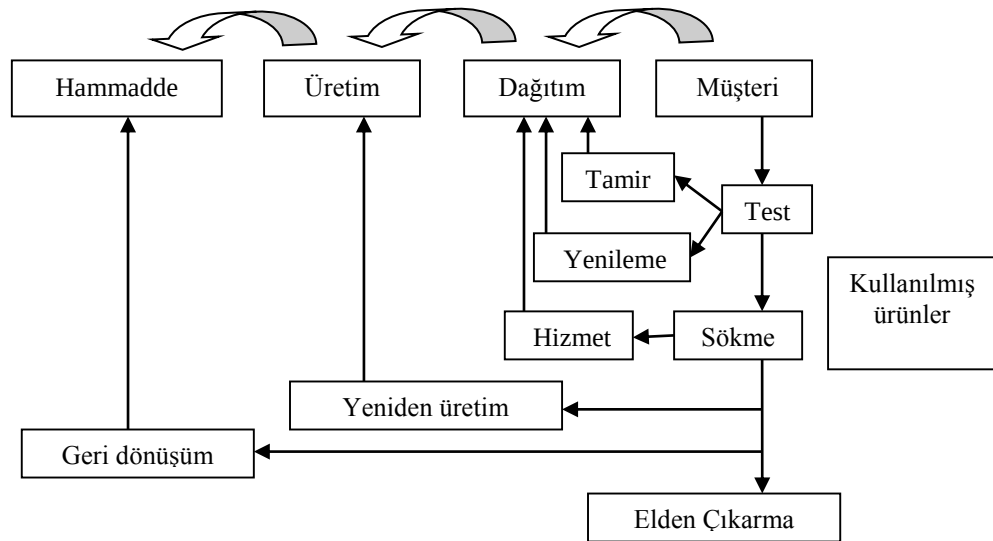
Tersine lojistik çeşitli yazarlarca birçok şekilde tanımlanmıştır.

- Örneğin, Stock (1992) tersine lojistiği şu şekilde tanımlamıştır: Tersine lojistik genellikle geri dönüşüm, atık ve tehlikeli atık yönetimini belirtmek için kullanılırken, daha geniş bir bakış açısıyla kaynak azaltımı, geri dönüşüm, materyallerin yeniden kullanımı ve imha işlemleri süresince olan tüm lojistik aktivitelerini kapsar.
- Fleischmann vd. (1997)'ne göre tersine lojistik kullanıcıdan toplanan kullanılamayacak haldeki ürünün imhasından, tekrar pazarda kullanılabilecek ürüne kadar olan tüm lojistik faaliyetlerini içerir.
- Tersine Lojistik Avrupa Çalışma Grubu (REVLOG) (1998) ise tersine lojistiği hammaddelerin, yarı mamul stoğunun ve son ürünün üretimi, dağıtımı, yeniden kazanımı, paketlenmesi veya imha edilmesine yönelik tüm geri akışın planlama, uygulama ve kontrolünü kapsayan bir süreç olarak tanımlamıştır (Pinna ve Carrus, 2012).

- Rogers ve Tibben-Lembke (1999)'e göre tersine lojistik, tüketiciden üreticiye hammaddelerin, işlenmekte olan ürünlerin, nihai ürünlerin ve bilgi akışının düşük maliyetli ve etkin olarak yeniden değer üretmek veya uygun bir şekilde imha etmek amacıyla planlama, uygulama ve kontrol faaliyetlerini içerir.

3.4 Tersine Lojistikte Yaklaşımları

Ürün geri dönüşleri başlığı altında anlatıldığı üzere; ürünler, bileşenleri ve hatta malzemeler kalite, bozulma (garanti kapsamında), fazla üretim ve ürün yaşam döngüsünün (ÜYD) tamamlamış olma gibi çeşitli nedenlerden ötürü tedarik zincirine dahil olabilmektedir. Bu durumda yeniden üretim, geri dönüşüm, tamir gibi ayrı ayrı özellikleri olan çeşitli yaklaşımlar söz konusu olup (Thierry vd., 1995) tüm bu yaklaşımlar, farklı lojistik ağ tasarımı gerektirmektedir. Bu yaklaşımlar Şekil 3.2'de gösterilmiş ve aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır:



Şekil 3.2: Tersine lojistik faaliyetlerinin akış diyagramı (Srivastava, 2008).

- Yeniden kullanım - Direkt kullanım (Reuse): Geri dönen ürünler ve malzemeler, taşımada ve yeniden ürün üretiminde kullanılabilir. Bu duruma örnek olarak; cam şişe (depozitolu), palet ve konteynırlar verilebilir. Direkt kullanımda, yeterli kalitede olan ürün ve malzemeler çeşitli operasyonlardan geçirilerek (temizleme, tamir vb.) yeniden kullanılırlar (Jamshidi, 2011). Bu durum taşıdıkları ya da

içerdikleri ürünün kalitesini veya performansını etkilemez (Demirel ve Gökçen, 2008).

Avusturya, Belçika, Finlandiya, Fransa, İtalya, Hollanda, İspanya ve İsveç gibi Avrupa Birliği ülkeleri Almanya'nın direk olarak kullanımla ilgili düzenlemelerini örnek almakta ve bu konuda bağlayıcı yasaları parlamentodan geçirmektedirler (Guide Jr., 2000).

- Yeniden üretim (Remanufacturing): REVLOG'a göre yeniden üretim, kullanılmış bir ürünün yeni bir ürün kadar iyi olması için ayrıştırma, temizleme, test etme, yeniden monte etme gibi çeşitli aşamalardan geçtiği prosestir (Teunter ve van der Laan, 2002). Bir başka deyişle, yeniden üretim ürünün karakteristiğini koruyarak ürünü yeniden üretmek demektir (Fleischmann vd., 1997).

Ürün yaşam döngüsünün sonuna gelmemiş olan ürünler yeniden üretim işlemiyle talebin bir kısmını karşılamak için kullanılabilirler. Yeniden üretim merkezleri yüksek bütçeli yatırımlar gerektirir ve daha çok teknoloji tabanlıdır (Srivastava, 2008).

- Geri dönüşüm (Recycling): Daha çok materyallerin ya da kağıt, pil, akü, cam gibi ürünlerin geri dönüşümünü ifade eder. Amerika Birleşik Devletlerinde, camın %20'si, kağıt ve kağıt ürünlerinin %30'u ve alüminyum kutuların ise yaklaşık %60'ı geri dönüştürülmektedir. En yüksek oranda geri dönüşüm (%95) ise otomobil endüstrisinde görülmektedir. Ayrıca, geri dönüştürülen araçların %75'i yeniden kullanılmaktadır (Demirel ve Gökçen, 2008).

- Yeniden kazanma (Recovery): Ürünlerden mümkün olduğunca ekonomik olarak yararlanmayı amaçlar ve birden fazla şekilde ortaya çıkar (Mahadevan vd., 2003). Geri dönüşüm (recycling), onarım-tamir (repairing) ve yeniden üretme (remanufacturing) yeniden kazanma başlığı altında toplanabilir (Fleischmann vd., 1997).

Ürünün kalitesi ne kadar düşükse, o kadar çok geri dönüşüm veya yeniden üretim için zaman harcanır ve bir o kadar işgücü gerekir. Tüm bu işlemler ürünün nihai fiyatına doğrudan veya dolaylı olarak vergilerle eklenir (Bogataj ve Grubbström, 2013).

- **Tamir-Onarım (Repairing):** Tamir-onarım merkezleri daha düşük yatırım ve daha çok yetenek gerektirir (Srivastava, 2008). Amaç geri dönen ürünü tamir edip tekrar sisteme dahil etmektir. Onarılan ürünler ikincil pazarlara satılabilir veya yedek parça olarak kullanılabilirler.
- **Parça Çalma-Yamyamlaştırma (Cannibalization):** Kullanılmış ürün veya bileşenden, başka ürün veya bileşenlerin tamir, yenilenme veya yeniden üretiminde kullanılmak üzere sınırlı bir dizi parçanın geri alınmasıdır.
- **Yakma (Incineration):** Kalitesi yetersiz olan ürün ve malzemeler yakma yöntemiyle imha edilir ve açığa çıkan enerji saklanır (Jamshidi, 2011).
- **Elden çıkartmak (Disposal):** Teknik ve ekonomik nedenlerden ötürü kullanılamayacak ürünlerin elden çıkartılmasıyla ilgilidir (Jamshidi, 2011). Bu kavram, geri dönen ürünlerin oranı ve kalitesiyle ilgilidir.

3.5 Tersine Lojistik Uygulama Alanları

Özellikle hızlı gelişen teknoloji ile her geçen gün elektronik ürünlerin bir üst modeli çıkmakta, ürünlerin yaşam döngüsü kısalmakta ve elektronik modeller hızlıca eskimektedir. Bu nedenle çevreye en az zararla eskiyen/yaşam döngüsünü tamamlayan ürünlerin toplanması ve tersine lojistik yöntemleri kullanılarak yeniden kazandırılması gerekmektedir (Temur, 2012).

Tersine lojistik, fotokopi makineleri, cep telefonları, kameralar, bilgisayarlar, piller, beyaz eşyalar, tonerler ve ampul gibi ürünleri içeren elektronik sektörde kullanıldığı gibi kağıt, cam, alüminyum kutular gibi materyallerin geri dönüşümünde ve özellikle otomobil yan sanayinde uygulanmaktadır. Tersine lojistik ayrıca demir-çelik, havacılık ve ilaç sektörlerinde de uygulanmaktadır.

3.6 Tersine Lojistikte Karşılaşılan Belirsizlikler

Tersine tedarik zincirinde risk ve belirsizlikler özellikle müşterilerden üreticiye geri dönen ürünlerin miktar, kalite ve zamanlamasındadır (Schulmann vd., 2006). Bu belirsizlikler çok çeşitli sebeplerden örneğin, ürün çeşitliliğinden, değişen ürün yaşam döngülerinden ve müşteri davranış ve seçimlerinden kaynaklanabilir (Srivastava, 2008). Bir diğer belirsizlikte geri dönen ürünlerin fiyatlandırılmasındadır. Bu nedenlerden dolayı, müşteriden gelen ürünlerin akışı yönetilirken bu belirsizliklerle başa çıkılabilmelidir ve bu belirsizlikleri yönetebilmek için çeşitli teknik ve strateji geliştirme ihtiyacı vardır (Guide Jr., 2000).

Tersine lojistik geliştirmekte olan ülkeler için yeni bir konu olup, bu konuda işletmelerde eksik ve güvenilir olmayan bilgiler mevcuttur. Ayrıca, bu konuyla ilgili olarak veri tabanındaki eksikliklerden ötürü işletmelerin kararlarını hızlı bir şekilde almaları oldukça zor olmaktadır.

4. KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ VE TERSİNE LOJİSTİK KONULARINDA LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde bazı araştırmacılar sadece ürünlerin tersine akışını incelerken (Inderfurth vd., 2001; Das ve Chowdhury, 2012) bazı araştırmacılar ise hem ileri hem de tersine akışı (Neto vd., 2008, Amaro ve Barbosa-Póvoa, 2009) ele almaktadır.

Tersine lojistik ve kapalı çevrim tedarik zinciri konularıyla ilgili olarak birçok araştırmacı daha çok geri dönüşüm (Schulmann vd., 2006; Realff vd., 2000; Yang vd., 2009) ve yeniden üretim (Srivastava, 2008; Aktin vd. 2010; Alumur, 2012) konuları üzerine odaklanmıştır.

Tersine lojistik ile ilgili temel çalışmalar daha çok kavramsal olarak konuya yaklaşmıştır (Realff vd., 2000; Pokharel ve Mutha, 2009; Jamshidi, 2011).

- **Kavramsal çalışmalar**

Literatürdeki bazı çalışmalar, kapalı çevrim tedarik zincirini kavramsal olarak incelemiştir. Örneğin, De la Feunte vd. (2008) stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerde talep yönetimi, sipariş yönetimi, üretim yönetimi, satınalma yönetimi, dağıtım planlama yönetimi ve müşteri yönetimi gibi faaliyetlerle ilgili olarak prosesler ve alt proseslerin tanımlanmasıyla ilgili bir çalışma yapmıştır.

- **Literatür araştırması**

Fleischmann vd. (1997) tersine lojistik konusunda mevcut literatürü incelemiştir. Tersine lojistik literatüründeki üç ana problem- dağıtım planlama, envanter kontrolü ve üretim planlama- üzerinde durmuşlardır. Ayrıca, tersine lojistikteki aktörleri, ileri ve geri dağıtım kanalları arasındaki ilişkiyi ve hangi işlemi (test etme, toplama, taşıma vb.) kimin yapması gerektiği konuları üzerinde tartışmışlardır.

Govindan vd. (2015) ise kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistikle ilgili olarak detaylı bir çalışma sunmuş, literatürdeki 2007-2013 yılları arasında yapılmış olan

toplam 382 makaleyi incelemiştir. Yazarlar mevcut çalışmaları konu bazlı olarak sınıflandırmış ve literatürdeki eksikler vurgulamıştır.

Agrawal vd. (2015), tersine lojistikte ikincil pazarlar ve ürün yeniden kazanım yaklaşımlarıyla ilgili olarak yapılmış toplam 242 çalışmayı incelemiştir.

- **Ağ tasarımı**

Ağ tasarımıyla ilgili olarak, sadece tersine lojistik sistemini (tek yönlü olarak) veya hem ileri hem de tersine tedarik zincirini ele alan (çift yönlü) çalışmalar mevcuttur. İleri ve tersine lojistik sistemlerini bütünleştirerek ele alan çalışmalar, çeşitli kısıtlara göre kapalı veya açık çevrim sistemler olarak adlandırılır. Kapalı çevrimli sistemler, kısaca ileri ve tersine tedarik zincirlerini ürün yaşam çevrimini kapsayacak şekilde genişletilmesi ve bütünleştirilmesini kapsar (Özkır, 2009). Kapalı çevrimde, müşteri ihtiyaç ve gereksinimlerine göre yeni ürünün üretilmesi, dağıtım kanallarıyla müşterilere ulaştırılması, çeşitli sebeplere (modası geçme, bozulma, kullanım ömrünü tamamlama vb.) ürünlerin müşterilerden üreticiye geri gönderilmesi, geri dönen ürünlerin geri dönüşüm merkezlerine gönderilerek tersine tedarik yaklaşımlarından uygun olanına karar verilmesi ve uygulanması, daha sonra da müşterilere satılmak üzere dağıtım merkezlerine gönderilmesinden oluşan bir çevrim söz konusudur. Açık çevrimli sistemlerde ise; ürün geri dönüşüm için esas/özgün üreticisine dönmeyip, geri dönüşüme istekli başka partilerce geri dönüştürülür, böylece ürün/malzemeler yeniden kullanılabilir.

Ağ dizaynı ve tasarımı tersine lojistik operasyonlarının yönetimindeki en zorlu element ve stratejik bir konudur. Ağ tasarımı çeşitli tesislerin sayı, yer, kapasitesini ve tesisler arasındaki malzeme akışını düzenlenmesi gibi çok çeşitli kararları içerir (Mutha ve Pokharel, 2009). Geri kazanım maliyetlerini büyük oranda taşıma faaliyeti oluşturduğundan, etkin ve verimli tersine lojistik ağ tasarımı önem kazanmaktadır (Demirel ve Gökçen, 2008).

Tersine lojistik ağ sistemlerinde daha çok karma tam sayılı matematiksel programlama modelleri kullanılmıştır (Demirel ve Gökçen, 2008; Aktin vd., 2010; Zeballos vd., 2012).

Literatürde tersine lojistik problemlerinin çözümüne yönelik deterministik ve stokastik modeller öneren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Deterministik modellerde; talep, geri toplanacak ürün miktarı, yeniden sisteme kazandırılacak ürün miktarı ve diğer tüm parametrelerin belirli olduğu varsayımı bulunmaktadır. Stokastik modellerde ise aksine talebin ve geri dönen ürün miktarının belirsiz olduğu varsayılır. Stokastik modelleme daha çok veri gerektirir ve daha çok aşamada çözülür.

Literatürde bu konuda yapılmış çalışmalardan örneğin, Hu vd. (2002) belirli bir zaman aralığı için (10 birim zaman) çok çeşitli tehlikeli atıkları ele almış ve toplam tersine lojistik maliyetini minimum kılmayı amaçlamıştır. Çalışmada ayrıca, çeşitli iç ve dış faktörlerle ilgili kısıtlar ele alınmış ve toplam tersine lojistik işleme maliyetinin minimum kılınması için zaman kesitli doğrusal analitik model kullanılmıştır.

Kim vd. (2006) tersine tedarik zincirinde yeniden üretim yaklaşımı için toplam karın maksimum kılınmasını amaçlayan ağ tasarımı ve tedarik planlamasına yönelik olarak karma tam sayılı matematiksel model önermiştir.

Kusumastuti vd. (2008) çok amaçlı bir matematiksel model üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada, yenilenen ürünlerin satışından elde edilecek karın maksimum kılınması, aynı zamanda enerji tüketimi ve karbondioksit yayılımının minimum kılınması amaçlanır.

Srivastava (2008) tersine lojistik ağ tasarımı probleminin çözümünde birden fazla dönem için iki aşamalı bir yaklaşım önermiştir. Yazar ilk olarak toplama merkezlerinin açma kararını incelemiş ve çeşitli tesisler için ürün geri dönüş miktarlarını hesaplamıştır. Sonraki aşamada ise imha merkezleri açıp açmama kararı ve kapasite arttırım kararlarını incelemiştir.

Neto vd. (2008) çalışmalarında çok amaçlı programlama kullanarak maliyeti düşürmeyi amaçlarken aynı zamanda çevreye olan etkileri azaltmayı hedeflemiştir. Çalışma geri dönüşüm ve yakarak imha durumları ele alınmıştır. Ayrıca çalışmada sürdürülebilir lojistik ağlarının tasarımı ve etkinliğinin ölçümü yapılmıştır.

Tuzkaya (2008), kapalı çevrim tedarik zinciri ağ tasarımı problemini ele almıştır. Geliştirilen model Melez Genetik Algoritma ile Tavlama Benzetimi yaklaşımlarından yararlanılarak çözülmüştür.

Mutha ve Pokharel (2009) ise yeniden üretim ve geri dönüşüm için yeni ve eski ürünleri ele alan stratejik tersine lojistik ağ tasarımı konusunu ele almıştır. Araştırmacılar, geri dönen ürünlerin belirli bir oranının imha edildiğini varsayan tek amaçlı (maliyeti minimum kılma) matematiksel bir model kurmuştur. Çeşitli senaryolarla taşıma ve stok maliyetlerindeki değişim gözlemlenmiştir. Çalışmada geri dönen ve yeniden kullanılabilir ürün sayısı arttıkça stok ve taşıma maliyetlerinde artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Amaro ve Barbosa-Póvoa (2009), geri dönüşüm ve yeniden üretimi ele alan kapalı çevrim tedarik zinciri modelinde talep ve fiyattaki belirsizlik için birden fazla dönemi kapsayan karma tam sayılı model geliştirmiş ve optimal sonucu dal-sınır algoritması ile elde etmiştir.

Lee ve Dong (2009) ise tersine lojistik operasyonlarındaki belirsizlikleri dikkate alarak dinamik ağ tasarımı modelini kurmuş, modelin çözümünde ise iki aşamalı stokastik programlamadan yararlanmıştır.

Paksoy vd. (2011) çalışmalarında birden çok ürünlü kapalı çevrim tedarik zinciri için ağ tasarımı incelemiştir. Çalışmalarında ayrıca birden çok senaryoyu, örneğin değişken talep, farklı ürün ve farklı geri dönüş oranları, kar, taşıma kapasitesi ve emisyon oranlarındaki değişimin sistem üzerindeki etkisini incelemiştir. Geliştirilen model, taşıma, satınalma ve CO₂ emisyonundan kaynaklanan toplam maliyetin minimum kılınması ve geri dönüştürülen ürün miktarının maksimum kılınmasını amaçlar.

Alumur vd. (2012) çalışmalarında birden çok periyodu ele alarak çamaşır ve kurutma makinelerinin tersine lojistik ağ tasarımı problemini ele almıştır. Geliştirilen tek hedefli model karın maksimum kılınmasını amaçlar. Geri dönüşüm ve yeniden üretimin ele alındığı çalışmada, model karma tam sayılı doğrusal programlama ile çözülmüştür.

Cardoso vd. (2012) kapalı çevrim tedarik zinciri ağ tasarımı ve planlanması probleminde beklenen şu anki değeri incelemiş ve eş zamanlı olarak çeşitli risklerin ve çevreye olan zararların minimum kılınmasını amaçlayan karma tam sayılı doğrusal programlama modelini önermiştir.

Amin ve Zhang (2013) çalışmalarında, KÇTZ modeli ağ tasarımı problemini ele almıştır. Çalışmada talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizdir. Geliştirilen stokastik model çok amaçlı olup çevreyi korumaya yönelik bir yaklaşım benimsenmiştir.

Roghanian ve Pazhoheshfar (2014) tersine lojistikteki kapasite, talep ve ürün kalitesindeki belirsizlikleri ele almıştır. Çalışmada, yeniden üretim ve geri dönüşümle ilgili olarak birden çok ürünlü ve çok aşamalı tersine lojistik ağ tasarımı problemi için olasılıklı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Geliştirilen model genetik algoritma (GA) ile çözülmüştür.

Das ve Posinasetti (2015) yeniden kullanılabilen, tamir edilebilir ve modüler birden çok ürün için KÇTZ’de ağ tasarımı problemini incelemiştir. Modelde üç hedef bulunur. Bunlar: toplam karın maksimum kılınması, toplam harcanan enerjinin minimum kılınması ve çevreye yayılan zararlı gazların emisyonunun minimum kılınması şeklindedir. Burada son hedefteki çevreye yayılan zararlı gazların emisyonunun hesaplanmasında, üretimden taşımaya kadar birçok evre göz önüne alınmıştır.

- **Üretim Planlama**

Qu ve Williams (2008) ise otomotiv sektöründe tersine lojistiği ele alan çalışmalarında üretim planlama ve fiyatlandırma konularında yoğunlaşmış, doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada ayrıca çeşitli senaryolar için sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Shi vd. (2011a) kapalı çevrim tedarik zincirinde tek dönem için birden fazla ürünün üretim planlama problemini ele almıştır. Yeniden üretimin incelendiği talep ve geri dönen ürün miktarının belirsiz olarak ele alındığı çalışmada karın maksimum kılınması amaçlanmıştır. Doğrusal olmayan matematiksel modelin çözümünde, doğrusala yakın optimal sonuç elde etmek için lagrange yaklaşımından yararlanılmıştır.

Baptista vd. (2012) birden çok dönemli birden çok ürünü kapsayan kapalı çevrim tedarik zinciri modeli için hem ağ tasarımı hem de üretim planlama problemlerini incelemiştir. Çalışmada, talep ve geri dönen ürün miktarlarındaki belirsizlik ele alınarak, önerilen model stokastik programlamayla çözülmüştür.

Kenné vd. (2012) kapalı çevrim tedarik zincirinde yeniden üretim yaklaşımı için üretim planlama konusunda çalışmış, sistemdeki belirsizlikler ele alınmış ve modelin çözümü stochastic dinamik programlama ile elde edilmiştir.

- **Envanter Kontrol ve Yönetimi**

Teunter ve van der Laan (2002) tersine lojistik konusunda yeniden üretim yaklaşımını ele alan çalışmalarında, envanter yönetimi üzerinde özellikle elde bulundurma maliyetinin nasıl belirlenmesi gerektiği konusunda durmuştur.

Gou vd. (2008) açık çevrim tersine tedarik zinciri için bütünleşik bir yaklaşımla hem envanter kontrolü hem de geri dönen ürünlerle ilgili çalışmıştır. Çalışmada, uzun dönem için ortalama maliyetin minimum kılınması, optimal ekonomik parti büyüklüğü ve optimal envanter elde bulundurma miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Belirsizlikleri ele alan çalışmada stokastik envanter modeli geliştirilmiştir.

Jonrinaldi ve Zhang (2013) yapmış oldukları çalışmada ürün, hammadde ve parçaların tersine akışlarını dikkate alarak üretim ile stok konularını bütünleşik olarak inceleyen bir model önermiştir.

Godichaud ve Amodeo (2015) birden çok aşamalı kullanılmış ürünlerin geri toplandı kapalı çevrim tedarik zinciri için çok amaçlı envanter modeli geliştirmiş, modelin çözümü için simülasyondan yararlanmış ve çeşitli alternatif senaryolar için sonuçları analiz etmiştir.

- **Araç rotalama**

Literatürde tersine lojistik ve kapalı çevrim tedarik zinciri araç rotalama problemlerinin çözümünde sezgisel ve metasezgisel yöntemlerden yararlanılmıştır. Örneğin, Schultmann vd. (2006) otomotiv sektöründe miadını doldurmuş ürünlerin geri dönüşümü için kapalı çevrim tedarik zinciri araç rotalama problemini ele almış ve problemin çözümünde Tabu arama yönteminden yararlanmıştır.

Kim vd. (2009) çalışmalarında ömrünün tamamlamış ürünlerin geri dönüşümü için araç rotalama problemini incelemiş, problemin çözümünde yine Tabu arama yöntemini uygulamıştır.

Hu vd. (2015) ise kapalı çevrim tedarik zinciri için dinamik araç rotalama problemini ele alan çalışmalarında, talepteki belirsizlikle başa çıkmak için iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı uygulamış ve çeşitli senaryolar için modeli çözmüştür.

- **Ürün yaşam döngüsü yönetimi**

Literatürde çalışılan bir diğer konu, ürün yaşam döngüsü yönetimidir. Tibben Lembke (2002) ürün yaşam döngüsü üzerine yoğunlaşmış ve tersine lojistikteki belirsizliklerin ve zorlukların ürün yaşam döngüsünü nasıl etkilediğini araştırmıştır. Araştırmacı, işletmelerin her geçen gün daha fazla ürün sunmaları ile ürünlerin modasının çabuk geçtiğini ve tersine lojistik politika ve taktiklerinin ürün yaşam döngüsü üzerinde etkileri olduğunu vurgulamıştır.

Nakamura ve Kondo (2006) ömrünü tamamlamış elektrikli ev aletlerinin geri dönüşümü ile ilgili olarak ürün yaşam döngüsünü incelemiş ve maliyet analizi yapmıştır.

Vezzetti vd. (2011) yeniden kullanım yaklaşımını ele almıştır. Ambalajların yeniden kazanım yaklaşımlarından özellikle yeniden kullanım ve geri dönüşümün önemi üzerinde durmuştur. Kalite fonksiyon yayılımı (KFD) ile Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch (TRIZ) methodolojisiyle bütünleşik bir yaklaşım sunmuştur. Çalışmada, KFD yönteminin temel ürün karakteristiklerinin tanımlanmasına yardımcı olduğu, TRIZ methodojisinin ise pratik bir yaklaşım sunarak problemin çözülmesini sağladığı vurgulanmıştır.

- **Çok ölçütlü karar verme yöntemleri**

Bir başka grup çalışmada ise tersine lojistik uygulayabilmek için ana kriterler ve alt-kriterler tanımlanmış ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılarak kriterlerin göreceli önemleri hesaplanmıştır. Örneğin; Chiou vd. (2012) tersine lojistik uygulaması için üç ana kriter (ekonomik, çevresel ve sosyal) ve toplam 12 alt kriter tanımlamıştır. Tüm bu kriterlerin göreceli önemleri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak bulanık ortamda çözülmüştür.

Barker ve Zabinsky (2011) ise çalışmalarında tersine lojistik için alternative ağ tasarımlarını değerlendirmiş, bu amaçla kriter & alt kriterleri tanımlamış ve AHP'den yararlanmıştır.

Diğer bir çalışmada ise tersine lojistik uygulamasında karşılaşılan ve kritik etkileri olan iç faktörler (yönetim, finans, alt-yapı) ve dış faktörler (kanun ve yasal düzenlemeler) ele alınmıştır (Abdulrahman vd., 2014).

Dhouib (2014) ise otomobil lastik atıkları için tersine loistik alternatiflerinin değerlendirilmesinde bulanık MACBETH yaklaşımını geliştirerek uygulamıştır. Yazarlar önerilen yöntemin esnek bir yöntem olduğunu ve farklı gerçek hayat problemleri için kolayca kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

- **Literatürde incelenen diğer konular**

Yukarıda bahsedilen konular dışında tersine loistik konusunda incelenen diğer çalışmalarda mevcuttur. Örneğin, Silva vd. (2012) geri dönüşebilen ve dönüştürülemeyen ambalajların karşılaştırmasını yapmış ve bu kapsamda maliyetleri düşürecek, kaynak tüketimini azaltacak ve çevresel etkileri minimum kılacak geri dönüşebilen paket dizaynı geliştirmiştir.

Lee ve Lam (2012) ise sürdürülebilirlik üzerinde yoğunlaşmış, tersine loistik aktivitelerinin yönetimiyle ilgili olarak operasyonların etkinliğini arttırmak ve pazardaki sürdürülebilir ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi amaçlamıştır.

Bansia vd. (2014)'de tersine loistik için performans değerlendirme sistemi geliştirmiş, bu amaçla dört aşamalı hiyerarşi oluşturmuş ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi'ni ve Dengelenmiş Puan Kartı'nı uygulamıştır.

Bir başka çalışma da ise tersine loistikte Radyo Frekansı ile Kimlik Tanımlama (RFKT)'nin önemi üzerinde durulmuş ve RFKT tabanlı tersine loistik optimizasyon problemi incelenmiştir. (Lee ve Chan, 2009). Bu sistem ile toplama noktalarından alınan ürünlerin miktarı belirlenir ve ana merkeze sinyal gönderilir. Bu sistem geri dönen ürünlerin miktarının belirlenmesinde etkin bir rol oynamaktadır.

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de kronolojik olarak bu alandaki önemli çalışmalar verilmiştir.

Çizelge 4.1 : KÇTZ ile ilgili çalışmalar.

Yazarlar	Geri kazanım yaklaşımı	Yöntem	Ele alınan problem
Schulmann vd. (2006)	Geri dönüşüm	Tabu arama	Araç rotalama
Amaro ve Barbosa-Póvoa (2007)	Yeniden üretim	Karma tam sayılı modelleme (kesikli ve sürekli zaman için)	Tedarik zincirinin planlanması
Lu ve Bostel (2007)	Yeniden Üretim	Algoritma tabanlı Lagrange Sezgisel Yaklaşımı	Fabrika Yeri Seçimi
Srivastava (2008)	Geri dönüşüm	Birden fazla dönem için iki aşamalı matematiksel model	Ağ tasarımı
Neto vd. (2008)	Geri dönüşüm ve imha	Çok amaçlı programlama	Ağ tasarımı ve etkinliği
Kusumastuti vd. (2008)	Tamir	Çok amaçlı karma tam sayılı model	Ağ tasarımı
Amaro ve Barbosa-Póvoa (2009)	Geri dönüşüm, Yeni den üretim	Karma tam sayılı modelleme Talep/fiyat belirsizliği	Tedarik zincirinin planlanması
Yang vd. (2009)	Geri dönüşüm ve imha	Optimizasyon modeli	Ağ tasarımı
Aktin vd. (2010)	Yeniden üretim -Tamir	Karma tam sayılı modelleme	Ağ tasarımı
Fernandes vd. (2010)	Geri dönüşüm	Karma tam sayılı modelleme	Ağ tasarımı ve planlaması
Gomes vd. (2011)	Yeniden kullanma	İki aşamalı stokastik modelleme-kalite belirsiz	Ağ tasarımı ve planlaması
Paksoy vd. (2011)	Tamir	Birden çok ürün için lineer programlama	Ağ tasarımı
Shi vd. (2011a)	Yeniden üretim	Birden çok ürün için (talep ve geri dönüş miktarı belirsiz)	Üretim planlama
Shi vd. (2011b)	Yeniden üretim	Stokastik Model	Üretim planlama ve fiyat politikası
Baptista vd. (2012)	Geri dönüşüm	İki Aşamalı Stokastik Model (Birden çok ürün için)	Ağ tasarımı ve planlaması
Cardoso vd. (2012)	Yeniden üretim	Çok amaçlı karma tam sayılı model	Ağ tasarımı ve planlaması
Kenné vd. (2012)	Yeniden üretim - İmha	Stokastik dinamik programlama	Üretim planlama kontrol
Zeballos vd. (2012)	Geri dönüşüm	İki aşamalı stokastik - kalite ve miktar belirsiz	Ağ tasarımı ve planlama kararları
Amin and Zhang (2013)	Geri dönüşüm	Karma tam sayılı model	Ağ tasarımı
Ziout vd. (2013)	Yeniden kullanım	Analitik Hiyerarşi Prosesi	Sürdürülebilir üretim sistemi
Roghanian ve Pazhoheshfar (2014)	Yeniden üretim ve geri dönüşüm	Olasılıklı karma tam sayılı model ve Genetik algoritma	Ağ tasarımı
Realff vd. (2000)	Geri dönüşüm	Karma tam sayılı doğrusal programlama	Ağ tasarımı
Jonrinaldi ve Zhang (2013)	-	Karma tamsayı doğrusal olmayan model	Üretim ve stok planlama

Çizelge 4.1 (devam) : KÇTZ ile ilgili çalışmalar.

Yazarlar	Geri kazanım yaklaşımı	Yöntem	Ele alınan problem
Özkır ve Başlıgil (2013)	-	Çok hedefli optimizasyon model	Ağ tasarımı
Lee ve Dong (2009)	-	İki aşamalı stokastik programlama ve Tavlama benzetimi	Dinamik ağ tasarımı
Das ve Posinasetti (2015)	Yeniden kullanım ve tamir	Hedef programlama	Ağ tasarımı

Çizelge 4.2 : Tersine lojistik ile ilgili mevcut çalışmalar.

Yazarlar	Geri kazanım yaklaşımı	Yöntem	Ele alınan problem
Inderfurth vd. (2001)	Yeniden kullanım	Stokastik dinamik optimizasyon modeli	Envanter yönetimi
Hu vd. (2002)	-	Kesitli doğrusal analitik model	Ağ tasarımı
Teunter ve van der Laan (2002)	Yeniden üretim, hurda	Envanter modelleri	Envanter yönetimi
Kim vd. (2006)	Yeniden üretim	Karma tam sayılı matematiksel model	Ağ tasarımı ve tedarik planlamasına
Min vd. (2006)	Yeniden kazanma	Linear olmayan karma tamsayı programlama modeli ve Genetik Algoritma	Ağ tasarımı
Woolridge vd. (2006)	Yeniden kullanım/ Geri dönüşüm		Yaşam döngüsü
Gou vd. (2008)	-	Stokastik envanter modeli	Envanter kontrolü
Mutha ve Pokharel (2009)	Geri dönüşüm	Genetik Algoritma	Ağ tasarımı
Alumur vd. (2012)	Yeniden Üretim/Geri dönüşüm	Karma tam sayılı model	Ağ tasarımı
Vezzetti vd. (2011)	Yeniden kullanım/Geri dönüşüm	KFY matrisi	Yaşam döngüsü yönetimi
Das ve Chowdhury (2012)	Yeniden kazanma	Karma tam sayılı model	Ağ tasarımı
Barker ve Zabinsky (2011)	Geri dönüşüm	Analitik Hiyerarşi Prosesi	Ağ tasarımı seçimi
Chiou vd. (2012)	Geri dönüşüm	Analitik Hiyerarşi Prosesi	Tersine lojistik uygulamada ele alınan kriterler

5. BULANIK KAPALI ÇEVİRİM TEDARİK ZİNCİRİ MODELLERİ

Bu bölümde kapalı çevrim tedarik zinciri problemlerinin çözümünde kullanılan modeller incelenmiştir. Bu bölümde ayrıca, bulanık mantık, bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları, klasik kümelerle bulanık kümelerin karşılaştırılması, bulanık kümelerde temel kavramlar, bulanık sayılar, bulanık sayılarla aritmetik işlemler gibi konularda temel bilgiler verilmiştir. Ek olarak bu bölümde, bulanık modelleme konusuna değinilmiştir.

5.1 Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Problemlerinde Belirsizliğin İncelenmesi

Wang ve Hsu (2010) risk faktörünü ele alan çalışmalarında kapalı çevrim tedarik zinciri modelinde talep ve geri kazanım oranı gibi çeşitli parametrelerin belirsiz olduğu durumu incelemiş ve problemin çözümünde bulanık modellemeyi kullanmışlardır. Toplam maliyetin minimum kılınmasını amaçlanan modelin çözümünde, aralıklı programlama yöntemi kullanılmıştır.

Pishvae ve Torabi (2010) kapalı çevrim tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin çözümüne yönelik çok amaçlı olasılıklı karma tam sayılı programlama modelini geliştirmiş ve modelin çözümünde iki aşamalı interaktif bulanık yaklaşımdan yararlanmıştır.

Qin ve Ji (2010) ise ürün geri dönüşümü ile ilgili olarak ağ tasarımı probleminin çözümünde bulanık simülasyon ve genetik algoritmayı entegre olarak kullanmayı öneren bir yaklaşım sunmuştur. Çalışmada, geri dönen ürün miktarı ve taşıma maliyetinin deterministik olarak tahmin etmek zor olduğundan ve geçmişe yönelik yeterli veri olmadığı için stokastik modelleme yerine bulanıklıktan yararlanılmıştır.

Özkır ve Başlıgil (2013) çalışmalarında, malzeme, parça ve ürün geri kazanımını ele almış, üç aşamalı olan kapalı çevrim tedarik zinciri için ağ tasarımı probleminin çözümüne yönelik matematiksel model kurmuştur. Geliştirilen çok amaçlı modelde, müşteri fiyat beklentilerinin tatmini, müşteri memnuniyetinin ve kapalı çevrim tedarik

zincirinin toplam karının maksimum kılınması amaçlanmıştır. Modelin çözümünde talep ve geri toplanan ürünlerin fiyatı gibi çeşitli parametrelerdeki belirsizlikler bulanık olarak tanımlanmıştır. Model, çeşitli tesislerin kurulması, tedarikçiden ne miktarda ürün alınması gerektiği ve tesisler arasındaki ürün akış miktarları gibi çeşitli kararları vermektedir. Çalışmada ayrıca, müşteri memnuniyeti ve toplam karın, müşterilerden geri toplanan ürün miktarı ile yakından ilişkili olduğu ve geri toplanan kullanılmış ürünlerin kalitesine göre geri toplanan ürün miktarının daha çok önem arz ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Wei ve Zhao (2013) kapalı çevrim tedarik zincirinde yeniden üretim yaklaşımı için kullanılmış ürünlerin geri toplanması kararına yönelik olarak analiz yapmıştır. Oyun teorisi ve bulanık mantık ile problemin çözümü amaçlanmıştır. Çalışmada, ürün talebi, yeniden üretim maliyeti ve kullanılmış ürünlerin toplama maliyetleri gibi çeşitli parametreler bulanık olarak tanımlanmıştır.

Ramezani et al. (2014) ise çok ürünlü kapalı çevrim tedarik zinciri ağ tasarımı problemini, bulanık çok hedefli karma tam sayılı doğrusal programlama modeli ile çözmüştür. Modelin hedefleri karın maksimizasyonu, teslimat süresinin minimum kılınması ve kalitenin maksimum kılınması şeklindedir. Çalışmada, maliyet, fiyat, kapasite, zaman, hatalı ürün oranı, talep, ve geri dönüş oranı gibi katsayılarıdaki belirsizlikler bulanık olarak ele alınmıştır.

5.2 Bulanık Mantık

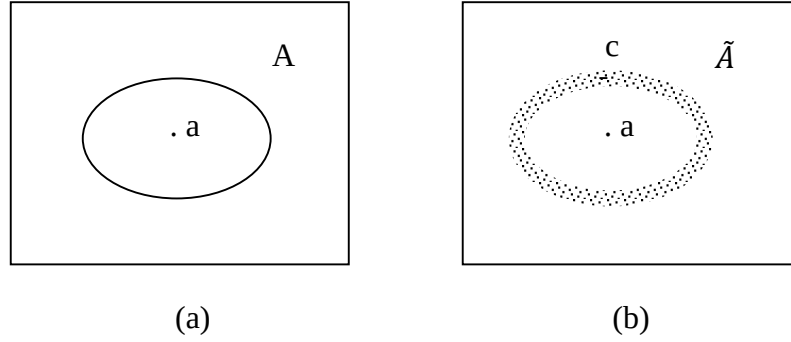
Geleneksel (klasik) mantıkta bir önerme ya tamamen doğrudur (1) ya da tamamen yanlıştır (0). Bu nedenle geleneksel mantığa “iki değerli mantık” (boolean logic) da denir. Çok değerli mantık ise önermeler tamamen doğru/yanlış ve kısmen doğru/yanlış olarak tanımlanmıştır. Kısmen doğru tanımı çoğaltılabilse de bu işlem sonsuza kadar gidebilir (Özkan, 2003).

Diğer taraftan, gerçek hayattaki belirsizlik ve bilinmezlik karmaşıklığı yaratır. Belirsizliğin az olduğu modeller klasik modellerle çözülebilirken, bilginin matematiksel olarak kesin ve net olarak ifade edilemediği durumlarda, belirsizlikten kaynaklanan karmaşık problemlerin klasik yöntemlerle çözümünde problem yaşanır. L.A. Zadeh, 1965 yılında belirsizlik ve bilinmezlik içeren problemlerin çözümü için “*Bulanık Mantık*” ve “*Bulanık küme teorisi*”ni geliştirmiştir. L.A. Zadeh’e göre sistem

hakkında ne kadar çok bilgiye sahip olursak karmaşıklık azalır. Öte yandan karmaşıklık arttıkça kesin ve anlamlı ifadeler kurulamaz, belirsizlik ve kesin olmama durumu oluşur. Zadeh bu durumu bulanıklık olarak adlandırmıştır (Zadeh, 1965; Behret, 2011).

5.2.1 Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

Klasik kümelerde tanımlanmış uzayda bir eleman bir kümeye ya aittir ya da ait değildir. Diğer bir deyişle bir elemanın bir kümeye ait olması ve olmaması arasındaki geçiş ani ve kesindir. Bulanık kümelerde ise bu durum kademelidir. Bu durum bulanık kümelerin sınırlarının kesin olmamasından kaynaklanır (Ross, 1995). Şekil 5.1’de klasik ve bulanık kümeler gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : (a) Klasik küme (b) Bulanık küme.

Şekilde de görüldüğü gibi, klasik kümede a elemanı kümenin kesin olarak elemanıdır. Eğer bir kümenin elemanı olma “1”, olmama “0” ile tanımlanırsa şekildeki bulanık kümedeki “c” elemanının kümenin elemanı olması bulanıktır. Bu durumda c kümenin kısmen elemanıdır ve 0 ile 1 arasında bir değer almalıdır. Bulanık kümedeki c elemanı kümeden uzaklaştıkça üyelik derecesi azalır, taranmamış iç bölgeye yaklaştıkça ise üyelik derecesi artar (Ross, 1995).

Zadeh, her bir nesneyi 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesi atayan üyelik fonksiyonu ile tanımlar (Zadeh, 1965). Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu matematiksel olarak, $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$ şeklinde gösterilir. Burada $\mu_{\tilde{A}}(x)$, x elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesine üyelik derecesini ifade eder. Klasik denklemde ise üyelik fonksiyonu $X_A(X) = \{1, X \in A; 0, X \notin A'\}$ şeklinde ifade edilir.

Bulanık A kümesi, nesne ve ilgili kümeye üyelik derecesini gösteren sıralı çiftler halinde aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\tilde{A} = (x; \mu_{\tilde{A}}(x)), \forall x \in X \quad (5.1)$$

Evrensel küme sonlu ise bulanık A kümesi ($\tilde{A}$) (5.2)'deki gibi, evrensel küme sonsuz ise bulanık küme (5.3)'teki gibi gösterilir.

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} \quad (5.2)$$

$$\tilde{A} = \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad x \in X \quad (5.3)$$

Ross (1995), bulanık kümelerde, kesişim, bileşim ve tümleyen gibi küme işlemlerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

Birleşim:

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\} \quad (5.4)$$

Kesişim:

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\} \quad (5.5)$$

Tümleyen:

$$\mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (5.6)$$

Bulanık kümelerle ilgili diğer temel kavramlar Çizelge 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir (Ross, 1995):

Çizelge 5.1 : Bulanık kümelerde temel kavramlar.

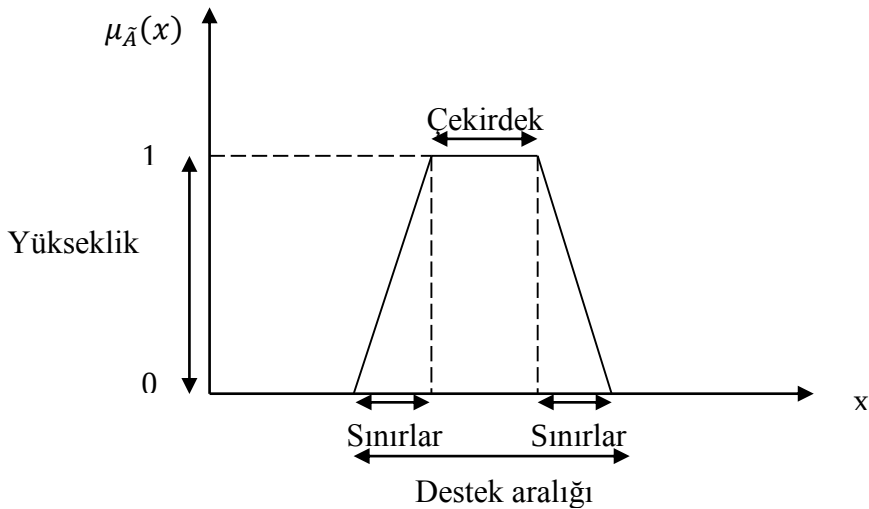
Kavram	Tanım	Matematiksel Gösterim
Destek	Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin destek aralığı, X evreninde bulunan $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ olan bütün x noktalarının kümesidir.	$s(\tilde{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$
Çekirdek	Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin çekirdeği, X evreninde $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ olan bütün x noktalarının kümesidir.	$\text{çek}(\tilde{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\}$
Sınırlar	Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin sınırları, X evreninde bulunan $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ olan ve $\mu_{\tilde{A}}(x) \neq 1$ olan tüm x noktalarının kümesidir.	$\text{sınır}(\tilde{A}) = \{x \in X \mid 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1\}$
Yükseklik	Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin yüksekliği, üyelik fonksiyonunun aldığı en büyük değerdir.	$\text{yük}(\tilde{A}) = \text{enb}(\mu_{\tilde{A}}(x))$

Diğer kavramlarda kısaca aşağıda verilmiştir:

Normal bulanık küme: Bir $\tilde{A}$ kümesi normal ise, onun çekirdeği boş küme değildir. Yani, $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ 'i sağlayan en az bir nokta vardır.

α -kesimi: Bir $\tilde{A}$ kümesinin α kesimi, üyelik fonksiyonları değeri α 'ya eşit veya daha büyük olan elemanları içeren bulanık olmayan bir kümedir.

$$A_{\alpha} = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}, \alpha \in [0,1] \quad (5.7)$$



Şekil 5.2 : Çekirdek, destek aralığı, sınırlar ve yükseklik.

5.2.2 Genelleme ilkesi

Genelleme ilkesi, Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir. Matematiksel kavramların bulanık niceliklere genelleştirilmesinde kullanılır. Bu ilke bulanık küme teorisinin en temel alanlarından biridir (Dubois ve Prade, 1980). Bu ilkenin amacı klasik matematikteki fonksiyon kavramının bulanık küme ve sayılar için genelleştirilmesidir (Ross, 1995).

Bir f fonksiyonunun $X_1 \times X_2 \times X_3 \times \dots \times X_n$ kartezyen çarpımındaki elemanlar Y uzayına eşleşsin. Başka bir deyişle, $y \in Y$ ve $x_i \in X$ ise $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 'dir. Bu durumda Y içerisindeki M bulanık kümesi (5.8) ve üyelik fonksiyonu (5.9)

$$\tilde{M} = \{(y, \mu_{\tilde{M}}(y)) \mid y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \in X\} \quad (5.8)$$

$$\mu_{\tilde{M}}(y) = \begin{cases} \sup_{f(x_1, x_2, \dots, x_n) = y} \text{enk}(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_n}(x_n)), & \text{Eğer } f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases} \quad (5.9)$$

şeklinde tanımlanır (Chen vd, 1992).

5.2.2.1 Bulanık sayılar ve aritmetik işlemler

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin bir alt kümesidir. Bulanık sayılar, konveks ve normal olması gibi özellikler ile bulanık kümelerden ayrılır. Bulanık sayılar kesikli ve sürekli olabilirler. Örneğin bir $\tilde{A}$ bulanık sayısı yaklaşık 60 olsun. Bu durumda kesikli üyelik fonksiyonu (5.10)'da ve sürekli üyelik fonksiyonu ise (5.11)'de gösterilmiştir.

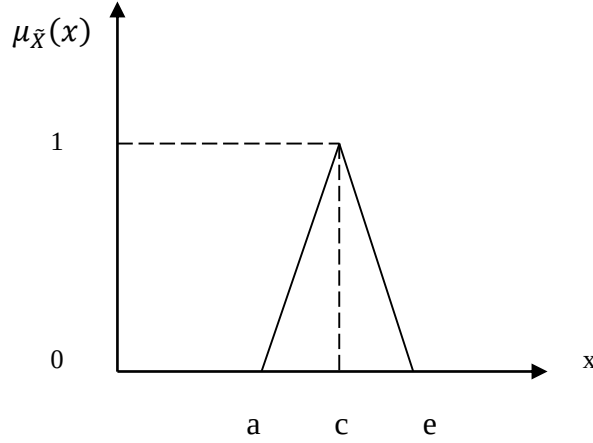
$$\tilde{M} = \left\{ \begin{array}{l} (10;0), (20;0,20), (30;0,40), (40;0,60), (50;0,80), (60;1,0), \\ (70;0,80), (80;0,60), (90;0,40), (100;0,20), (110;0) \end{array} \right\} \quad (5.10)$$

$$\tilde{M} = \left\{ (x, \mu_{\tilde{M}}(x)) \mid x \in \mathbb{R}, \mu_{\tilde{M}}(x) = \left(1 + \left(\frac{x-60}{10} \right)^2 \right)^{-1} \right\} \quad (5.11)$$

Bulanık sayılar üyelik derecelerinin ifade edilişlerine göre; üçgen, yamuk, L-R, gauss ve üstel bulanık sayılar şeklinde adlandırılır. Bu çalışmada, üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığındaki klasik sayılar ile ifade edilen Tip-1 bulanık sayılar kullanılmıştır (Zadeh, 1965). Literatürde en çok kullanılan bulanık sayılar, üçgen ve yamuk bulanık sayılardır. Aşağıda üçgen ve yamuk bulanık sayılar ile ilgili açıklamalar verilmiştir.

- **Üçgen bulanık sayı**

Üçgen bulanık sayı $\tilde{X}$ 'in üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 5.3'te verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bulanık $\tilde{X}$ sayısı $\tilde{X} = (a; c; e)$ ile ifade edilmiştir. Üçgen bulanık sayı $\tilde{X}$ 'in üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

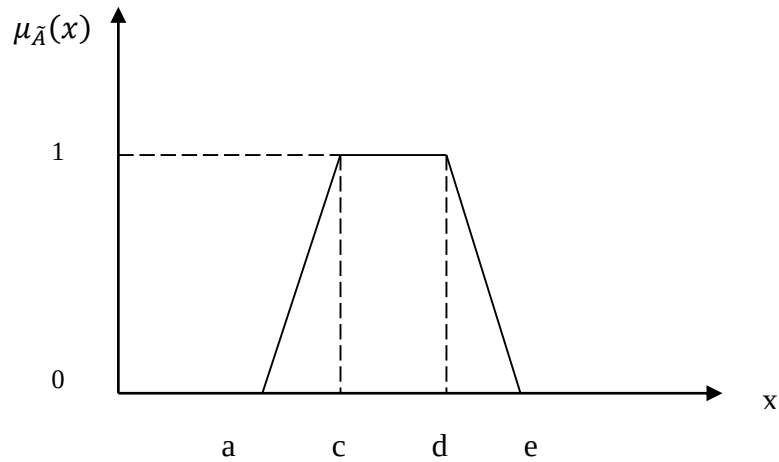


Şekil 5.3 : Üçgen bulanık sayı.

$$\mu_{\tilde{X}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(c-a) & a \leq x \leq c \\ (e-x)/(e-c) & c \leq x \leq e \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases} \quad (5.12)$$

- **Yamuk bulanık sayı**

Yamuk bulanık sayı $\tilde{X}$ 'in üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bulanık $\tilde{X}$ sayısı $\tilde{X} = (a; c; d; e)$ ile ifade edilmiştir. Yamuk bulanık sayı $\tilde{X}$ 'in üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:



Şekil 5.4 : Yamuk bulanık sayı.

$$\mu_{\tilde{X}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(c-a) & a \leq x \leq c \\ 1, & c \leq x \leq d \\ (e-x)/(e-d) & d \leq x \leq e \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases} \quad (5.13)$$

Üçgen bulanık sayılar $\tilde{X} = (a; c; e)$ ve $\tilde{Y} = (k; l; m)$ için aritmetik işlemler Çizelge 5.2’de verilmiştir (Chen vd, 1992):

Çizelge 5.2 : Üçgen bulanık sayılar için aritmetik işlemler.

İşlem	Matematiksel Gösterim
Toplama işlemi	$\tilde{X} \oplus \tilde{Y} = (a + k; c + l; e + m)$
Çıkarma işlemi	$\tilde{X} \ominus \tilde{Y} = (a - m; c - l; e - k)$
Bulanık sayının tersini alma	$\tilde{X}^{-1} = \left(\frac{1}{e}; \frac{1}{c}; \frac{1}{a}\right)$
Çarpma işlemi	$\tilde{X} > 0 \text{ ve } \tilde{Y} > 0; \quad \tilde{X} \otimes \tilde{Y} \cong (ak; cl; em)$ $\tilde{X} < 0 \text{ ve } \tilde{Y} > 0; \quad \tilde{X} \otimes \tilde{Y} \cong (am; cl; ek)$ $\tilde{X} < 0 \text{ ve } \tilde{Y} < 0; \quad \tilde{X} \otimes \tilde{Y} \cong (em; cl; ak)$
Sabit sayı ile çarpma	$\forall k > 0, k \in \mathfrak{R} : k \otimes \tilde{X} = (ka; kc; ke)$ $\forall k < 0, k \in \mathfrak{R} : k \otimes \tilde{X} = (ke; kc; ka)$
Bölme işlemi	$\tilde{X} > 0 \text{ ve } \tilde{Y} > 0; \quad \tilde{X} \oslash \tilde{Y} \cong \left(\frac{a}{m}; \frac{c}{l}; \frac{e}{k}\right)$ $\tilde{X} < 0 \text{ ve } \tilde{Y} > 0; \quad \tilde{X} \oslash \tilde{Y} \cong \left(\frac{e}{m}; \frac{c}{l}; \frac{a}{k}\right)$ $\tilde{X} < 0 \text{ ve } \tilde{Y} < 0; \quad \tilde{X} \oslash \tilde{Y} \cong \left(\frac{e}{k}; \frac{c}{l}; \frac{a}{m}\right)$

5.3 Bulanık Hedef Programlama

Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi yöneylem araştırmasında doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, tamsayılı programlama, hedef programlama ve çok amaçlı karar verme modellerinde sıkça kullanılmaktadır (Özkan, 2003).

Bu bölümde, bulanıklık altında en iyi kararı vermeyi sağlayan bulanık çok amaçlı programlama modeli açıklanacaktır. Öncelikle hedef ve çeşitli kısıtların bulanık olma durumu daha sonra da parametrelerin bulanık olma durumu incelenecektir.

Burada hedeflerin bulanık olmasından kastedilen karar vericinin amaç fonksiyonu için ulaşmak istediği seviyenin (erişim düzeyinin) bulanık olarak tanımlanmasıdır. Benzer şekilde kısıtlar da bulanık olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle, hedef ve kısıtlardaki bulanıklık, esnekliği ifade etmektedir. Parametreler (amaç fonksiyonu katsayıları, teknoloji katsayıları ve/veya sağ taraf değerleri) de bulanık olarak ele alınabilir. Kısıtlarda yer alan çeşitli ilişkilerde ($\leq$, $\geq$ ve $=$) tolerans (net olmayan sınırlar) söz konusu olabilmektedir (Özkan, 2003). Çizelge 5.3.'de doğrusal programlama modellerindeki bulanıklığın matematiksel olarak gösterimi verilmiştir. Çizelgede bulanıklık ' $\sim$ ' işareti ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Doğrusal programlama modellerinde bulanıklık.

Yalnız hedef bulanık ise	$\max_{\text{şkg}} \tilde{Z} = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad x_j \geq 0$
Yalnız kısıt bulanık ise	$\max_{\text{şkg}} Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \lesseqgtr b_i, \quad x_j \geq 0$
Hem hedef hem kısıt bulanık ise	$\max_{\text{şkg}} \tilde{Z} = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \lesseqgtr b_i, \quad x_j \geq 0$
Tüm parametreler bulanık ise	$\max_{\text{şkg}} Z = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j x_j$ $\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j \leq \tilde{b}_i, \quad x_j \geq 0$

5.3.1 Bulanık hedef ve bulanık kısıtlı modeller

Bulanık hedef ve bulanık kısıtlı model (5.14)'te verilmiştir. Modelde $\tilde{Z}_k$ bulanık negatif (minimizasyon amaçlı) hedefleri, $\tilde{Z}_m$ bulanık pozitif (maksimizasyon amaçlı) hedefleri, $\tilde{g}_p$ bulanık kısıtları ve g_l ise deterministik kısıtları göstermektedir. Modeldeki Z_k^0 ve Z_m^0 , karar vericilerin ulaşmak istedikleri istek-erişim seviyelerini (aspiration level) göstermektedir. Bulanık modeldeki $\leq Z_k^0$, Z_k^0 değeri civarında ya da daha az, $\geq Z_m^0$, Z_m^0 değeri civarında ya da daha fazla ve $\leq b_p$, b_p değeri civarında ya da daha az şeklinde yorumlanır (Amid vd., 2006).

$$\tilde{Z}_k = \sum_{i=1}^n c_{ki} x_i \leq Z_k^0 \quad k = 1, 2, \dots, s \quad (5.14)$$

$$\tilde{Z}_m = \sum_{i=1}^n c_{mi} x_i \geq Z_m^0 \quad m = s + 1, s + 2, \dots, t$$

s.k.g.

$$\tilde{g}_p(x) = \sum_{i=1}^n a_{pi} x_i \leq b_p \quad p = 1, 2, \dots, y$$

$$g_l(x) = \sum_{i=1}^n a_{li} x_i \leq b_l \quad l = y + 1, y + 2, \dots, q$$

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

Zimmermann (1978) önerdiği yöntemle model her bir hedef için, deterministik kısıtlar aynı kalmak şartıyla tek tek çözülür. Her bir hedefin alt ve üst limitleri hesaplanır. Hedefler pozitif ise alt ve üst hedefler (5.15) ile negatif ise alt ve üst hedefler (5.16) ile hesaplanır.

$$Z_k^+ = \max Z_k \quad , \quad Z_k^- = \min Z_k \quad (5.15)$$

$$Z_m^+ = \max Z_m \quad , \quad Z_m^- = \min Z_m \quad (5.16)$$

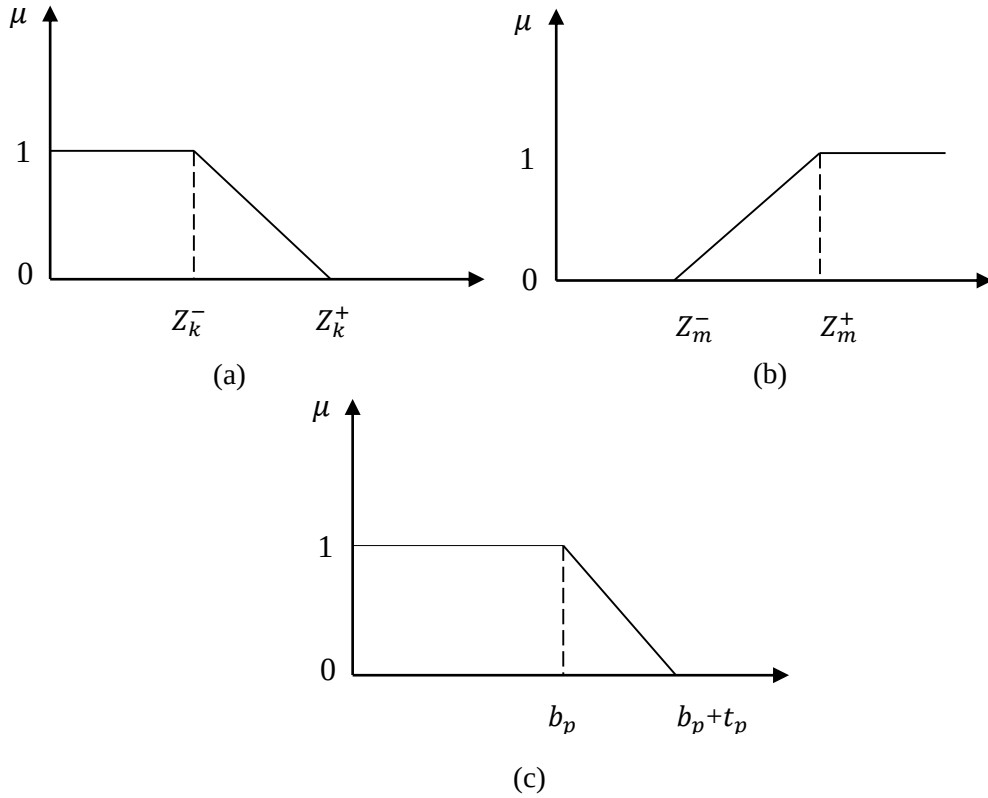
Bulanık hedef ve bulanık kısıtların lineer (doğrusal) üyelik fonksiyonları aşağıdaki formüllerden yararlanılarak hesaplanır. bulanık pozitif hedefler için (5.17), bulanık

negatif hedefler için (5.18), bulanık kısıtlar için ise (5.19) kullanılır. Üyelik fonksiyonları Şekil 5.5'te grafiksel olarak verilmiştir (Amid vd., 2006).

$$\mu_{zk}(x) = \begin{cases} 1, & Z_k \leq Z_k^- \\ \frac{Z_k^+ - Z_k(x)}{Z_k^+ - Z_k^-} & Z_k^- \leq Z_k(x) \leq Z_k^+ \\ 0, & Z_k \geq Z_k^+ \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, s \quad (5.17)$$

$$\mu_{zm}(x) = \begin{cases} 1, & Z_m \geq Z_m^+ \\ \frac{Z_m(x) - Z_m^-}{Z_m^+ - Z_m^-} & Z_m^- \leq Z_m(x) \leq Z_m^+ \\ 0, & Z_m \leq Z_m^- \end{cases} \quad m = s+1, s+2, \dots, t \quad (5.18)$$

$$\mu_{g_p}(x) = \begin{cases} 1, & g_p(x) \leq b_p \\ 1 - \frac{g_p(x) - b_p}{t_p} & b_p \leq g_p(x) \leq b_p + t_p \\ 0, & g_p(x) \geq b_p + t_p \end{cases} \quad p = 1, 2, \dots, y \quad (5.19)$$



Şekil 5.5 : Doğrusal üyelik fonksiyonları: (a) Negatif hedef. (b) Pozitif hedef. (c) Bulanık kısıtlar.

Üyelik fonksiyonları hesaplandıktan sonra, bulanık model klasik doğrusal programlama modeline dönüştürülür. Zimmermann'ın 1978'de önermiş olduğu bulanık modele eş değer klasik doğrusal programlama modeli (5.20)'de verilmiştir. Yeni oluşturulan modelde, bulanık amaç ve bulanık kısıtlar üyelik fonksiyonlarından yararlanılarak yeni kısıt kümesi olarak modele eklenir. Her bir hedef için hesaplanan alt ve üst limitler yeni kısıtlarda yerine yazılır. Bulanık olmayan kısıtlar da yeni modele aynen aktarılır.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \lambda & (5.20) \\
 & \text{s.k.g.} \\
 & \lambda \leq \mu_{z_j}(x) & j=1,2,\dots,t \\
 & \lambda \leq \mu_{g_p}(x) & p=1,2,\dots,y \\
 & g_l(x) \leq b_l & l=y+1,y+2,\dots,q \\
 & x_i \geq 0 & i=1,2,\dots,n \\
 & \lambda \in [0,1]
 \end{aligned}$$

Zimmermann'ın yaklaşımında, bulanık hedef ve bulanık kısıtlar arasındaki ilişki simetriktir. Diğer bir deyişle bulanık hedef ve bulanık kısıtlar arasında önem derecesi açısından fark yoktur. Bu yaklaşımda, bulanık hedef ve kısıtlar için ortak bir başarıma-erişilme-doyum derecesine (satisfaction degree- λ) ulaşılmaya çalışılır.

Bulanık modelin bulanık olmayan modele dönüştürülmesinde, birçok yöntem bulunmaktadır. Bu bölümde bu yöntemlerden, Tiwari vd. (1987) tarafından önerilen **Ağırlıklı Toplamsal Model** (Weighted additive) yaklaşımı anlatılacaktır. Bu yöntemde bulanık hedef ve bulanık kısıtlara karar verici tarafından verilen ağırlıklar dikkate alınır. Bulanık hedef ve kısıtlar için ortak bir başarıma derecesine ulaşmak yerine, her bir bulanık hedef ve bulanık kısıtın erişim dereceleriyle ağırlıklandırılmış toplamının maksimum kılınması amaçlanır.

Yeni oluşturulan klasik doğrusal programlama modeli (5.21)'deki gibidir:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \sum_{j=1}^t w_j \lambda_j + \sum_{p=1}^y \beta_p \gamma_p & (5.21) \\
 & \text{s.k.g.} \\
 & \lambda_j \leq \mu_{z_j}(x) , \quad j=1,2,\dots,t \\
 & \gamma_r \leq \mu_{g_p}(x) , \quad p=1,2,\dots,y
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g_l(x) &\leq b_l \quad , \quad l=y+1,y+2,\dots,q \\
\sum_{j=1}^t w_j + \sum_{p=1}^y \beta_p &= 1 \quad w_j, \beta_p \geq 0 \\
x_i &\geq 0 \quad , \quad i=1,2,\dots,n \\
\lambda_j, \gamma_p &\in [0,1] \quad , \quad j=1,2,\dots,t \ ; \ p=1,2,\dots,y
\end{aligned}$$

Klasik doğrusal programlama modelinin (5.21) amaç fonksiyonundaki λ_j ve γ_p değişkenleri, bulanık amaç ve bulanık kısıtların çözüm vektörü x tarafından eşanlı olarak başarıma-erişilme derecesini gösterir. Bu değişkenler, $\lambda_j, \gamma_p \in [0,1]$ şeklinde tanımlanır (Özkan, 2003; Amid vd., 2006).

Bu değişkenler, modeldeki belirsizlikler altında daha iyi bir değer elde edilemeyeceğini, elde edilen hedef değerlerinin olabilirliğinin; bulanık hedefler için 0 ile 1 değerleri arasında tanımlanan λ_j ve bulanık kısıtlar için yine 0 ile 1 değerleri arasında tanımlanan γ_p değişkeninin değeri olduğunu ifade eder. Bu yöntemde, bulanık hedef ve bulanık kısıtların önem sıraları w_j ve β_p ile gösterilen ağırlıklar toplamı “1” olacak şekilde ifade edilir.

5.3.2 Bulanık parametrelili modeller

Bu bölümde kısıtlardaki teknolojik katsayılar ve sağ taraf değerlerinde bulanıklık olduğu durum ele alınacak (5.22) ve bu durum için çözüm yöntemi anlatılacaktır (Kahraman, 2015). Çözüm yöntemi, sadece amaç fonksiyonu katsayılarında bulanıklık, hem amaç fonksiyonu hem kısıtlardaki parametrelerde bulanık ve hem hedeflerde hem de kısıtların sağ taraf değerlerinde bulanıklık olma durumuna göre revize edilebilir.

$$\begin{aligned}
\max Z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j & (5.22) \\
&\text{ş.k.g.} \\
\sum_{j=1}^n \underset{\sim}{a}_{ij} x_j &\leq \underset{\sim}{b}_i \\
x_j &\geq 0
\end{aligned}$$

Kısıttaki $\underline{a}_{ij}$ ve $\underline{b}_i$ bulanık sayılarının doğrusal üyelik fonksiyonları (5.23) ve (5.24)'te sırasıyla verilmiştir.

$$\mu_{a_{ij}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a_{ij} \\ (a_{ij} + d_{ij} - x)/d_{ij} & a_{ij} \leq x \leq a_{ij} + d_{ij} \\ 0, & x \geq a_{ij} + d_{ij} \end{cases} \quad (5.23)$$

$$\mu_{b_i}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq b_i \\ (b_i + p_i - x)/p_i & b_i \leq x \leq b_i + p_i \\ 0, & x \geq b_i + p_i \end{cases} \quad (5.24)$$

Deterministik kısıtlar aynı kalmak şartıyla (5.25)-(5.28)'deki doğrusal programlama modelleri tek tek çözülür. Böylece her bir hedefin alt (z_l) ve üst (z_u) limitleri hesaplanır. Alt limit, modeller tek tek çözüldüğünde elde edilen değerlerin en küçük olanını ($z_l = \min(z_1, z_2, z_3, z_4)$), üst limit ise en büyük olanını ($z_u = \max(z_1, z_2, z_3, z_4)$) verir.

$$Z_1 = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (5.25)$$

ş.k.g.

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} + d_{ij})x_j \leq b_i, \quad x_j \geq 0$$

$$Z_2 = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (5.26)$$

ş.k.g.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i + p_i, \quad x_j \geq 0$$

$$Z_3 = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (5.27)$$

ş.k.g.

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} + d_{ij})x_j \leq b_i + p_i, \quad x_j \geq 0$$

$$Z_4 = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (5.28)$$

ş.k.g.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad , \quad x_j \geq 0$$

Hedefler için alt ve üst limitler elde edildikten sonra, hedeflerin üyelik fonksiyonu ($\mu_z(x)$) (5.29)'daki gibidir:

$$\mu_z(x) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^n c_j x_j < z_l \\ \left(\sum_{j=1}^n c_j x_j - z_l \right) / (z_u - z_l) & z_l \leq \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq z_u \\ 1, & \sum_{j=1}^n c_j x_j \geq z_u \end{cases} \quad (5.29)$$

Benzer şekilde bulanık kısıtlar için de üyelik fonksiyonu ($\mu_c(x)$) aşağıdaki gibidir:

$$\mu_c(x) = \begin{cases} 0, & b_i < \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \\ \frac{(b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j)}{(\sum_{j=1}^n d_{ij} x_j - p_i)} & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \leq \sum_{j=1}^n (a_{ij} + d_{ij}) x_j + p_i \\ 1, & b_i \geq \sum_{j=1}^n (a_{ij} + d_{ij}) x_j + p_i \end{cases} \quad (5.30)$$

Yeni oluşturulan klasik doğrusal programlama modeli (5.31)'de verilmiştir.

$$\max \lambda \quad (5.31)$$

ş.k.g.

$$\lambda(z_u - z_l) - \sum_{j=1}^n c_j x_j + z_l \leq 0$$

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} + \lambda d_{ij}) x_j + \lambda p_i - b_i \leq 0 \quad , \quad x_j \geq 0 \quad , \quad 0 \leq \lambda \leq 1$$

6. GERİ KAZANIMLI KAPALI ÇEVİRİM MODELLERİ: ÖNERİLEN MODELLER VE NÜMERİK ÖRNEKLER

Çalışmada, tersine lojistik yaklaşımlarından yeniden kullanım (reuse)'ın uygulandığı kapalı çevrim tedarik zinciri için çeşitli varsayımlar altında üretim ve dağıtım modelleri geliştirilmiştir. Tüm modellerde temel olarak, müşterilerin talepleri tedarikçiden yeni temin edilen ürünler ile müşterilerden geri toplanan ürünlerden karşılanır. Böylece müşterilerden geri toplanan ürünler değerlendirilerek, maliyetlerin azaltıldığı ve çevreye minimum zararın verildiği bir sistem söz konusudur. Burada müşterilerden distribütörler, bayiler ve bölge depoları kanalıyla geri toplanan ürünler çeşitli aşamalardan geçirilerek (kontrol-ayırıştırma/temizleme vs.) sisteme yeniden dahil edilir. Distribütörler büyük müşterilere, bayiler ise küçük müşterilere hizmet vermektedir. Uygulama yapılan sektör itibarıyla yeniden kullanılabilen ürünler, çalışmada depozitolu ürünleri temsil ettiğinden bu isimle ifade edilmiştir.

Çalışmada farklı dağıtım sistemleri olan işletmelerin varlığı dikkate alınarak çeşitli modellerin geliştirilip önerilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada basit modelden başlayıp karma modeller geliştirilmiştir. Modellerde üretim ve dağıtıma ek olarak hurda faktörü de ele alınmıştır. Tüm modellerde fabrika talepten daha fazla üretim yapmakta ve bir sonraki dönem için stoklamaktadır.

Modellerin çözümünde LINDO 6.1. paket programı kullanılmıştır. Her bir modelin Lindo'dan elde edilen sonuçları çizelge ve şekillerde verilmiştir.

6.1 Tersine Lojistik Üretim ve Dağıtım Problemlerine Yönelik Önerilen Hipotetik Modeller

Toplamda beş adet hipotetik model önerilmiştir. Modeller çeşitli hedefler için tek tek çözülmüş ve sonuçları görsellere aktararak karşılaştırma yapılması kolaylaştırılmıştır. Her bir modelin varsayımları ve notasyonları ilgili başlıklar altında sunulmuştur.

Model 1, en basit model olup, yeniden kullanabilen tek bir ürün (1U), bir distribütör (D), bir bayi (B) ve bir bölge deposu (F) için kurulmuştur. Model 2, Model 1 ile aynı yapıda olup, yeniden kullanabilen bir ürün (1U), iki distribütör (2D), iki bayi (2B) ve iki bölge deposu (2F) için kurulmuştur. Model 3 ise yeniden kullanabilen iki ürün (2U), iki distribütör (2D), iki bayi (2B) ve iki bölge deposu (2F) için geliştirilmiştir. İlk üç modelde, kullanılmış ürünler bölge depolarından distribütörler aracılığıyla geri toplanır. Model 4 ve Model 5 ilk üç modelden farklı yapılarda olup, distribütörler zincir mağazalar ve küçük müşteriler olmak üzere iki farklı müşteri tipine hizmet vermektedir. İleri ve tersine ürün akışları da farklılık içermektedir.

Model 4, yeniden kullanabilen bir ürün (1U), iki distribütör (2D), iki bayi (2B) ve üç bölge deposu (3F) için geliştirilmiştir. Model 5 ise Model 4'ün iki depozitolu ürün (2U), dört distribütör (4D), iki bayi (2B) ve üç bölge deposu (3F) için geliştirilmiş. Model 4 ve Model 5'te kullanılmış ürünler bölge depolarından aynen fabrikaya geri gönderilmektedir.

Model 1-2 ve 3 çok amaçlı olup, toplam maliyetin minimum kılınması, geri toplanan ürün miktarının maksimum kılınması ve taşımalar sırasında çevreye yayılan CO₂ miktarının minimum kılınması olmak üzere üç hedef için çözülmüştür. Her üç hedefi ve aynı zamanda tüm kısıtları da sağlayacak şekilde ileri akışta hangi distribütöre, hangi bayiye ve hangi bölge deposuna ne miktarda ürün gönderilsin, distribütör müşterilerine ne miktarda ürün göndersin ve tersine akışta distribütör, bayi ve bölge deposuna geri toplanacak ürün miktarının, bir sonraki dönem için üretilip depolanması gereken ürün miktarının ve hurda miktarının hesaplanması amaçlanır. Model 4 ve Model 5 hem model yapısı olarak hem de hedef olarak farklılık göstermektedir. Model 4 ve Model 5 sadece toplam maliyetin minimum kılınması amacı için çözülmüştür.

miktarının, bir sonraki dönem için üretilip depolanması gereken ürün miktarının ve hurda miktarının hesaplanması amaçlanır.

Model 1'in Varsayımları:

Sistemin modellenmesinde çeşitli varsayımlar bulunmaktadır. Bunlar aşağıda listelenmiştir:

1. Depozitolu ürün distribütör ve bayiye hangi satış kanalıyla gönderiliyorsa, kullanılmış ürünler aynı satış kanalı ile geri toplanır. Geri toplama sırasında müşteri tarafında kayıplar söz konusudur. Bu nedenle müşterilerden her sevkiyat zamanında toplanabilecek kullanılmış ürün miktarı belirsizdir.
2. Depozitolu ürün bölge deposundan, distribütörler aracılığıyla geri toplanır.
3. Müşterilerden her sevkiyat zamanında toplanabilecek kullanılmış ürün kalitesi belirsizdir.
4. Müşterilerin, dağıtım merkezlerinin (distribütör (d) ve bayi (b)), bölge deposunun (f) ve tedarikçinin (s) konumları kesin olarak bilinmektedir.
5. İleri ve tersine ürün akışlarında aynı taşıma araçlarının kullanıldığı varsayılmaktadır. Bu araçlar ürünleri teslim ettikten sonra kullanılmış ürünleri toplamaktadır.
6. Geri dönen ürünlerin kalite kontrolü ve bozuk-kırık ambalajların ayırımında iş gücü kullanılmaktadır. Kalite kontrolünü geçemeyenler imha edilmek üzere hurdaya ayrılmaktadır.
7. Ürün, ambalaj içindeki içeceği ve ambalaj bileşenlerini kapsar.
8. Fabrika ile bölge deposu arasındaki akışta sadece taşıma maliyetleri dikkate alınmıştır.
9. Tedarikçiden yeni temin edilen ürünlerin kalitesinin iyi olduğu varsayılmaktadır.
10. Bölge depoları arasında ürün akışı yoktur.
11. Dönem başı stoğun olamadığı varsayılır.
12. Tüm taşımaların tek tip bir taşıma aracıyla yapıldığı varsayılır.

6.1.1.1 Notasyon

Modellerde ‘g’ geri akışı, ‘k’ ise kayıpları ifade etmektedir. Problemin modellenmesinde kullanılan indisler, değişkenler ve parametreler aşağıda verilmiştir.

İndisler:

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>	
d	Distribütör	d=1
b	Bayi	b=1
f	Bölge deposu	f=1
m _i	Müşteriler	i=1,2
s	Tedarikçi	s=1

Değişkenler (Model 1)

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>
X _s	Tedarikçiden yeni alınan ürün miktarı
X _d	Distribütöre gönderilen ürün miktarı
X _b	Bayiye gönderilen ürün miktarı
X _f	Bölge deposuna gönderilen ürün miktarı
X _h	Hurdaya satılacak ürün miktarı
X _e	Stoklamak üzere talepten fazla üretilen ürün miktarı
X _{dmi}	Distribütörün i. müşterisine gönderilen ürün miktarı
X _{fg}	Bölge deposundan distribütöre geri taşınan ürün miktarı
X _{dg}	Distribütörden fabrikaya geri taşınan ürün miktarı
X _{bg}	Bayiden fabrikaya geri taşınan ürün miktarı
X _{dmig}	i. müşteriden distribütöre geri taşınan ürün miktarı
X _{dmik}	Distribütörün i. müşterisindeki kayıplar
X _{bk}	Bayideki kayıplar
X _{fk}	Bölge deposundaki kayıplar

Parametreler (Model 1)

Birim maliyetler (TL/adet)

G_d	Distribütörden geri toplanan ürünlerin edinim fiyatı
G_b	Bayiden geri toplanan ürünlerin edinim fiyatı
G_s	Tedarikçiden satın alınan ürünün birim fiyatı
c_e	Talepten fazla üretilen ürünlerin depolama maliyeti
c_{at}	Birim ayırma ve temizleme maliyeti
c_d	Ürünlerin birim dolum maliyeti
c_s	Tedarikçiden yeni alınan ürünlerin birim depolama maliyeti
c_p	Satışa hazır ürünlerin birim depolama maliyeti
c_{pb}	Geri toplanan ürünlerin birim depolama maliyeti
c	Ürünün birim taşıma maliyeti

Kapasite (adet)

Kap_{depo}	Fabrikanın depo kapasitesi
Kap_d	Distribütör kapasitesi
Kap_y	Yıkama makinesi kapasitesi

Mesafe (km)

d_d	Fabrika ile distribütör arasındaki mesafe
d_{dmi}	Distribütör ile i. müşteri arasındaki mesafe
d_b	Fabrika ile bayi arasındaki mesafe
d_f	Fabrika ile bölge deposu arasındaki mesafe
d_s	Fabrika ile tedarikçi arasındaki mesafe
d_{fd}	Bölge deposu ile distribütör arasındaki mesafe

Talep (adet)

D_{mi}	mi. müşterinin ürüne olan talebi
D_b	Bayinin ürüne olan talebi
D_f	Bölge deposunun ürüne olan talebi

Kullanılmış ürün geri dönüş yüzdesi (%)

r_g^{mak}	Ürünlerin maksimum geri toplanma yüzdesi
r_g^{min}	Ürünlerin minimum geri toplama yüzdesi

Hurda yüzdesi (%)

r_h^{mak}	Hurdaya gönderilecekler maksimum ürün yüzdesi
r_h^{min}	Hurdaya gönderilecekler minimum ürün yüzdesi

Talepten fazla üretim yüzdesi (%)

r_e^{mak}	Talepten fazla üretilbilecek maksimum ürün yüzdesi
r_e^{min}	Talepten fazla üretilbilecek minimum ürün yüzdesi

Diğer

A^e	Geri toplanmış ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
A^c	Distribütör, bayi ve bölge deposuna gönderilmeye hazır ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
A^s	Tedarikçiden temin edilmiş ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
w	Ürünün ağırlığı (g)

6.1.1.2 Matematiksel formülasyon

Hedef 1. Kapalı çevrim tedarik zincirinin toplam maliyetinin minimum kılınması

$$\text{Min } TEM + T\dot{I}HM + TTM + TDEM \quad (6.1)$$

- Toplam Edinim Maliyeti (TEM): Tedarikçiden yeni ürünlerin satın alınması ve kullanılmış ürünlerin distribütör ve bayilerden satın alınması maliyetini içerir.

$$TEM = X_s G_s + X_{dg} G_d + X_{bg} G_b \quad (6.2)$$

- Toplam Yeniden İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TİHM): Dolum, ayıklama ve temizleme gibi çeşitli işlemlerin maliyetlerini içerir.

$$T\dot{I}HM = (X_d + X_b + X_f + X_e) c_d + (X_{dg} + X_{bg} + X_e) c_{at} \quad (6.3)$$

- Toplam Taşıma Maliyetleri (TTM): Kapalı çevrim tedarik zincirindeki tüm ileri ve geri akışlardaki taşıma maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned} TTM = & X_f d_f c + X_{fg} d_{fd} c + (X_d + X_{dg}) d_d c \\ & + (X_b + X_{bg}) d_b c + X_s d_s c + (X_{dm1} + X_{dm1g}) d_{dm1} c \\ & + (X_{dm2} + X_{dm2g}) d_{dm2} c \end{aligned} \quad (6.4)$$

- Toplam Depolama ve Elde Bulundurma Maliyeti (TDEM): Müşterilere gönderilmeye hazır ürünlerin, müşterilerden geri toplanan kullanılmış ürünlerin, tedarikçiden satın alınan ürünlerin ve bir sonraki dönem için fazladan üretilen ürünlerin depolama maliyetlerini içerir.

$$TDEM = (X_d + X_b + X_f) c_p + (X_{dg} + X_{bg}) c_{pb} + X_s c_s + X_e c_e \quad (6.5)$$

Hedef 2. Kapalı çevrim tedarik zincirinde (KÇTZ) geri toplanan ürünlerin maksimum kılınması

$$Mak \sum_{i=1}^2 X_{dmig} + X_{fg} + X_{bg} \quad (6.6)$$

Hedef 3. Açığa çıkan karbondioksit (CO₂) emisyon miktarının minimum kılınması

CO₂ yayılımı, taşıma aracına (kamyon,tır vb.), petrol çeşidine (dizel, LPG, petrol etc.) ve katedilen mesafeye göre değişir. Karayolu taşımacılığı için ortalama CO₂ emisyon miktarı 62g CO₂/ton-km'dir. Bu değer, McKinnon tarafından önerilmiş olup toplam dolu ağırlığı 40-44 ton olan kamyonlar için ve aracın en fazla %80'inin yüklü olduğu ve %25'inin boş olduğu varsayımı için geçerlidir (Mehidi vd., 2014; Scottish Border Council Rapport, 2014). Bu kapsamda model için toplam karbondioksit yayılım hedefi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ emisyon (ton)} &= (\text{Taşınan ürün miktarı -Ton}) \times (\text{Mesafe- km}) \\ &\times (\text{g CO}_2 \text{ ton km})/1.000.000 \end{aligned} \quad (6.7)$$

$$\text{Min} \left(\begin{array}{l} X_f d_f + X_{fg} d_{fd} \\ + (X_d + X_{dg}) d_d \\ + (X_b + X_{bg}) d_b + X_s d_s \\ + (X_{dm1} + X_{dm1g}) d_{dm1} \\ + (X_{dm2} + X_{dm2g}) d_{dm2} \end{array} \right) \times 62 \times 0.001 \times w \quad (6.8)$$

Kısıtlar

1. Akış kısıtı

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir.

$$X_s + X_{dg} + X_{bg} - (X_d + X_b + X_f + X_h + X_e) \geq 0 \quad (6.9)$$

- **Distribütör ve müşterilerdeki ürün akışı**

- Distribütördeki ileri ve geri akışları içerir. Distribütöre gönderilen ürün miktarı distribütörden geri toplanan kullanılmış ürün miktarından eşit veya fazladır.

$$X_d + \sum_{i=1}^2 X_{dmi} + X_{fg} - \left[\sum_{i=1}^2 X_{dmi} + X_{dg} \right] \geq 0 \quad (6.10)$$

- Distribütöre gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarına eşittir.

$$X_d = \sum_{i=1}^2 X_{dmi} \quad (6.11)$$

- Distribütörden fabrikaya geri akışı gösterir.

$$X_{dg} = \sum_{i=1}^2 X_{dmi} + X_{fg} \quad (6.12)$$

- Müşterilere gelen ürün miktarı, müşterilerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{dmi} = X_{dmi} + X_{dmik} \quad (6.13)$$

- **Bayideki akış :** Bayiye gelen ürün miktarı, bayiden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_b = X_{bg} + X_{bk} \quad (6.14)$$

- **Bölge deposundaki akış :** Bölge deposuna gelen ürün miktarı, bölge deposundan çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_f = X_{fg} + X_{fk} \quad (6.15)$$

- 2. **Hurda kısıtı:** Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda imha edilmek üzere kalitesi yetersiz ve/veya başka üreticilere ait toplanmış ürünlerin hurdaya satışı

istenmektedir. Geri toplanmış ürünlerin en az $\%r_h^{min}$ 'i, en fazla $\%r_h^{mak}$ 'ı kadar hurda olmaktadır.

$$X_h \leq r_h^{mak} (X_{dg} + X_{bg}) \quad ; \quad X_h \geq r_h^{min} (X_{dg} + X_{bg}) \quad (6.16)$$

3. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt: Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az $\%r_e^{min}$ 'i, en fazla $\%r_e^{mak}$ 'ı kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$X_e \leq r_e^{mak} (X_s + X_{dg} + X_{bg}) \quad ; \quad X_e \geq r_e^{min} (X_s + X_{dg} + X_{bg}) \quad (6.17)$$

4. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Geri dönen ve tedarikçiden yeni temin edilen ürünler, dolumdan önce yıkama makinesinde yıkanır. Yıkanan ürünler, yıkama makinesinin kapasitesini aşmamalıdır.

$$X_s + X_{dg} + X_{bg} \leq Kap_y \quad (6.18)$$

5. Geri toplanan ürün ile ilgili kısıt: Distribütör ve bayiye gönderilen ürünlerin ancak $\%r_g^{mak}$ 'ı geri toplanmaktadır. Bölge deposunda ise en az $\%r_g^{min}$ 'i, en fazla $\%r_g^{mak}$ 'ı kadar ürün geri toplanır.

$$X_{dmig} \leq r_g^{mak} X_{dmi} \quad (6.19)$$

$$X_{bg} \leq r_g^{mak} X_b \quad (6.20)$$

$$X_{fg} \leq r_g^{mak} X_f \quad , \quad X_{fg} \geq r_g^{min} X_f \quad (6.21)$$

6. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütör, bayi ve bölge deposundan geri toplamış ürünler, fabrika deposundaki ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$X_{dg} + X_{bg} \leq Kap_{depo} A^e \quad (6.22)$$

- Distribütör, bayi ve bölge deposuna gönderilmeye hazır ürünlerin depolama kapasitesi, fabrika deposundaki ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$X_d + X_b + X_f \leq Kap_{depo} A^c \quad (6.23)$$

- Tedarikçiden yeni temin edilen ürünler, fabrika deposundaki ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$X_s \leq Kap_{depo} A^s \quad (6.24)$$

7. Talep kısıtı:

- Her bir müşterinin ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$X_{dmi} \geq D_{mi} \quad (6.25)$$

- Her bir bayinin ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$X_b = D_b \quad (6.26)$$

- Her bir bölge deposunun ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$X_f = D_f \quad (6.27)$$

8. Distribütör kapasitesi kısıtı: Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^2 X_{dmi} \leq Kap_d \quad (6.28)$$

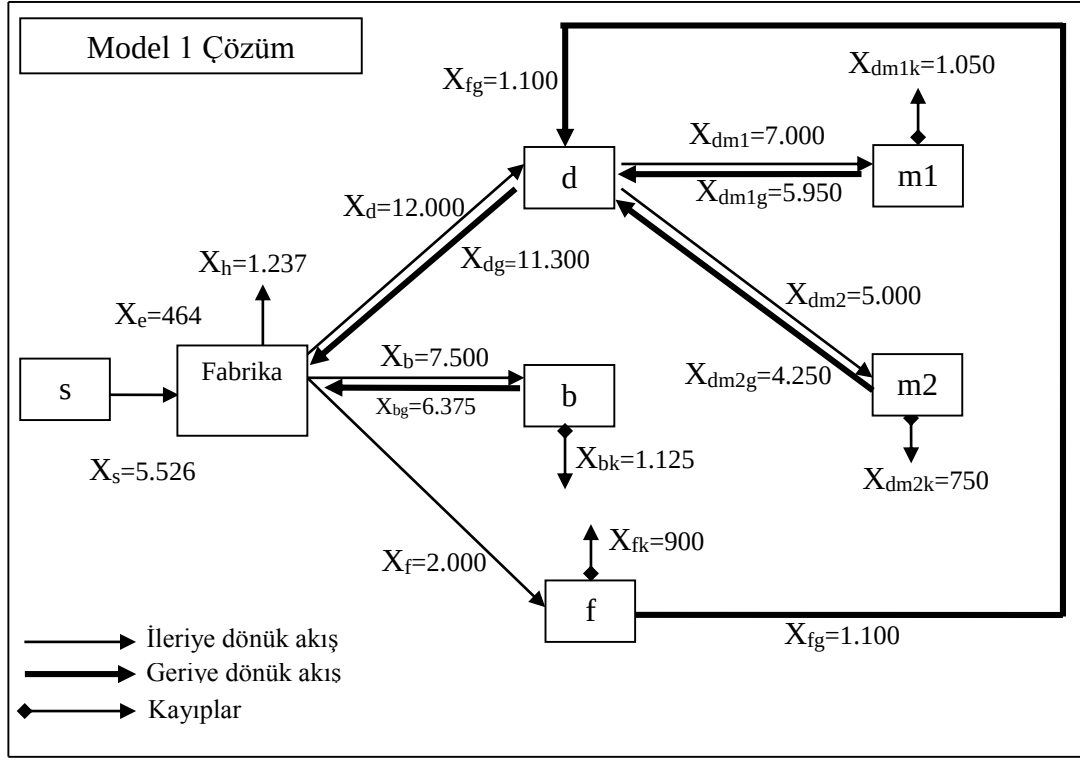
9. Negatif olmama kısıtı: İleri ve geri akıştaki ürün miktarları negatif olmamalıdır.

$$X_s, X_d, X_b, X_f, X_e, X_h, X_{dmi}, X_{dg}, X_{bg}, X_{fg}, X_{dmig}, X_{dmik}, X_{bk}, X_{fk} \geq 0 \quad (6.29)$$

Çizelge 6.1 : Parametre değerleri (Model 1).

Yüzdeler	Talep (adet)	Kapasite (adet)	Maliyetler (TL/adet)
$r_g^{mak} = 0.85$	$D_{m1} = 7.000$	$Kap_y = 30.000$	$c_p = 1.2$ $G_s = 22$
$r_g^{min} = 0.55$	$D_{m2} = 5.000$	$Kap_d = 18.000$	$c_{pb} = 0.8$ $G = 15$
$r_h^{mak} = 0.11$	$D_{b1} = 7.500$		$c = 2$ $c_s = 0.7$
$r_h^{min} = 0.07$	$D_{f1} = 2.000$		$c_{at} = 0.05$ $c_e = 0.7$
$r_e^{mak} = 0.045$			$c_d = 0.45$
$r_e^{min} = 0.02$			

Her bir hedef göz önüne alınarak modelin nihai çözümünde Lexiografik modellemeden yararlanılmıştır. Lexiografik modellemeye, her bir hedef öncelik sırasına göre tek tek çözülür. Çözülen her hedef bir sonra çözülecek modelde yeni bir kısıt olarak yazılır. Bu şekilde elde edilen bütünlük çözüm Şekil 6.2’de verilmiştir.

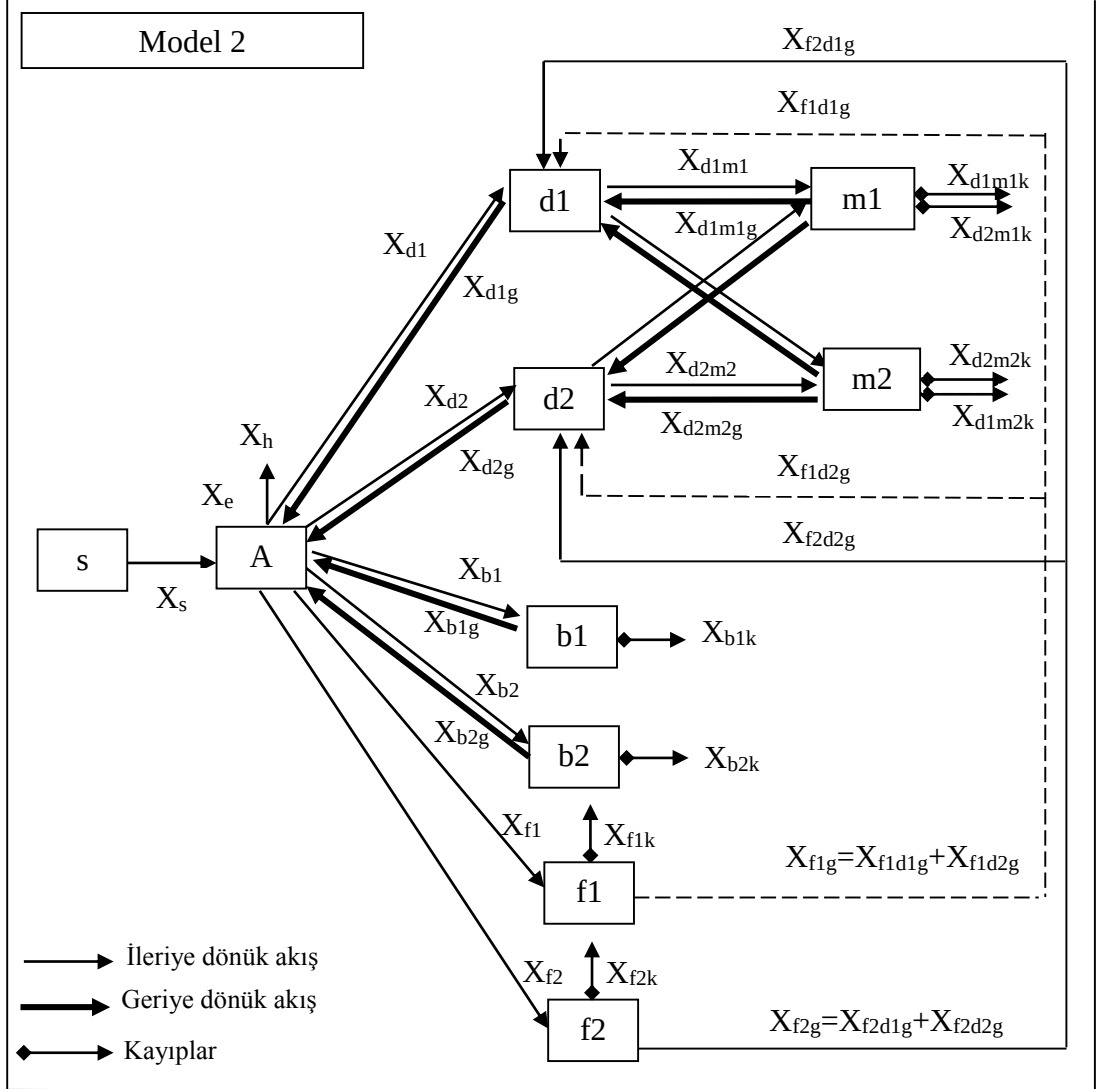


Şekil 6.2 : Model 1’in çözümü

Şekil 6.2’de ileri ve tersine akışlardaki ürün miktarları, kayıp ürün miktarları, hurda ve fazladan üretilip bir sonraki dönem stoklanması planlanan ürün miktarları verilmiştir. Sonuç olarak bütün müşterilerin talepleri karşılanmıştır. Hurda miktarının 1.237 adet şişe olacağı ve fazladan 464 adet ürün üretilip stoklanması gerektiği bulunmuştur. Sistemde toplam 3.825 adet (1.050+750+1.125+900) ürün kaybı söz konusudur. Hedef değerleri sırasıyla 1.236.240 TL, 17.675 adet ve 24.633 kg şeklinde hesaplanmıştır.

6.1.2 Model 2

Yeniden kullanılabilen bir ürün, iki distribütör, iki bayi ve iki bölge deposu modeli:
1U-2D-2B-2F



Şekil 6.3 : Model 2'ye ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi.

Model 2'de Model 1'den farklı olarak distribütör, bayi ve bölge depolarının sayısı arttırılmıştır. İlk modeldeki gibi tek bir ürün gözönüne alınmıştır. Modelin yapısı Şekil 6.3'teki gibidir. Distribütörler her bir müşteriye hizmet edebilecek kapasitededir. Distribütörler hem müşterilerden geri topladıkları kullanılmış ürünleri hem de bölge depolarından gelen kullanılmış ürünleri fabrikaya iletmekle yükümlüdür. Müşteriler, bayiler ve bölge depolarında ürün kayıpları söz konusudur.

Model 2'nin Varsayımları:

Model 1'in varsayımlarına ek olarak; sistemin modelinin oluşturulmasında yapılan varsayımlar aşağıda özetlenmiştir:

- Varsayım 1-12 (Model 1)
- Bölge depolarından geri toplanan ürünler distribütörlerden yalnızca biri kanalıyla toplanabilir.
- Distribütörler her müşteriye hizmet verebilmektedir.

6.1.2.1 Notasyon

İndisler

Sembol	Açıklama	
d_j	Distribütör	$j=1,2$
b_n	Bayi	$n=1,2$
m_i	Müşteri	$i=1,2$
f_l	Bölge deposu	$l=1,2$
s	Tedarikçi	$s = 1.$

Değişkenler (Model 2)

Sembol	Açıklama
X_s	Tedarikçiden yeni alınan ürün miktarı
X_{dj}	d_j . distribütöre gönderilen ürün miktarı
X_{bn}	b_n . bayiye gönderilen ürün miktarı
X_{fl}	f_l . bölge deposuna gönderilen ürün miktarı
X_h	Hurdaya satılacak ürün miktarı
X_e	Stoklamak üzere talepten fazla üretilen ürün miktarı
X_{djmi}	d_j . distribütörden m_i . müşteriye gönderilen ürün miktarı
X_{fldjg}	f_l . bölge deposundan d_j . distribütöre taşınan kullanılmış ürün miktarı
X_{flg}	f_l . bölge deposundan toplanan kullanılmış ürün miktarı
X_{djg}	d_j . distribütörden fabrikaya geri taşınan ürün miktarı
X_{bng}	b_n . bayiden fabrikaya geri taşınan ürün miktarı
X_{djmig}	m_i . müşteriden d_j . distribütöre geri taşınan ürün miktarı
X_{djmik}	d_j . distribütörün m_i . müşterideki kayıp ürün miktarı

X_{bnk} b_n . bayideki kayıp ürün miktarı

X_{flk} f_l . bölge deposundaki kayıp ürün miktarı

$$y_{f_l d_j g} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } f_l \text{ bölge deposundaki kullanılmış ürünler } d_j \text{ distribütöre gönderiliyorsa} \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases}$$

Parametreler (Model 2)

Birim maliyetler (TL/adet)

G Distribütör ve bayilerde geri toplanan ürünlerin edinim fiyatı

G_s Tedarikçiden ürünün satınalma fiyatı

c_e Talepten fazla üretilen ürünlerin birim depolama maliyeti

c_{at} Birim ayırma ve temizleme maliyeti

c_d Ürünlerin birim dolum maliyeti

c_s Tedarikçiden yeni alınan ürünlerin birim depolama maliyeti

c_p Satışa hazır ürünlerin birim depolama maliyeti

c Ürünün birim taşıma maliyeti

Kapasite (adet)

Kap_{depo} Fabrikanın depo kapasitesi

Kap_{dj} d_j . distribütörün kapasitesi

Kap_y Yıkama makinesi kapasitesi

Mesafe (km)

d_{dj} Fabrika ile d_j . distribütör arasındaki mesafe

d_{djmi} d_j . distribütör ile m_i . müşteri arasındaki mesafe

d_{bn} Fabrika ile b_n . bayi arasındaki mesafe

d_{fl} Fabrika ile f_l . bölge deposu arasındaki mesafe

d_s Fabrika ile tedarikçi arasındaki mesafe

d_{fldj} f_l . bölge deposu ile d_j . distribütör arasındaki mesafe

Talep (adet)

D_{mi} Distribütörün m_i . müşterisinin ürüne olan talebi

D_{bn} b_n . bayinin ürüne olan talebi

D_{fl} f_l . bölge deposunun ürüne olan talebi

Kullanılmış ürün geri dönüş yüzdesi (%)

r_g^{mak} Ürünlerin maksimum geri toplama yüzdesi

r_g^{min} Ürünlerin minimum geri toplama yüzdesi

Hurda yüzdesi (%)

r_h^{mak} Hurdaya gönderilecekler maksimum ürün yüzdesi

r_h^{min} Hurdaya gönderilecekler minimum ürün yüzdesi

Talepten fazla üretim yüzdesi (%)

r_e^{mak} Talepten fazla üretilebilecek maksimum ürün yüzdesi

r_e^{min} Talepten fazla üretilebilecek minimum ürün yüzdesi

Diğer

A^e Geri toplanmış ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)

A^c Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilmeye hazır ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)

A^s Tedarikçiden temin edilmiş ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)

M Yeterince büyük pozitif bir sayı

w Ürünün ağırlığı (g)

6.1.2.2 Matematiksel formülasyon

Hedef 1. Kapalı çevrim tedarik zincirinin toplam maliyetinin minimum kılınması

$$\text{Min } TEM + TIHM + TTM + TDEM \quad (6.30)$$

- Toplam Edinim Maliyeti (TEM): Yeni ve eski ürünlerin edinim maliyetlerini içerir.

$$TEM = X_s G_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_{jg}} G + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}} G \quad (6.31)$$

- Toplam Yeniden İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TIHM): Dolum, ayıklama ve temizleme gibi çeşitli işlemlerin maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned} TIHM = & \sum_{j=1}^2 (X_{d_j} c_d + X_{d_{jg}} c_{at}) + \sum_{n=1}^2 (X_{b_n} c_d + X_{b_{ng}} c_{at}) \\ & + \sum_{l=1}^2 X_{f_l} c_d + X_e (c_{at} + c_d) \end{aligned} \quad (6.32)$$

- Toplam Taşıma Maliyetleri (TTM): Kapalı çevrimdeki tüm taşıma maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
 TTM = & \sum_{l=1}^2 X_{f_l} d_{f_l} c + \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{f_l d_{jg}} d_{f_l d_j} c \\
 & + \sum_{j=1}^2 (X_{d_j} + X_{d_{jg}}) d_{d_j} c + \sum_{n=1}^2 (X_{b_n} + X_{b_{ng}}) d_{b_n} c \\
 & + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (X_{d_{jm_i}} + X_{d_{jm_{ig}}}) d_{d_{jm_i}} c + X_s d_s c
 \end{aligned} \tag{6.33}$$

- Toplam Depolama ve Elde Bulundurma Maliyeti (TDEM): Müşteriden geri toplanmış, müşteriye dağıtımı hazır, tedarikçiden satın alınmış vd. tüm ürünlerin depolama maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
 TDEM = & \left[\sum_{j=1}^2 (X_{d_j} + X_{d_{jg}}) + \sum_{n=1}^2 (X_{b_n} + X_{b_{ng}}) + \sum_{l=1}^2 X_{f_l} \right] c_p \\
 & + X_s c_s + X_e c_e
 \end{aligned} \tag{6.34}$$

Hedef 2: KÇTZ’de geri toplanan ürünlerin maksimum kılınması

$$Mak \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{f_l d_{jg}} + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 X_{d_{jm_{ig}}} + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}} \tag{6.35}$$

Hedef 3 : KÇTZ’de taşımalar sırasında açığa çıkan karbondioksit (CO₂) emisyon miktarının minimum kılınması

$$\text{Min} \left(\begin{aligned} & \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{f_l d_{jg}} d_{f_l d_j} + \sum_{l=1}^2 X_{f_l} d_{f_l} \\ & + \sum_{j=1}^2 (X_{d_j} + X_{d_{jg}}) d_{d_j} + X_s d_s \end{aligned} \right) \times 62 \times w \times 0.001 \tag{6.36}$$

$$+ \left(\sum_{n=1}^2 (X_{b_n} + X_{b_{ng}}) d_{bn} + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (X_{d_{jm_i}} + X_{d_{jm_{ig}}}) d_{d_{jm_i}} \right) \times 62 \times w \times 0.001$$

Kısıtlar

1. Akış kısıtı:

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir.

$$X_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}} - (X_e + \sum_{j=1}^2 X_{d_j} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n} + \sum_{l=1}^2 X_{f_l} + X_h) \geq 0 \quad (6.37)$$

- **Distribütör ve müşterilerdeki ürün akışı**

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerden geri toplanan kullanılmış ürün miktarından eşit veya fazladır.

$$(X_{d_j} - X_{d_{jg}}) + \sum_{i=1}^2 (X_{d_{jm_{ig}}} - X_{d_{jm_i}}) + \sum_{l=1}^2 X_{f_l d_{jg}} \geq 0 \quad (6.38)$$

j için

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarı kadardır.

$$X_{d_j} - \sum_{i=1}^2 X_{d_{jm_i}} = 0 \quad \forall j \text{ için} \quad (6.39)$$

- Distribütörlere gelen ürün miktarı, distribütörlerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{d_{jm_i}} - X_{d_{jm_{ig}}} - X_{d_{jm_{ik}}} = 0 \quad \forall j, \forall i \text{ için} \quad (6.40)$$

- Distribütörden fabrikaya geri ürün akışını gösterir.

$$X_{d_jg} - \sum_{i=1}^2 X_{d_jm_{ig}} - \sum_{l=1}^2 X_{f_ld_jg} = 0 \quad \forall j \text{ için} \quad (6.41)$$

- **Bayilerdeki akış:** Bayilere gelen ürün miktarı, bayilerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{b_n} - X_{b_ng} - X_{b_nk} = 0 \quad \forall n \text{ için} \quad (6.42)$$

- **Bölge depolarındaki akış:**

- Bölge depolarına gelen ürün miktarı, bölge depolarından çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{f_l} - X_{f_lg} - X_{f_lk} = 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (6.43)$$

- Bölge depolarından geri akış aşağıdaki gibidir.

$$X_{f_lg} - \sum_{j=1}^2 X_{f_ld_jg} = 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (6.44)$$

- Bölge depolarından geri akışlar tek bir distribütör tarafından yürütülür.

$$X_{f_ld_1g} - M y_{f_ld_1g} \leq 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (6.45)$$

$$X_{f_ld_2g} - M y_{f_ld_2g} \leq 0 \quad (6.46)$$

$$y_{f_ld_1g} + y_{f_ld_2g} = 1 \quad (6.47)$$

- 2. Hurda kısıtı:** Hurda miktarı, distribütör ve bayilerden geri toplanan ürünlerin en az % r_h^{min} 'i en fazla % r_h^{mak} 'ı kadar olmalıdır.

$$X_h - r_h^{mak} \left(\sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_ng} \right) \leq 0 \quad (6.48)$$

$$X_h - r_h^{min} \left(\sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_ng} \right) \geq 0 \quad (6.49)$$

3. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt: Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda talepten fazla üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az % r_e^{min} i, en fazla % r_e^{mak} 'ı kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$X_e - r_e^{mak}(X_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}}) \leq 0 \quad (6.50)$$

$$X_e - r_e^{min}(X_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}}) \geq 0 \quad (6.51)$$

4. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Yıkama makinesinde yıkanan ürünler, makinenin kapasitesini aşamaz.

$$X_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}} \leq Kap_y \quad (6.52)$$

5. Geri toplanan ürünler ile ilgili kısıt: Distribütör ve bayilere gönderilen ürünlerin en fazla % r_g^{mak} 'ı geri toplanmaktadır. Bölge depolarında ise bu oran en az % r_g^{min} , en fazla % r_g^{mak} 'tır.

$$X_{d_{jmg}} - r_g^{mak} X_{d_{jm_i}} \leq 0 \quad \forall j, \forall i \text{ için} \quad (6.53)$$

$$X_{b_{ng}} - r_g^{mak} X_{b_n} \leq 0 \quad \forall n \text{ için} \quad (6.54)$$

$$X_{f_{lg}} - r_g^{mak} X_{f_l} \leq 0, \quad X_{f_{lg}} - r_g^{min} X_{f_l} \geq 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (6.55)$$

6. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütörlerden, bayilerden ve bölge depolarından geri toplanan kullanılmış ürünler, depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}} \leq Kap_{depo} A^e \quad (6.56)$$

- Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilecek olan ürünler, depoda tutuldukları ilgili bölümün kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{j=1}^2 X_{dj} + \sum_{n=1}^2 X_{bn} + \sum_{l=1}^2 X_{fl} \leq Kap_{depo} A^c \quad (6.57)$$

- Tedarikçiden yeni satın alınan ürünler depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$X_s \leq Kap_{depo} A^s \quad (6.58)$$

7. Talep kısıtı:

- Her bir müşterinin ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$\sum_{j=1}^2 X_{djm_i} \geq D_{mi} \quad \forall i \text{ için} \quad (6.59)$$

- Her bir bayinin ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$X_{bn} = D_{bn} \quad \forall n \text{ için} \quad (6.60)$$

- Her bir bölge deposunun ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$X_{fl} \geq D_{fl} \quad \forall l \text{ için} \quad (6.61)$$

- 8. Distribütör kapasitesi kısıtı:** Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^2 X_{djm_i} \leq Kap_{dj} \quad \forall j \text{ için} \quad (6.62)$$

9. Diğer kısıtlar:

$$X_s, X_{dj}, X_{djk}, X_{bn}, X_{bng}, X_{bnk}, X_{fl}, X_{fldjg}, X_{flk}, X_{djm_i} \geq 0 \quad (6.63)$$

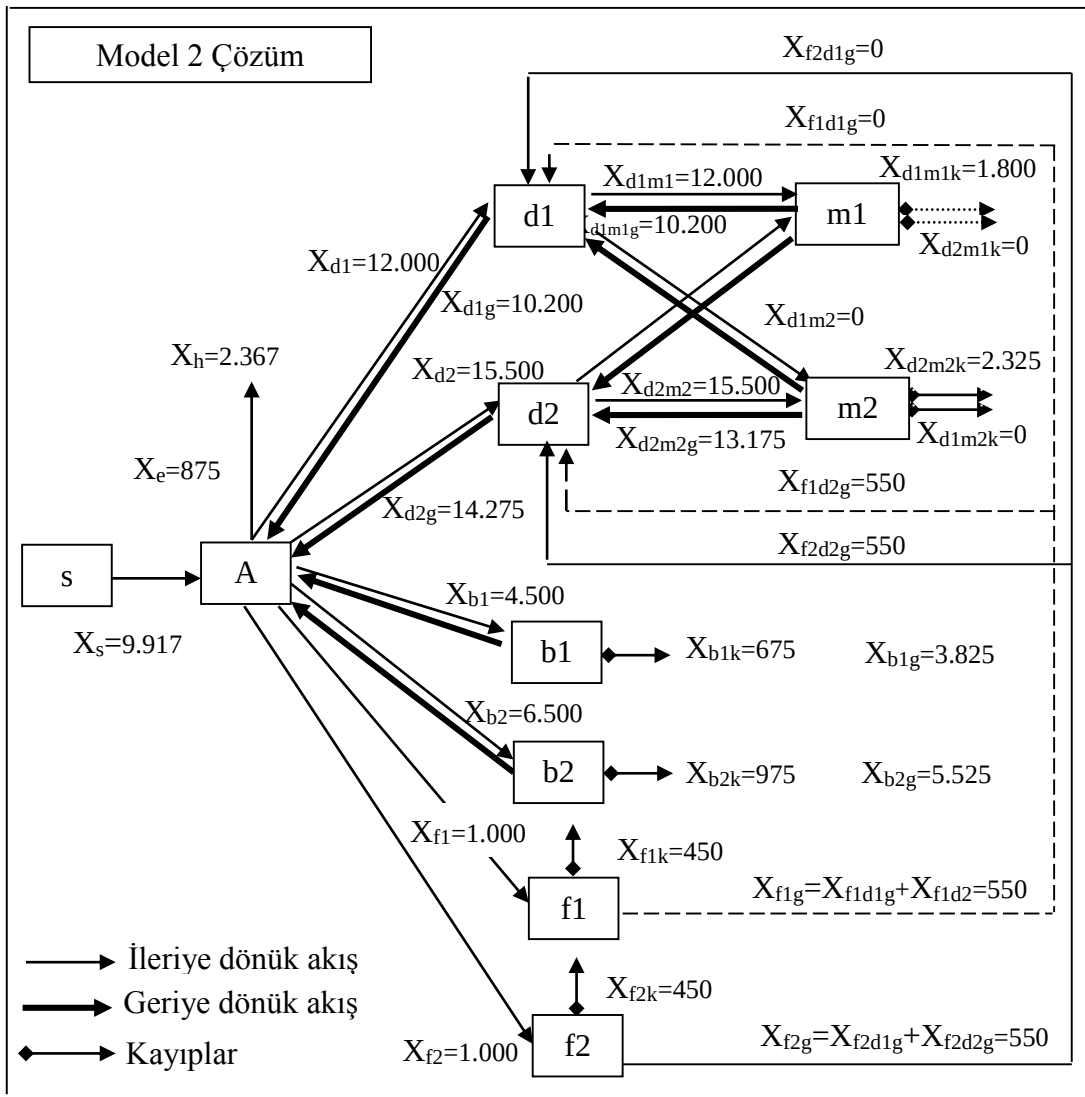
$$X_{flg}, X_{djmig}, X_{djmik}, X_h, X_e \geq 0$$

$$y_{fldjg} \in \{0,1\}$$

Geliştirilmiş model nümerik bir örnek için çözülmüştür. Nümerik örnekte kullanılan parametre değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir. Modelin nihai sonucu ise lexiografik modelleme kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 6.4’te sunulmuştur.

Çizelge 6.2 : Parametre değerleri (Model 2).

Yüzdelere	Talep (adet)	Kapasite (adet)	Maliyetler (TL/adet)
$r_g^{mak} = 0.85$	$D_{m1} = 12.000$	$Kap_y = 60.000$	$c_p = 1.2$ $G_d = 20$
$r_g^{min} = 0.55$	$D_{m2} = 15.500$	$Kap_{d_1} = 20.000$	$c_e = 0.7$ $G_b = 15$
$r_h^{mak} = 0.11$	$D_{b_1} = 4.500$	$Kap_{d_2} = 23.000$	$c = 2$ $G_s = 25$
$r_h^{min} = 0.07$	$D_{b_2} = 6.500$		$c_{at} = 0.05$ $c_s = 0.7$
$r_e^{mak} = 0.045$	$D_{f_1} = 1.000$		$c_d = 0.45$
$r_e^{min} = 0.02$	$D_{f_2} = 1.000$		

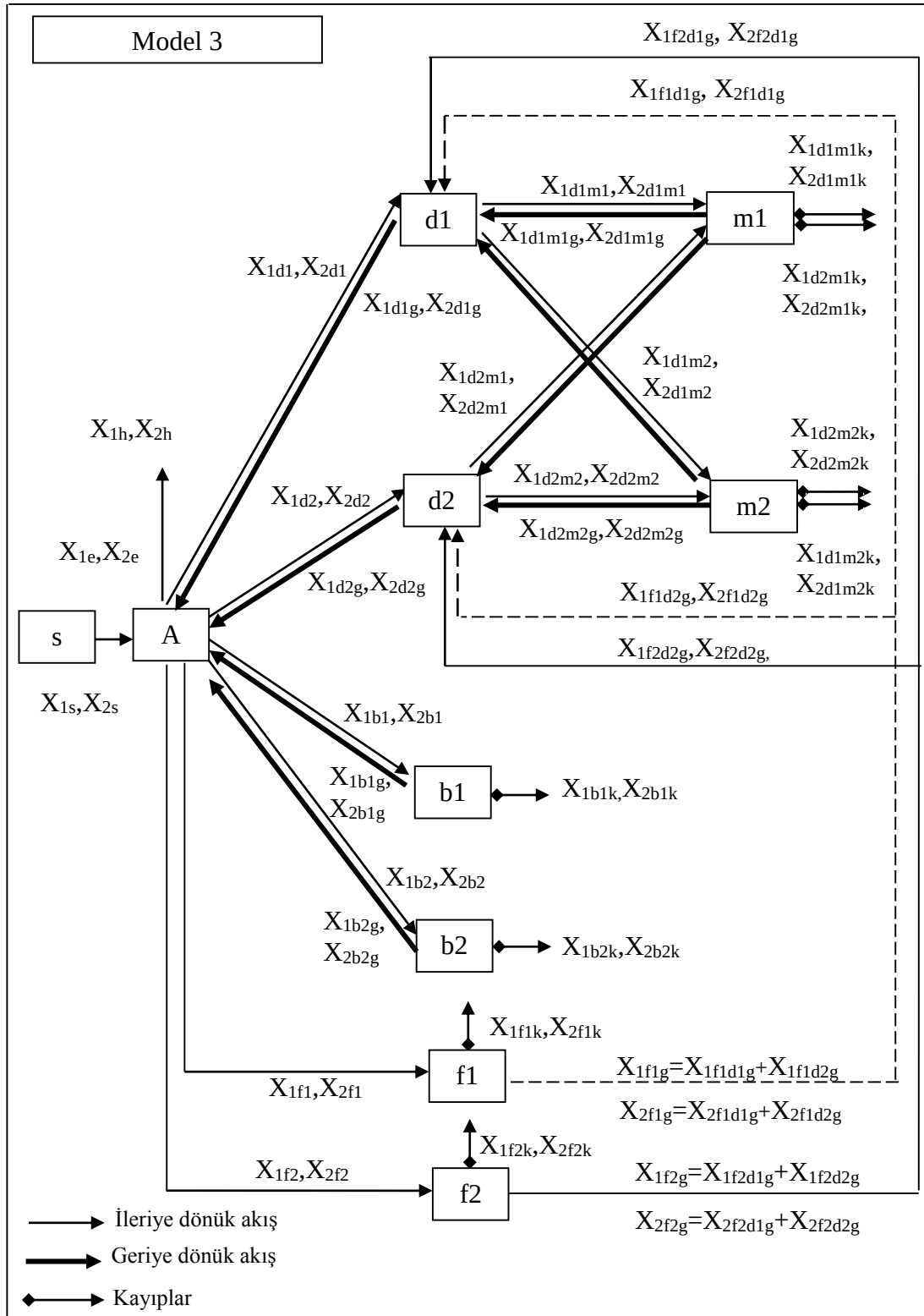


Şekil 6.4 : Model 2'nin çözümü.

Şekil 6.4'te ileri ve tersine akışlardaki ürün miktarları, kayıp ürün miktarları, hurda ve fazladan üretilip bir sonraki dönem stoklanması planlanan ürün miktarları, bölge depolarından geri toplanacak ürünlerin hangi distribütör kanalıyla fabrikaya gönderileceği, tedarikçiden ne miktarda ürün satın alınması gerektiği gibi bilgiler verilmiştir. Sonuç olarak bütün müşterilerin talepleri karşılanmıştır. Hurda miktarının 2.367 adet şişe olacağı ve fazladan 875 adet ürün üretilip stoklanması gerektiği bulunmuştur. Sistemde toplam 6.675 adet $(1.800+0+2.325+0+675+975+450+450)$ ürün kaybı söz konusudur. Hedef değerleri sırasıyla 2.307.121 TL, 33.825 adet ve 22.484 kg'dır.

6.1.3 Model 3

İki depozitolu ürün, iki distribütör, iki bayi ve iki bölge deposu modeli: 2U-2D-2B-2F



Şekil 6.5 : Model 3'e ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi.

Şekil 6.5'te de görüldüğü gibi Model 3, Model 2 ile aynı yapıdadır. Model 3, Model 2'den farklı olarak 2 adet depozitolu ürün için tasarlanmıştır. Şekil 6.5'te ileri ve geri akışlardaki her ok üzerinde önce ilk ürün sonra da ikinci ürün için ilgili değişkenler verilmiştir.

Model 3'ün Varsayımları:

Model 2 varsayımları ile aynı varsayımlar altında çalışmaktadır. Ancak Model 2'den farklı olarak bu modelde birden fazla ürün olduğu varsayılmaktadır. Model 3'ün varsayımları aşağıda özetlenmiştir.

- Varsayım 1-12 (Model 1)
- Bölge depolarından geri toplanan ürünler distribütörlerden yalnızca biri kanalıyla toplanabilir.
- Distribütörler her müşteriye hizmet verebilmektedir.

6.1.3.1 Notasyon

İndisler

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>	
d_j	Distribütör	$j=1,2$
b_n	Bayi	$n=1,2$
m_i	Müşteri	$i=1,2$
f_l	Bölge deposu	$l=1,2$
s	Tedarikçi	$s=1$
u	Ürün	$u=1,2$

Değişkenler (Model 3)

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>
X_{us}	Tedarikçiden yeni alınan u. ürün miktarı
X_{udj}	d_j . distribütöre gönderilen u. ürün miktarı
X_{ubn}	b_n . bayiye gönderilen u. ürün miktarı
X_{ufl}	f_l . bölge deposuna gönderilen u. ürün miktarı
X_{uh}	Hurdaya satılacak u. ürün miktarı

X_{ue}	Stoklamak üzere talepten fazla üretilen u. ürün miktarı
X_{udjmi}	dj. distribütörden m_i . müşteriye gönderilen u. ürün miktarı
X_{uflg}	f_l . bölge deposundan toplanan kullanılmış u. ürün miktarı
X_{ufldjg}	f_l . bölge deposundan dj. distribütöre taşınan kullanılmış u. ürün miktarı
X_{udjg}	dj. distribütörden fabrikaya geri taşınan u. ürün miktarı
X_{ubng}	b_n . bayiden fabrikaya geri taşınan u. ürün miktarı
X_{udjmg}	m_i . müşteriden dj. distribütöre geri taşınan u. ürün miktarı
X_{udjmik}	dj. distribütörün m_i . müşterisindeki kayıp u. ürün miktarı
X_{ubnk}	b_n . bayideki kayıp u. ürün miktarı
X_{uflk}	f_l . bölge deposundaki kayıp u. ürün miktarı
y_{ufld_1g}	$= \begin{cases} 1, & \text{Kullanılmış u. ürün fl. bölge deposundan } dj. \text{ distribütöre gönderilirse} \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases}$

Parametreler (Model 3)

Birim maliyetler (TL/adet)

G_u	Geri toplanan u. ürünün edinim fiyatı
G_{us}	Tedarikçiden u. ürünü satınalma fiyatı
c_e	Talepten fazla üretilen ürünlerin birim depolama maliyeti
c_{at}	Birim ayırma ve temizleme maliyeti
c_d	Ürünlerin birim dolum maliyeti
c_s	Tedarikçiden yeni alınan ürünlerin birim depolama maliyeti
c_p	Satışa hazır ürünlerin birim depolama maliyeti
C	Ürünlerin birim taşıma maliyeti

Kapasite (adet)

Kap_{depo}	Fabrikanın depo kapasitesi
Kap_{udj}	dj. distribütörün u. ürünü depolama kapasitesi
Kap_y	Yıkama makinesi kapasitesi

Mesafe (km)

d_{dj}	Fabrika ile dj. distribütör arasındaki mesafe
d_{djmi}	dj. distribütör ile m_i . müşteri arasındaki mesafe
d_{bn}	Fabrika ile b_n . bayi arasındaki mesafe
d_{fl}	Fabrika ile f_l . bölge deposu arasındaki mesafe
d_s	Fabrika ile tedarikçi arasındaki mesafe
d_{fldj}	f_l . bölge deposu ile dj. distribütör arasındaki mesafe

Talep (adet)

- D_{umi} mi. müşterinin u. ürüne olan talebi
 D_{ubn} bn. bayının u. ürüne olan talebi
 D_{ufl} fl. bölge deposunun u. ürüne olan talebi

Kullanılmış ürün geri dönüş yüzdesi (%)

- r_g^{mak} Ürünlerin maksimum geri toplanma yüzdesi
 r_g^{min} Ürünlerin minimum geri toplama yüzdesi

Hurda yüzdesi (%)

- r_h^{mak} Hurdaya gönderilecekler maksimum ürün yüzdesi
 r_h^{min} Hurdaya gönderilecekler minimum ürün yüzdesi

Talepten fazla üretim yüzdesi (%)

- r_e^{mak} Talepten fazla üretilebilecek maksimum ürün yüzdesi
 r_e^{min} Talepten fazla üretilebilecek minimum ürün yüzdesi

Diğer

- A^e Geri toplanmış ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
 A^c Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilmeye hazır ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
 A^s Tedarikçiden temin edilmiş ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
 M Yeterince büyük pozitif bir sayı
 w_u u. ürün ağırlığı (g)

6.1.3.2 Matematiksel formülasyon**Hedef 1. Toplam maliyetin minimizasyonu**

$$Min TEM + T\dot{I}HM + TTM + TDEM \quad (6.64)$$

- Toplam Edinim Maliyeti (TEM): Her iki tip ürün için toplam edinim maliyetlerini içerir.

$$TEM = \sum_{u=1}^2 X_{us} G_{us} + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} G_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} G_u \quad (6.65)$$

- Toplam Yeniden İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TİHM): Dolum, ayıklama ve temizleme gibi çeşitli işlemlerin maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
TİHM = & \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{ud_j} c_d + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_n} c_d + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^2 X_{uf_l} c_d \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} c_{at} + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} c_{at} + \sum_{u=1}^2 X_{ue} (c_{at} + c_d)
\end{aligned} \quad (6.66)$$

- Toplam Taşıma Maliyetleri (TTM): KÇTZ'deki tüm taşıma maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
TTM = & \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^2 X_{uf_l} d_{fl} c + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{uf_l d_{jg}} d_{fld_j} c \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 (X_{ud_j} + X_{ud_{jg}}) d_{dj} c + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 (X_{ub_n} + X_{ub_{ng}}) d_{bn} c \\
& + \sum_{u=1}^2 X_{us} d_s c + \sum_{u=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 (X_{ud_{jm_i}} + X_{ud_{jm_{ig}}}) d_{djm_i} c
\end{aligned} \quad (6.67)$$

- Toplam Depolama ve Elde Bulundurma Maliyeti (TDEM): Her iki tip ürün için depolama maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
TDEM = & \sum_{u=1}^2 \left[\sum_{j=1}^2 (X_{ud_j} + X_{ud_{jg}}) + \sum_{n=1}^2 (X_{ub_n} + X_{ub_{ng}}) \right] c_p \\
& + \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{uf_l} c_p + \sum_{u=1}^2 X_{us} c_s + \sum_{u=1}^2 X_{ue} c_e
\end{aligned} \quad (6.68)$$

Hedef 2: KÇTZ'de geri toplanan ürünlerin maksimum kılınması

$$\begin{aligned}
Mak \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{uf_l d_{jg}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 X_{ud_{jm_{ig}}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}}
\end{aligned} \quad (6.69)$$

Hedef 3: KÇTZ’de taşımalar sırasında açığa çıkan karbondioksit (CO₂) emisyon miktarının minimum kılınması

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \left(\begin{aligned} & \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^2 X_{uf_l} d_{fl} w_u + \sum_{u=1}^2 X_{us} d_s w_u \\ & + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{uf_l d_{jg}} d_{fld_j} w_u \\ & + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 (X_{ud_j} + X_{ud_{jg}}) d_{dj} w_u \end{aligned} \right) \times 62 \times 0.001 \quad (6.70) \\
 + \left(\begin{aligned} & \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 (X_{ub_n} + X_{ub_{ng}}) d_{bn} w_u \\ & + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (X_{ud_{jm_i}} + X_{ud_{jm_{ig}}}) d_{djm_i} w_u \end{aligned} \right) \times 62 \times 0.001
 \end{aligned}$$

Kısıtlar

1. Akış kısıtı:

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir.

$$\left(\begin{aligned} & X_{us} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} \\ & + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} \end{aligned} \right) - \left(\begin{aligned} & X_{ue} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_j} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n} \\ & + \sum_{l=1}^2 X_{uf_l} + X_{uh} \end{aligned} \right) \geq 0 \quad (6.71)$$

$\forall u$ için

- **Distribütör ve müşterilerdeki ürün akışı**

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerden geri toplanan kullanılmış ürün miktarına eşit veya fazladır.

$$(X_{ud_j} - X_{ud_{jg}}) + \sum_{i=1}^2 (X_{ud_{jm_{ig}}} - X_{ud_{jm_i}}) + \sum_{l=1}^2 X_{uf_l d_{jg}} \geq 0 \quad (6.72)$$

$\forall u, \forall j$ için

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarı kadardır.

$$X_{udj} - \sum_{i=1}^2 X_{udjm_i} = 0 \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (6.73)$$

- Müşterilere gelen ürün miktarı, müşterilerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{udjm_i} - X_{udjm_i g} - X_{udjm_i k} = 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (6.74)$$

- Distribütörden fabrikaya geri ürün akışını gösterir.

$$X_{udjg} - \sum_{i=1}^2 X_{udjm_i g} - \sum_{l=1}^2 X_{uf_l d_j g} = 0 \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (6.75)$$

- **Bayilerdeki akış:** Bayilere gelen ürün miktarı, bayilerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{ubn} - X_{ubn g} - X_{ubn k} = 0 \quad \forall u, \forall n \text{ için} \quad (6.76)$$

- **Bölge depolarındaki akış**

- Bölge depolarına gelen ürün miktarı, bölge depolarından çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{uf_l} - X_{uf_l g} - X_{uf_l k} = 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.77)$$

- Bölge depolarından geri akış aşağıdaki gibidir.

$$X_{uf_l g} - \sum_{j=1}^2 X_{uf_l d_j g} = 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.78)$$

- Bölge depolarından geri akışlar tek bir distribütör tarafından yürütülür.

$$X_{uf_l d_1 g} - M y_{uf_l d_1 g} \leq 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.79)$$

$$X_{uf_l d_2 g} - M y_{uf_l d_2 g} \leq 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.80)$$

$$y_{uf_l d_1 g} + y_{uf_l d_2 g} = 1 \quad (6.81)$$

2. Hurda kısıtı: Hurda miktarı, distribütör ve bayilerden geri toplanan ürünlerin en az % r_h^{min} 'i en fazla % r_h^{mak} 'ı kadar olmalıdır.

$$X_{uh} - r_h^{mak} \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} \right) \leq 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.82)$$

$$X_{uh} - r_h^{min} \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} \right) \geq 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.83)$$

3. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt: Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda talepten fazla üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az % r_e^{min} 'i en fazla % r_e^{mak} 'ı kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$X_{ue} - r_e^{mak} \left(X_{us} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} \right) \leq 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.84)$$

$$X_{ue} - r_e^{min} \left(X_{us} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} \right) \geq 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.85)$$

4. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Yıkama makinesinde yıkanan ürünler, makinenin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 \left(X_{us} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} \right) \leq \text{Kap}_y \quad (6.86)$$

5. Geri toplanan ürünler ile ilgili kısıt: Distribütör ve bayilere gönderilen ürünlerin en fazla % r_g^{mak} 'ı geri toplanmaktadır. Bölge depolarında ise bu oran en az % r_g^{min} , en fazla % r_g^{mak} 'tır.

$$X_{ud_{jm_{ig}}} - r_g^{mak} X_{ud_{jm_i}} \leq 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (6.87)$$

$$X_{ub_{ng}} - r_g^{mak} X_{ub_n} \leq 0 \quad \forall u, \forall n \text{ için} \quad (6.88)$$

$$X_{uf_{lg}} - r_g^{mak} X_{uf_l} \leq 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.89)$$

$$X_{uf_{lg}} - r_g^{min} X_{uf_l} \geq 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.90)$$

6. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütörlerden, bayilerden ve bölge depolarından geri toplanmış kullanılmış ürünler, depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} \right) \leq \text{Kap}_{\text{depo}} A^e \quad (6.91)$$

- Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilecek ürünler, depoda tutuldukları ilgili bölümün kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_j} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n} + \sum_{l=1}^2 X_{uf_l} \right) \leq \text{Kap}_{\text{depo}} A^c \quad (6.92)$$

- Tedarikçiden yeni satın alınan ürünler depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 X_{us} \leq \text{Kap}_{\text{depo}} A^s \quad (6.93)$$

- #### 7. Talep kısıtı:
- Müşterilerin, bayilerin ve bölge depolarının ürünlere olan gereksinimleri karşılanmalıdır.

$$\sum_{j=1}^2 X_{ud_{jm_i}} \geq D_{ud_{mi}} \quad \forall u, \forall i \text{ için} \quad (6.94)$$

$$X_{ub_n} \geq D_{ub_n} \quad \forall u, \forall n \text{ için} \quad (6.95)$$

$$X_{uf_l} \geq D_{uf_l} \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.96)$$

8. Distribütör kapasitesi kısıtı: Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^2 X_{udjm_i} \leq Kap_{ud_j} \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (6.97)$$

9. Diğer kısıtlar:

$$X_{us}, X_{ud_j}, X_{ub_n}, X_{uf_l}, X_{ue}, X_{uh}, X_{udjm_i}, X_{ud_jg}, X_{ub_ng}, X_{uf_lg} \geq 0 \quad (6.98)$$

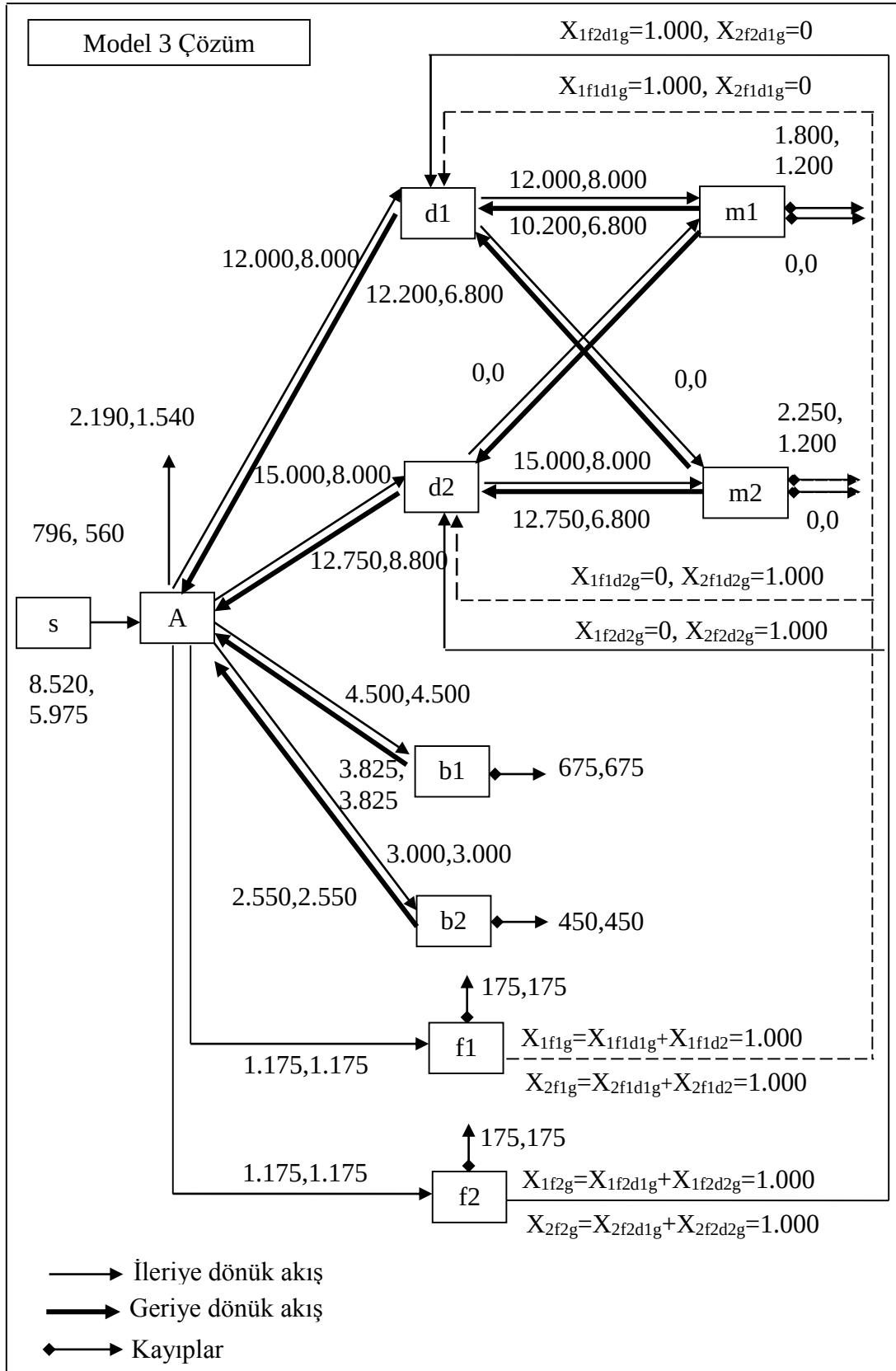
$$X_{udjm_i g}, X_{uf_l d_j g}, X_{udjm_i k}, X_{uf_l k}, X_{ub_n k} \geq 0$$

$$y_{uf_l d_j g} \in \{0,1\}$$

Geliştirilmiş model nümerik bir örnek için çözülmüştür. Nümerik örnekte kullanılan parametre değerleri Çizelge 6.3'te verilmiştir. Modelin nihai sonucu ise lexiografik modelleme kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 : Parametre değerleri (Model 3).

Yüzdelere	Talep (adet)		Kapasite (adet)	Maliyetler (TL/adet)	
$r_g^{mak} = 0.85$	$D_{1m1} = 7.500$	$D_{2m1} = 4.500$	$Kap_y = 60.000$	$c_p = 1.2$	$G_{1s} = 22$
$r_g^{min} = 0.55$	$D_{1m2} = 9.500$	$D_{2m2} = 6.000$	$Kap_{1d_1} = 12.000$	$c_e = 0.7$	$G_{2s} = 20$
$r_h^{mak} = 0.11$	$D_{1b_1} = 4.500$	$D_{2b_1} = 4.500$	$Kap_{2d_1} = 8.000$	$c = 2$	$G_1 = 15$
$r_h^{min} = 0.07$	$D_{1b_2} = 3.000$	$D_{2b_2} = 3.000$	$Kap_{1d_2} = 15.000$	$c_{at} = 0.05$	$G_2 = 10$
$r_e^{mak} = 0.045$	$D_{1f_1} = 1.000$	$D_{2f_1} = 1.000$	$Kap_{2d_2} = 8.000$	$c_d = 0.45$	
$r_e^{min} = 0.02$	$D_{1f_2} = 1.000$	$D_{2f_2} = 1.000$		$c_s = 0.7$	

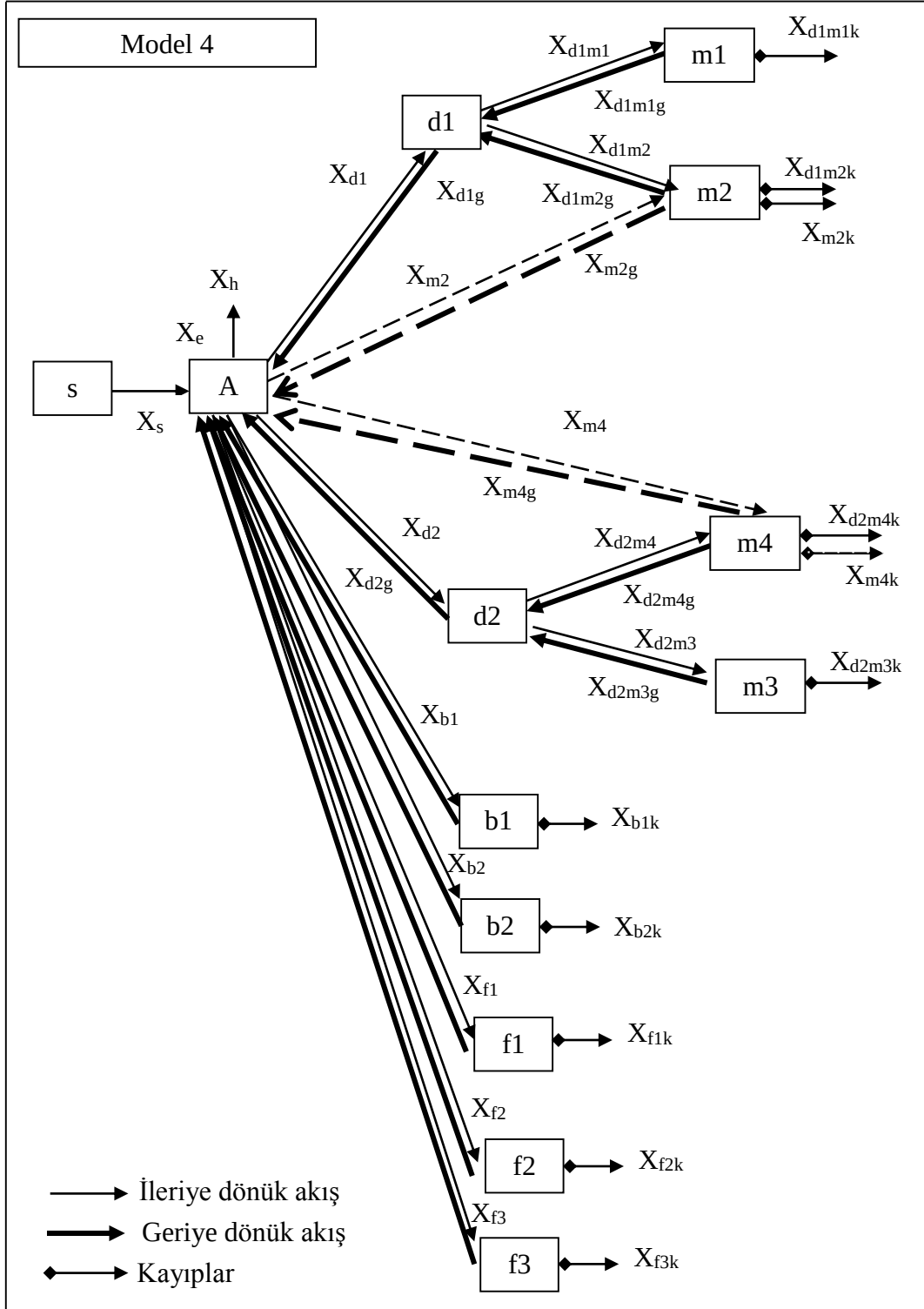


Şekil 6.6 : Model 3'ün çözümü.

Şekil 6.6'da ileri ve tersine akışlardaki her iki çeşit ürünün miktarlarını, kayıp miktarlarını, hurda ve fazladan üretilip bir sonraki dönem stoklanması planlanan miktarları, bölge depolarından geri toplanacak ürünlerin hangi distribütör kanalıyla fabrikaya gönderileceği, tedarikçiden ne miktarda ürün satın alınması gerektiği gibi çeşitli bilgiler sunulmuştur. Sonuç olarak bütün müşterilerin her iki tip ürün için talepleri karşılanmıştır. Hurda miktarı 1. ürün için 2.190 adet, 2. ürün için 1.540 adet olacağı ve fazladan 1. ürün için 796, 2. ürün için ise 560 adet ürün üretilip stoklanması gerektiği bulunmuştur. Sistemde 1. ürün için toplam 5.525 adet $(1.800+0+2.250+0+675+450+175+175)$, 2. ürün için ise 3.875 adet $(1.200+0+1.200+0+675+450+175+175)$ ürün kaybı söz konusudur. Hedef değerleri sırasıyla 3.533.070 TL, 53.300 adet ve 36.905 kg olarak hesaplanmıştır.

6.1.4 Model 4

Bir depozitolu ürün, iki distribütör, iki bayi ve üç bölge deposu modeli: U-2D-2B-3F-direkt



Şekil 6.7 : Model 4'e ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi.

Şekil 6.7’de de görüldüğü gibi Model 4 ilk üç modelden farklı bir yapıdadır. Distribütörler zincir mağazalar ve küçük mağazalar olmak üzere iki grup müşteri tipine hizmet verebilecek kapasiteye sahiptir. Bayi ve bölge depolarından kullanılmış ürünler, ileri akışın tam tersi yönünde toplanır. Ayrıca, bu problemde fabrika talebi çok büyük olan zincir mağazalara doğrudan ürün gönderebilmektedir.

Model sadece toplam maliyetin minimum kılınması hedefi için Lindo 6.1. programı kullanılarak çözülmüştür. Maliyeti en düşük kılacak aynı zamanda tüm kısıtları da sağlayacak şekilde ileri akışta hangi distribütöre, hangi bayiye ve hangi bölge deposuna ne miktarda ürün gönderilsin, distribütörler müşterilerine ne miktarda ürün göndersin ve tersine akışta distribütör, bayi ve bölge deposundan geri toplanacak ürün miktarının, bir sonraki dönem için üretilip depolanması gereken ürün miktarının ve hurda miktarının hesaplanması amaçlanır. Problemde cevaplanmaya çalışılan konulardan biri de zincir mağazalara fabrikadan ileri ve geri ürün akışının doğrudan mı yoksa distribütörler aracılığıyla mı yapılacağı konusudur.

Model 4’ün Varsayımları:

Model 4’te, Model 1’in varsayımlarından ikincisi hariç diğer tüm varsayımlar geçerlidir. Modelin varsayımları aşağıda özetlenmiştir:

- Varsayım 1 ve Varsayım 3-12 (Model 1)
- Bu modelde zincir mağaza müşterilerine (m_2 , m_4) distribütörler kanalıyla ya da direkt fabrika tarafından gönderim yapılabilmektedir.
- Küçük müşterilere (m_1 , m_3) ise fabrikadan doğrudan gönderim yapılmaz. Küçük müşterilere yalnızca distribütörler kanalıyla gönderim yapılmaktadır.

6.1.4.1 Notasyon

İndisler

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>	
d_j	Distribütör	$j=1,2$
b_n	Bayi	$n=1,2$
m_i	d1 müşteri	$i=1,2$
m_m	d2 müşteri	$m=3,4$
m_p	Direkt müşteri	$p=2,4$
f_l	Bölge deposu	$l=1,2,3$

Değişkenler (Model 4)

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>
X_s	Tedarikçiden yeni alınan ürün miktarı
X_{dj}	d_j . distribütöre gönderilen ürün miktarı
X_{bn}	b_n . bayiye gönderilen ürün miktarı
X_{fl}	f_l . bölge deposuna gönderilen ürün miktarı
X_h	Hurdaya satılacak ürün miktarı
X_e	Stoklamak üzere talepten fazla üretilen ürün miktarı
X_{d1m_i}	d_1 distribütöründen m_i . müşteriye gönderilen ürün miktarı
X_{d2m_m}	d_2 distribütöründen m_m . müşteriye gönderilen ürün miktarı
X_{fig}	f_l . bölge deposundan fabrikaya geri taşınan ürün miktarı
X_{djg}	d_j . distribütörden fabrikaya geri taşınan ürün miktarı
X_{bng}	b_n . bayiden fabrikaya geri taşınan ürün miktarı
X_{d1mig}	m_i . müşteriden d_1 distribütörüne geri taşınan ürün miktarı
$X_{d2m_{mg}}$	m_m . müşteriden d_2 distribütörüne geri taşınan ürün miktarı
$X_{d1m_{ik}}$	d_1 . distribütörünün m_i . müşterisindeki kayıp ürün miktarı
$X_{d2m_{mk}}$	d_1 . distribütörünün m_m . müşterisindeki kayıp ürün miktarı
X_{bnk}	b_n . bayideki kayıp ürün miktarı
X_{flk}	f_l . bölge deposundaki kayıp ürün miktarı
X_{mp}	m_p . müşteriye fabrikadan direkt gönderilen ürün miktarı
X_{mpg}	m_p . müşteriden fabrikaya direkt geri gönderilen ürün miktarı
X_{mpk}	m_p . müşterideki kayıp ürün miktarı

$$y_{ajm_p} = \begin{cases} 1, & \text{Mp. müşteriye fabrikadan doğrudan gönderilsin} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Parametreler (Model 4)

Birim maliyetler (TL/adet)

G	Geri toplanan kullanılmış ürünün edinim fiyatı
G _s	Tedarikçiden ürünün satınalma fiyatı
C _e	Talepten fazla üretilen ürünlerin birim depolama maliyeti
C _{at}	Birim ayırma ve temizleme maliyeti
C _{do}	Ürünlerin birim dolun maliyeti
C _s	Tedarikçiden yeni alınan ürünlerin birim depolama maliyeti
C _{de}	Satışa hazır ürünlerin birim depolama maliyeti
C	Ürünün birim taşıma maliyeti

Kapasite (adet)

Kap _{depo}	Fabrikanın depo kapasitesi
Kap _{dj}	dj. distribütörün depolama kapasitesi
Kap _y	Yıkama makinesi kapasitesi

Mesafe (km)

d _{dj}	Fabrika ile dj. distribütör arasındaki mesafe
d _{d1mi}	d1 distribütörü ile mi. müşteri arasındaki mesafe
d _{d2mm}	d2 distribütörü ile mm. müşteri arasındaki mesafe
d _p	Fabrika ile direkt gönderilebilen müşteri arasındaki mesafe
d _{bn}	Fabrika ile bn. bayi arasındaki mesafe
d _{fl}	Fabrika ile fl. bölge deposu arasındaki mesafe
d _s	Fabrika ile tedarikçi arasındaki mesafe

Talep (adet)

D _{mi}	mi. müşterinin ürüne olan talebi
D _{mm}	mm. müşterinin ürüne olan talebi
D _{bn}	bn. bayinin ürüne olan talebi
D _{fl}	fl. bölge deposunun ürüne olan talebi

Kullanılmış ürün geri dönüş yüzdesi (%)

r_g^{mak}	Ürünlerin maksimum geri toplanma yüzdesi
-------------	--

- r_g^{min} Ürünlerin minimum geri toplama yüzdesi
- r_{gp}^{mak} Fabrikadan doğrudan m2 ve m4 müşterisine gönderilen ürünlerin maksimum geri toplama yüzdesi

Hurda yüzdesi (%)

- r_h^{mak} Hurdaya gönderilecekler maksimum ürün yüzdesi
- r_h^{min} Hurdaya gönderilecekler minimum ürün yüzdesi

Talepten fazla üretim yüzdesi (%)

- r_e^{mak} Talepten fazla üretilebilecek maksimum ürün yüzdesi
- r_e^{min} Talepten fazla üretilebilecek minimum ürün yüzdesi

Diğer

- A^e Geri toplanmış ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
- A^c Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilmeye hazır ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
- A^s Tedarikçiden temin edilmiş ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
- M Yeterince büyük pozitif bir sayı

6.1.4.2 Matematiksel formülasyon

Hedef: Toplam maliyetin minimizasyonu

$$\text{Min } TEM + TİHM + TTM + TDEM \quad (6.99)$$

- Toplam Edinim Maliyeti (TEM): Yeni ve eski ürünlerin edinim maliyetlerini içerir.

$$TEM = X_s G_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_{jg}} G + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}} G + \sum_{l=1}^3 X_{f_{lg}} G + \sum_{p=2}^4 X_{mp} G \quad (6.100)$$

- Toplam Yeniden İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TİHM): Dolum, ayıklama ve temizleme gibi çeşitli işlemlerin maliyetlerini içerir.

$$T\dot{I}HM = \left(\sum_{j=1}^2 X_{d_j} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n} + \sum_{l=1}^3 X_{f_l} + \sum_{p=2}^4 X_{mp} + X_e \right) c_{do} \quad (6.101)$$

$$+ \left(\sum_{j=1}^2 X_{d_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}} + \sum_{l=1}^3 X_{f_{lg}} + \sum_{p=2}^4 X_{mpg} + X_e \right) c_{at}$$

- **Toplam Taşıma Maliyetleri (TTM):** Kapalı çevrimdeki tüm taşıma maliyetlerini içerir.

$$TTM = \sum_{l=1}^3 (X_{f_l} + X_{f_{lg}}) d_{f_l} c + \sum_{j=1}^2 (X_{d_j} + X_{d_{jg}}) d_{d_j} c \quad (6.102)$$

$$+ \sum_{n=1}^2 (X_{b_n} + X_{b_{ng}}) d_{b_n} c + X_s d_s c + \sum_{i=1}^2 (X_{d1m_i} + X_{d1m_{ig}}) d_{d1m_i} c$$

$$+ \sum_{m=3}^4 (X_{d2m_m} + X_{d2m_{mg}}) d_{d2m_m} c + \sum_{p=2}^4 X_{mp} d_p c$$

- **Toplam Depolama ve Elde Bulundurma Maliyeti (TDEM):** Ürünlerin depolama maliyetlerini içerir.

$$TDEM = \left[\sum_{j=1}^2 (X_{d_j} + X_{d_{jg}}) + \sum_{n=1}^2 (X_{b_n} + X_{b_{ng}}) \right] c_{de} \quad (6.103)$$

$$+ \sum_{l=1}^3 (X_{f_l} + X_{f_{lg}}) c_{de} + \sum_{p=2}^4 (X_{mp} + X_{mpg}) c_{de} + X_s c_s + X_e c_e$$

Kısıtlar

1. Akış Kısıtı:

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir.

$$\left(X_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_{jg}} + \sum_{n=1}^2 X_{b_{ng}} + \sum_{l=1}^3 X_{f_{lg}} + \sum_{p=2}^4 X_{mpg} \right) \quad (6.104)$$

$$-\left(X_e + \sum_{j=1}^2 X_{d_j} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n} + \sum_{l=1}^3 X_{f_l} + \sum_{p=2}^4 X_{m_p} + X_h\right) \geq 0$$

- **Distribütör ve müşterilerdeki ürün akışı**

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerden geri toplanan kullanılmış ürün miktarından eşit veya fazladır.

$$(X_{d_1} - X_{d_1g}) + \sum_{i=1}^2 (X_{d1m_i g} - X_{d1m_i}) \geq 0 \quad (6.105)$$

$$(X_{d_2} - X_{d_2g}) + \sum_{m=3}^4 (X_{d2m_m g} - X_{d2m_m}) \geq 0 \quad (6.106)$$

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarı kadardır.

$$X_{d_1} - \sum_{i=1}^2 X_{d1m_i} = 0 \quad (6.107)$$

$$X_{d_2} - \sum_{m=3}^4 X_{d2m_m} = 0 \quad (6.108)$$

- Distribütör ve müşterilere gelen ürün miktarı, distribütör ve müşterilerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{d1m_i} - X_{d1m_i g} - X_{d1m_i k} = 0 \quad \forall i \text{ için} \quad (6.109)$$

$$X_{d2m_m} - X_{d2m_m g} - X_{d2m_m k} = 0 \quad \forall m \text{ için} \quad (6.110)$$

$$X_{d1m_2} + X_{m_2} - X_{d1m_2 g} - X_{m_2 g} - X_{d1m_2 k} - X_{m_2 k} = 0 \quad (6.111)$$

$$X_{m_p} - X_{m_p g} - X_{m_p k} = 0 \quad (6.112)$$

$$X_{d2m_4} + X_{m_4} - X_{d2m_4 g} - X_{m_4 g} - X_{d2m_4 k} - X_{m_4 k} = 0 \quad (6.113)$$

- Distribütörden fabrikaya geri ürün akışını gösterir.

$$X_{d_1g} - \sum_{i=1}^2 X_{d_1m_i g} = 0 \quad (6.114)$$

$$X_{d_2g} - \sum_{m=3}^4 X_{d_2m_m g} = 0 \quad (6.115)$$

- Zincir mağazalara (m2,m4) ürünler ya doğrudan yada distribütörler kanalıyla gönderilir.

$$X_{d_1m_2} - M y_{d_1m_2} \leq 0 \quad (6.116)$$

$$X_{m_2} + M y_{d_1m_2} \leq M$$

$$X_{d_2m_4} - M y_{d_2m_4} \leq 0$$

$$X_{m_4} + M y_{d_2m_4} \leq M$$

- **Bayilerdeki akış:** Bayilere gelen ürün miktarı, bayilerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{b_n} - X_{b_n g} - X_{b_n k} = 0 \quad \forall n \text{ için} \quad (6.117)$$

- **Bölge depolarındaki akış:** Bölge depolarına gelen ürün miktarı, bölge depolarından çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{f_l} - X_{f_l g} - X_{f_l k} = 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (6.118)$$

- 2. Hurda kısıtı:** Hurda miktarı, distribütör ve bayilerden geri toplanan ürünlerin en az % r_h^{min} 'i en fazla % r_h^{mak} 'ı kadar olmalıdır.

$$X_h - r_h^{mak} \left(\sum_{j=1}^2 X_{d_j g} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n g} + \sum_{l=1}^3 X_{f_l g} + \sum_{p=2}^4 X_{m_p g} \right) \leq 0 \quad (6.119)$$

$$X_h - r_h^{min} \left(\sum_{j=1}^2 X_{d_j g} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n g} + \sum_{l=1}^3 X_{f_l g} + \sum_{p=2}^4 X_{m_p g} \right) \geq 0 \quad (6.120)$$

3. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt: Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda talepten fazla üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az $\% r_e^{min}$ i en fazla $\% r_e^{mak}$ 'ı kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$X_e - r_e^{mak}(X_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n g} + \sum_{l=1}^3 X_{f_{lg}} + \sum_{p=2}^4 X_{mpg}) \leq 0 \quad (6.121)$$

$$X_e - r_e^{min}(X_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n g} + \sum_{l=1}^3 X_{f_{lg}} + \sum_{p=2}^4 X_{mpg}) \geq 0 \quad (6.122)$$

4. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Yıkama makinesinde yıkanan ürünler, makinenin kapasitesini aşamaz.

$$X_s + \sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n g} + \sum_{l=1}^3 X_{f_{lg}} + \sum_{p=2}^4 X_{mpg} \leq Kap_y \quad (6.123)$$

5. Geri toplanan ürünler ile ilgili kısıt: Distribütör ve bayilere gönderilen ürünlerin en fazla $\% r_g^{mak}$ 'ı geri toplanmaktadır. Bölge depolarında ise bu oran en az $\% r_g^{min}$, en fazla $\% r_g^{mak}$ 'tır.

$$X_{d1m_{ig}} - r_g^{mak} X_{d1m_i} \leq 0 \quad \forall i \text{ için} \quad (6.124)$$

$$X_{d2m_{mg}} - r_g^{mak} X_{d2m_m} \leq 0 \quad \forall m \text{ için} \quad (6.125)$$

$$X_{m_{pg}} - r_{gp}^{mak} X_{m_p} \leq 0 \quad \forall p \text{ için} \quad (6.126)$$

$$X_{b_{ng}} - r_g^{mak} X_{b_n} \leq 0 \quad \forall n \text{ için} \quad (6.127)$$

$$X_{f_{lg}} - r_g^{mak} X_{f_l} \leq 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (6.128)$$

$$X_{f_{lg}} - r_g^{min} X_{f_l} \geq 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (6.129)$$

6. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütörden, bayiden ve bölge depolarından geri toplanmış ürünler, depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{j=1}^2 X_{d_jg} + \sum_{n=1}^2 X_{b_ng} + \sum_{l=1}^3 X_{f_lg} + \sum_{p=2}^4 X_{m_pg} \leq Kap_{depo} A^e \quad (6.130)$$

- Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilecek olan ürünler, depoda tutulduğu ilgili bölümün kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{j=1}^2 X_{d_j} + \sum_{n=1}^2 X_{b_n} + \sum_{l=1}^2 X_{f_l} + \sum_{p=2}^4 X_{m_p} \leq Kap_{depo} A^c \quad (6.131)$$

- Tedarikçiden yeni satın alınan ürünler depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$X_s \leq Kap_{depo} A^s \quad (6.132)$$

7. Talep kısıtı: Müşterilerin, bayilerin ve bölge depolarının ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$X_{d1m_1} \geq D_{m_1} \quad (6.133)$$

$$X_{d1m_2} + X_{m_2} \geq D_{m_2} \quad (6.134)$$

$$X_{d2m_3} \geq D_{m_3} \quad (6.135)$$

$$X_{d2m_4} + X_{m_4} \geq D_{m_4} \quad (6.136)$$

$$X_{b_n} \geq D_{b_n} \quad \forall n \text{ için} \quad (6.137)$$

$$X_{f_l} \geq D_{f_l} \quad \forall l \text{ için} \quad (6.138)$$

8. Distribütör kapasitesi kısıtı: Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^2 X_{d1m_i} \leq Kap_{d_1} \quad (6.139)$$

$$\sum_{m=3}^4 X_{d2m_m} \leq Kap_{d_2} \quad (6.140)$$

9. Diğer kısıtlar:

$$X_s, X_{d_j}, X_{b_n}, X_{f_l}, X_e, X_h, X_{d1m_i}, X_{d_jg}, X_{b_ng}, X_{f_lg}, X_{d1m_ig}, X_{f_ld_jg} \geq 0 \quad (6.141)$$

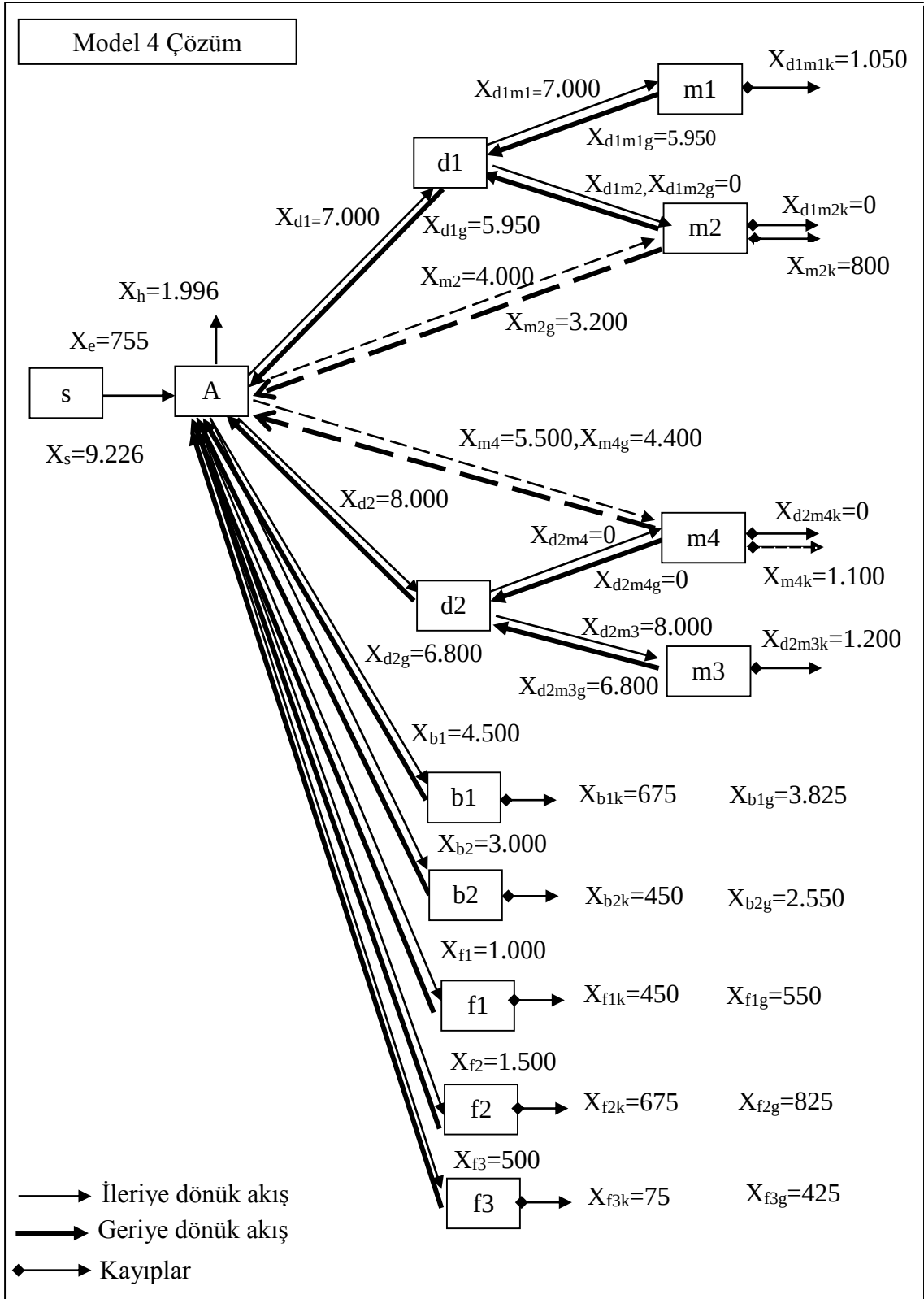
$$X_{djm_ik}, X_{f_lk}, X_{b_nk}, X_{d2m_m}, X_{d2m_mg}, X_{d2m_mk}, X_{m_p}, X_{m_pg}, X_{m_pk} \geq 0$$

$$y_{djm_p} \in \{0,1\}$$

Geliştirilmiş model nümerik bir örnekle sadece maliyetin minimum kılınması hedefi için çözüldüğünde bulunan sonuçlar Şekil 6.8’de sunulmuştur. Nümerik örnekte kullanılan parametre değerleri Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Parametre değerleri (Model 4).

Yüzdelere	Talep (adet)	Kapasite (adet)	Maliyetler (TL/adet)
$r_g^{mak} = 0.85$	$D_{m1} = 7.000$	$Kap_y = 60.000$	$c_{de} = 1.2$
$r_{gp}^{mak} = 0.80$	$D_{m2} = 4.000$	$Kap_{d_1} = 20.000$	$c_e = 0.7$
$r_g^{min} = 0.55$	$D_{m3} = 8.000$	$Kap_{d_2} = 23.000$	$c = 2$
$r_h^{mak} = 0.11$	$D_{m4} = 5.500$		$c_{at} = 0.05$
$r_h^{min} = 0.07$	$D_{b_1} = 4.500$		$c_{do} = 0.30$
$r_e^{mak} = 0.045$	$D_{b_2} = 3.000$		$G = 15$
$r_e^{min} = 0.02$	$D_{f_1} = 1.000$		$G_s = 22$
	$D_{f_2} = 1.500$		$c_s = 0.7$
	$D_{f_3} = 500$		



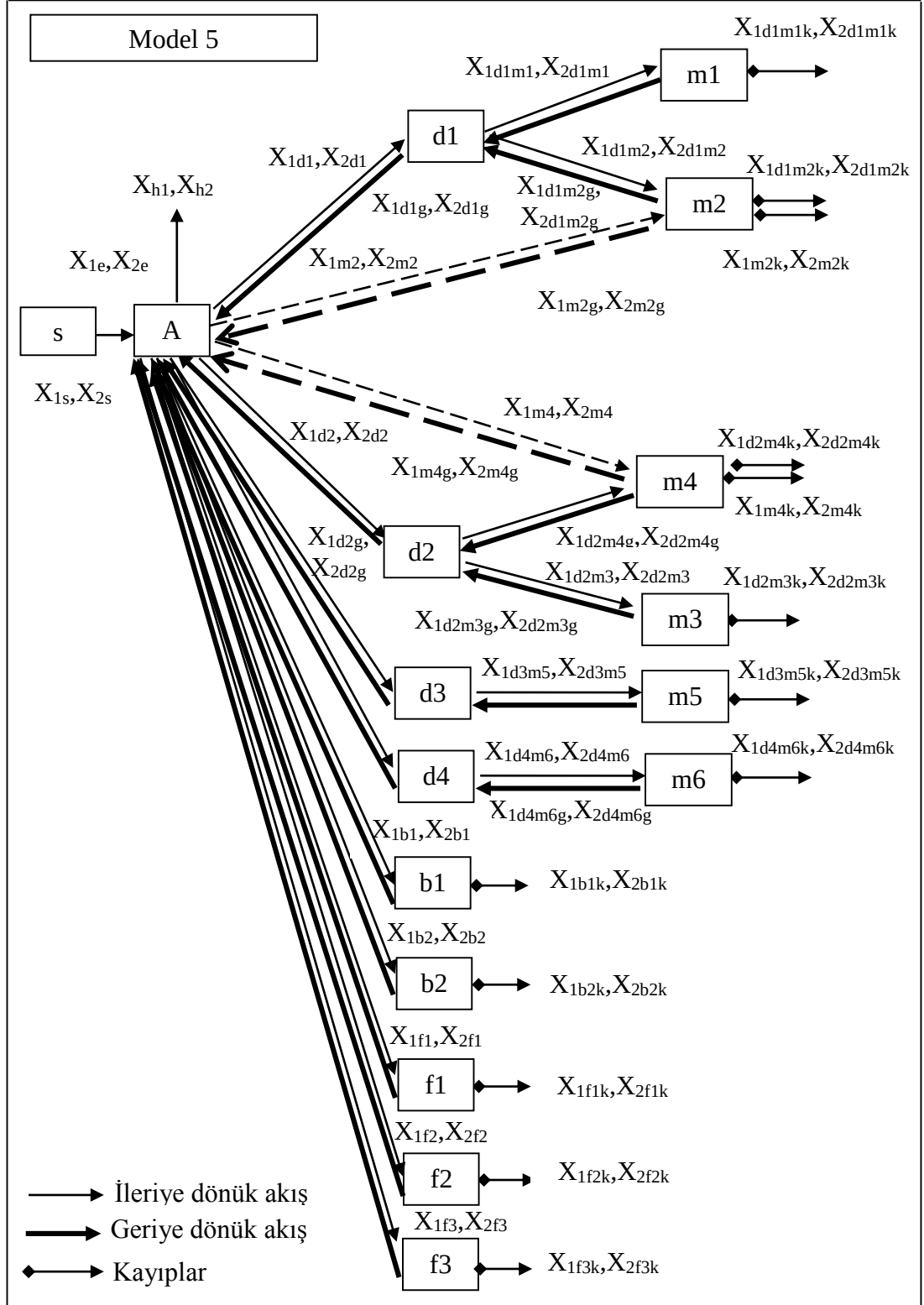
Şekil 6.8 : Model 4'ün çözümü.

Şekil 6.8'de kapalı çevrim tedarik zinciri modelindeki distribütör ve bölge depolarına gönderilecek, geri toplanacak ve zincirdeki kayıp ürün miktarları, hurda ve fazladan üretilip bir sonraki dönem stoklanması planlanan ürün miktarlarını gibi çok çeşitli

bilgiler verilmiştir. Sonuçta bütün müşterilerin talepleri karşılanmıştır. Zincir mağaza müşterilerine (m2, m4) doğrudan fabrikadan ürün gönderilmesinin daha uygun olduğu ve benzer şekilde kullanılmış ürünlerin zincir mağazalardan doğrudan fabrikaya gönderilmesi gerektiği sonucu çıkmıştır. Hurda miktarının 1.996 adet şişe olacağı ve fazladan 755 adet ürün üretilip stoklanması gerektiği bulunmuştur. Sistemde toplam 6.475 adet $(1.050+0+800+0+1.100+1.200+675+450+450+675+75)$ ürün kaybı söz konusudur. Toplam maliyet değeri 1.714.452 TL şeklinde hesaplanmıştır.

6.1.5 Model 5

İki depozitolu ürün, dört distribütör, iki bayi ve üç bölge deposu modeli: 2U-4D-2B-3F-direkt



Şekil 6.9 : Model 5'e ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi.

Model 5'in grafiksel gösterimi Şekil 6.9'da verilmiştir. Model 5, Model 4 ile benzer yapıda olup, birden çok ürün için tasarlanmıştır. Model 4'te olduğu gibi bu modelde de iki distribütör (d1, d2) yine zincir mağazalar (m2, m4) ve küçük mağazalar (m1, m3) olmak üzere iki grup müşteri tipine her iki ürün için hizmet verebilecek kapasiteye sahiptir. Diğer iki tip distribütör (d3, d4) ise, yalnızca kendi müşterilerine (m5, m6) ürün göndermektedir. Ayrıca, fabrika zincir mağazalara doğrudan her iki tip depozitolu ürünü gönderebilmektedir. Bu problemde gerçek modele uygun olarak üç bölge deposu ve iki bayi bulunmaktadır. Bayi ve bölge depolarından kullanılmış ürünler, ileri akışın tam tersi yönünde toplanır. Bu modelde, gerçek hayat problemine uygun olarak üç tip hurda ele alınmıştır.

I. tip hurda: Tedarikçiden yeni temin edilecek ürünlerin taşınması sırasında oluşan hurdalar,

II. tip hurda: Fabrikaya geri taşınan kullanılmış ürünlerin ayıklama, yıkama,ve dolum aşamalarında oluşan hurdalar,

III. tip hurda: Müşterilere gönderilmek üzere hazırlanan ürünlerde çeşitli nedenlerle (fabrika içi ve fabrika dışı taşımalarda) kırılmalar sonucu oluşan hurdalar

Modelde ayrıca geri toplanamayan ürünlerin neden olduğu maliyetler de ele alınmıştır.

Model sadece toplam maliyetin minimum olması hedefi için Lindo 6.1. programı kullanılarak çözülmüştür.

Model 5'in Varsayımları:

Model 4'ün varsayımları bu modelde de geçerlidir. Modelin varsayımları aşağıdaki gibidir:

- Varsayım 1 ve Varsayım 3-12 (Model 1)
- Bu modelde talebi çok büyük olan zincir mağaza müşterilerine (m2, m4) distribütörler kanalıyla ya da direkt fabrika tarafından gönderim yapılabilmektedir.
- Talebi zincir mağazalara göre çok küçük olan küçük müşterilere (m1, m3) ise yalnızca distribütörler kanalıyla gönderim yapılmaktadır.

- Distribütörler 2 grubu ayrılmıştır. İlk grup distribütörler (d_1, d_2) hem açık noktalara (m_1, m_3) hem de zincir mağazalara (m_2, m_4) hizmet verirler. Diğer grup distribütörler (d_3, d_4) ise sadece açık noktalara (m_5, m_6) hizmet verirler.

6.1.5.1 Notasyon

İndisler

Sembol	Açıklama	
d_j	Distribütör	$j=1,2.$
d_o	Distribütör-açık noktalar	$o=3,4.$
b_n	Bayi	$n=1,2$
m_i	d_1 'in müşterileri	$i=1,2$
m_m	d_2 'nin müşterileri	$m=3,4$
m_p	Fabrikadan direkt gönderilebilen	$p=2,4$
m_y	d_o 'nun müşterisi	$y=5,6$
f_l	Bölge deposu	$l=1,2,3$
s	Tedarikçi	$s = 1$
t	Hurda çeşitleri	$t=1,2,3$
u	Ürün	$u=1,2$

Değişkenler (Model 5)

Sembol	Açıklama
X_{us}	Tedarikçiden yeni alınan u. ürün miktarı
X_{udj}	d_j . distribütöre gönderilen u. ürün miktarı
X_{udo}	d_o . distribütöre gönderilen u. ürün miktarı
X_{ubn}	b_n . bayiye gönderilen u. ürün miktarı
X_{ufl}	f_l . bölge deposuna gönderilen u. ürün miktarı
X_{ue}	Stoklamak üzere talepten fazla üretilen u. ürün miktarı
$X_{ud_1m_i}$	d_1 . distribütörden m_i . müşterisine gönderilen u. ürün miktarı
$X_{ud_2m_m}$	d_2 . distribütörden m_m . müşterisine gönderilen ürün miktarı
$X_{ud_o m_y}$	d_o . distribütörden m_y . müşterisine gönderilen u. ürün miktarı
X_{ufig}	f_l . bölge deposundan fabrikaya geri taşınan u. ürün miktarı
X_{udjg}	d_j . distribütörden fabrikaya geri taşınan u. ürün miktarı
X_{udog}	d_o . distribütörden fabrikaya geri taşınan u. ürün miktarı

$X_{ud_0m_yg}$	m_y . müşteriden d_0 . distribütöre geri taşınan u. ürün miktarı
X_{ubng}	b_n . bayiden fabrikaya geri taşınan u. ürün miktarı
$X_{ud1m_{ig}}$	m_i . müşteriden d_1 . distribütöre geri taşınan u. ürün miktarı
$X_{ud2m_{mg}}$	m_m . müşteriden d_2 . distribütöre geri taşınan u. ürün miktarı
$X_{ud1m_{ik}}$	d_1 . distribütörün m_i . müşterisindeki kayıp u. ürün miktarı
$X_{ud2m_{mk}}$	d_2 . distribütörün m_m . müşterisindeki kayıp u. ürün miktarı
X_{udjk}	d_j . distribütördeki kayıp u. ürün miktarı
X_{udok}	d_0 . distribütördeki kayıp u. ürün miktarı
$X_{ud_0m_{yk}}$	d_0 . distribütörün m_y . müşterisindeki kayıp u. ürün
X_{ubnk}	b_n . bayideki kayıp u. ürün miktarı
X_{uflk}	f_i . bölge deposundaki kayıp u. ürün miktarı
X_{ump}	m_p . müşteriye fabrikadan direkt gönderilen u. ürün miktarı
X_{umpg}	m_p . müşteriden fabrikaya direkt geri gönderilen u. ürün miktarı
X_{umpk}	m_p . müşterideki kayıp u. ürün miktarı
X_{uht}	u. üründen çeşitli sebeplerle açığa çıkan t. tip hurda miktarı
$y_{udjm_p} =$	$\begin{cases} 1, & \text{u. ürün } dj.\text{distribütör kanalıyla } m_p.\text{ müşteriye gönderilse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

Parametreler (Model 5)

Birim maliyetler (TL/adet)

G_u	Geri toplanan kullanılmış u. ürünün edinim fiyatı
G_{us}	Tedarikçiden u. ürünün satınlama fiyatı
c_e	Talepten fazla üretilen ürünlerin birim depolama maliyeti
c_{uat}	Birim ayırma ve temizleme maliyeti
c_{ud}	Ürünlerin birim dolum maliyeti
c_s	Tedarikçiden yeni alınan ürünlerin birim depolama maliyeti
c_{de}	Satışa hazır ürünlerin birim depolama maliyeti
c	Ürünün birim taşıma maliyeti
K	Geri toplanamayan ürünün işletmeye birim maliyeti

Kapasite (adet)

Kap_{depo}	Fabrikanın depo kapasitesi
Kap_{udj}	d_j . distribütörün u. ürünü depolama kapasitesi
Kap_{udo}	d_0 . distribütörün u. ürünü depolama kapasitesi
Kap_y	Yıkama makinesi kapasitesi

Mesafe (km)

d_{dj}	Fabrika ile d_j . distribütör arasındaki mesafe
d_{do}	Fabrika ile d_o . distribütör arasındaki mesafe
d_{d1mi}	d_1 . distribütör ile m_i . müşteri arasındaki mesafe
d_{d2mm}	d_2 . distribütör ile m_m . müşteri arasındaki mesafe
d_{mp}	Fabrika ile direkt gönderilebilen m_p . müşteri ile arasındaki mesafe
d_{bn}	Fabrika ile n . bayi arasındaki mesafe
d_{fl}	Fabrika ile I. bölge deposu arasındaki mesafe
d_s	Fabrika ile tedarikçi arasındaki mesafe

Talep (adet)

D_{umi}	m_i . müşterinin u. ürüne olan talebi
D_{umm}	m_m . müşterinin u. ürüne olan talebi
D_{ubn}	b_n . bayinin u. ürüne olan talebi
D_{umy}	m_y . müşterisinin u. ürüne olan talebi
$D_{uf_l}^{min}$	f_l . bölge deposunun u. ürüne olan minimum talebi
$D_{uf_l}^{mak}$	f_l . bölge deposunun u. ürüne olan maksimum talebi

Kullanılmış ürün geri dönüş yüzdesi (%)

r_g^{mak}	Ürünlerin maksimum geri toplanma yüzdesi
r_g^{min}	Ürünlerin minimum geri toplama yüzdesi
r_{gp}^{mak}	Fabrikadan doğrudan m_2 ve m_4 müşterisine gönderilen ürünlerin maksimum geri toplama yüzdesi

Hurda yüzdesi (%)

r_{h1}	I. tip hurda için ürün yüzdesi
r_{ht}^{mak}	II. ve III. tip hurda için maksimum ürün yüzdesi
r_{ht}^{min}	II. ve III. tip hurda için minimum ürün yüzdesi

Talepten fazla üretim yüzdesi (%)

r_e^{mak}	Talepten fazla üretililecek maksimum ürün yüzdesi
r_e^{min}	Talepten fazla üretililecek minimum ürün yüzdesi

Diğer

A^e	Geri toplanmış ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
A^c	Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilmeye hazır ürünlerin

	depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
A^s	Tedarikçiden temin edilmiş ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
M	Yeterince büyük pozitif bir sayı

6.1.5.2 Matematiksel formülasyon

Hedef: Toplam maliyetin minimizasyonu

$$Min TEM + T\dot{I}HM + TTM + TDEM + GT \quad (6.142)$$

- Toplam Edinim Maliyeti (TEM): Her iki tip ürün için toplam edinim maliyetini içerir.

$$\begin{aligned}
 TEM = & \sum_{u=1}^2 X_{us} G_{us} + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} G_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} G_u \\
 & + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^3 X_{uf_{lg}} G_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=2}^4 X_{mp} G_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{o=3}^4 X_{ud_{og}} G_u
 \end{aligned} \quad (6.143)$$

- Toplam Yeniden İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TİHM): Her iki tip ürün için toplam hazırlık ve işleme maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
 T\dot{I}HM = & \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{ud_j} + \sum_{u=1}^2 \sum_{o=3}^4 X_{ud_o} + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_n} \right. \\
 & \left. + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^3 X_{uf_l} + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=2}^4 X_{ump} + \sum_{u=1}^2 X_{ue} \right) C_{ud} \\
 & + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{o=3}^4 X_{ud_{og}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} \right. \\
 & \left. + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^3 X_{uf_{lg}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=2}^4 X_{umpg} + \sum_{u=1}^2 X_{ue} \right) C_{uat}
 \end{aligned} \quad (6.144)$$

- Toplam Taşıma Maliyetleri (TTM): Kapalı çevrimdeki tüm taşıma maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
TTM = & \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^3 (X_{uf_l} + X_{uf_lg}) d_{f_l} c & (6.145) \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 (X_{ud_j} + X_{ud_jg}) d_{d_j} c + \sum_{u=1}^2 \sum_{o=3}^4 (X_{ud_o} + X_{ud_og}) d_{d_o} c \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 (X_{ub_n} + X_{ub_ng}) d_{b_n} c + \sum_{u=1}^2 X_{us} d_s c \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{i=1}^2 (X_{ud1m_i} + X_{ud1m_ig}) d_{d1m_i} c + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=2}^4 X_{ump} d_{mp} c \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{o=3}^4 \sum_{y=5}^6 (X_{ud_om_y} + X_{ud_om_yg}) d_{d_om_y} c \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=3}^4 (X_{d2m_m} + X_{d2m_mg}) d_{d2m_m} c
\end{aligned}$$

- Toplam Depolama ve Elde Bulundurma Maliyeti (TDEM): Her iki tip ürünün toplam depolama maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
TDEM = & \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 (X_{ud_j} + X_{ud_jg}) c_{de} + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 (X_{ub_n} + X_{ub_ng}) c_{de} & (6.146) \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^3 (X_{uf_l} + X_{uf_lg}) c_{de} + \sum_{u=1}^2 \sum_{o=3}^4 (X_{ud_o} + X_{ud_og}) c_{de} \\
& + \sum_{u=1}^2 X_{us} c_s + \sum_{u=1}^2 X_{ue} c_e + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=2}^4 (X_{ump} + X_{umpg}) c_{de}
\end{aligned}$$

- Geri toplanamayan ürün maliyeti (GT): Geri toplanamayan ürünlerden (kayıplardan) dolayı fabrikanın katlanmak zorunda olduğu maliyettir.

$$GT = K \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{ud_jk} + \sum_{u=1}^2 \sum_{o=3}^4 X_{ud_o k} + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_n k} \right) \quad (6.147)$$

$$+ K \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{uf_l k} + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=2}^4 X_{um_p k} \right)$$

Kısıtlar

1. Akış kısıtı:

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir.

$$\left(X_{us} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_j g} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_o g} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n g} \right. \quad (6.148)$$

$$\left. + \sum_{l=1}^3 X_{uf_l g} + \sum_{p=2}^4 X_{ump g} \right)$$

$$- \left(X_{ue} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_j} + \sum_{o=3}^2 X_{ud_o} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n} \right. \geq 0 \quad \forall u \text{ için}$$

$$\left. + \sum_{l=1}^3 X_{uf_l} + \sum_{p=2}^4 X_{ump} + X_{uht} \right)$$

- **Distribütör ve müşterilerdeki ürün akışı**

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerden geri toplanan kullanılmış ürün miktarından eşit veya fazladır.

$$(X_{ud_1} - X_{ud_1 g}) + \sum_{i=1}^2 (X_{ud1m_i g} - X_{ud1m_i}) \geq 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.149)$$

$$(X_{ud_2} - X_{ud_2 g}) + \sum_{m=3}^4 (X_{ud2m_m g} - X_{ud2m_m}) \geq 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.150)$$

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarı kadardır.

$$X_{ud_1} - \sum_{i=1}^2 X_{ud1m_i} = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.151)$$

$$X_{ud_2} - \sum_{m=3}^4 X_{ud2m_m} = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.152)$$

- Distribütör ve müşterilere gelen ürün miktarı, distribütör ve müşterilerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{ud1m_i} - X_{ud1m_i g} - X_{ud1m_i k} = 0 \quad \forall u, \forall i \text{ için} \quad (6.153)$$

$$X_{ud2m_m} - X_{ud2m_m g} - X_{ud2m_m k} = 0 \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (6.154)$$

$$X_{ud1m_2} + X_{um2} - X_{ud1m_2 g} - X_{um2 g} - X_{ud1m_2 k} - X_{um2 k} = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.155)$$

$$X_{ump} - X_{ump g} - X_{ump k} = 0 \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (6.156)$$

$$X_{ud2m_4} + X_{um4} - X_{ud2m_4 g} - X_{um4 g} - X_{ud2m_4 k} - X_{um4 k} = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.157)$$

$$X_{ud_o} - X_{ud_o g} - X_{ud_o k} = 0 \quad \forall u, \forall o \text{ için} \quad (6.158)$$

- Distribütörden fabrikaya geri ürün akışını gösterir.

$$X_{ud1g} - \sum_{i=1}^2 X_{ud1m_i g} = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.159)$$

$$X_{ud2g} - \sum_{m=3}^4 X_{ud2m_m g} = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.160)$$

- Zincir mağazalara (m2,m4) ürünler ya doğrudan ya da distribütörler kanalıyla gönderilir.

$$X_{ud1m_2} - M y_{ud1m_2} \leq 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.161)$$

$$X_{um2} + M y_{ud1m_2} \leq M \quad \forall u \text{ için}$$

$$X_{ud2m_4} - M y_{ud2m_4} \leq 0 \quad \forall u \text{ için}$$

$$X_{um_4} + M y_{ud2m_4} \leq M \quad \forall u \text{ için}$$

- **Bayilerdeki akış:** Bayilere gelen ürün miktarı, bayilerden çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{ub_n} - X_{ub_{ng}} - X_{ub_{nk}} = 0 \quad \forall u, \forall n \text{ için} \quad (6.162)$$

- **Bölge depolarındaki akış:** Bölge depolarına gelen ürün miktarı, bölge depolarından çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{uf_l} - X_{uf_{lg}} - X_{uf_{lk}} = 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.163)$$

2. Hurda kısıtı:

- **I. Tip hurda:** Tedarikçiden yeni temin edilen ürünlerin taşınması sırasında oluşan I. tip hurda miktarı, tedarikçiden temin edilen ürünlerin % r_{h1} 'i kadardır.

$$X_{uh1} - r_{h1} X_{us} = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (6.164)$$

- **II. Tip hurda:** Fabrikaya geri taşınan kullanılmış ürünlerin geçtiği çeşitli aşamalarda (ayıklama, yıkama ve dolum gibi) oluşan II. tip hurda miktarı, geri toplanan ürünlerin en az % $r_{h2}^{\min}$ 'i en fazla % $r_{h2}^{\max}$ 'ı kadardır.

$$X_{uh2} - r_{h2}^{\max} \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_{og}} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} + \sum_{l=1}^3 X_{uf_{lg}} + \sum_{p=2}^4 X_{umpg} \right) \leq 0 \quad (6.165)$$

$$X_{uh2} - r_{h2}^{\min} \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_{jg}} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_{og}} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} + \sum_{l=1}^3 X_{uf_{lg}} + \sum_{p=2}^4 X_{umpg} \right) \geq 0 \quad (6.166)$$

$\forall u \text{ için}$

- **III. Tip hurda:** Müşterilere, bayilere ve bölge depolarına gönderilmek üzere hazırlanan ürünlerde çeşitli nedenlerle (fabrika içi ve fabrika dışı taşımalarda) kırılmalar sonucu oluşan III. tip hurda miktarı, müşterilere, bayilere ve bölge depolarına gönderilen ürünlerin en az $\% r_{h3}^{\min}$ 'i en fazla $\% r_{h3}^{\max}$ 'ı kadardır.

$$X_{uh3} - r_{h3}^{\max} \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_j} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_o} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n} + \sum_{l=1}^3 X_{uf_l} + \sum_{p=2}^4 X_{ump} \right) \leq 0 \quad (6.167)$$

$$X_{uh3} - r_{h3}^{\min} \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_j} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_o} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n} + \sum_{l=1}^3 X_{uf_l} + \sum_{p=2}^4 X_{ump} \right) \geq 0 \quad (6.168)$$

$\forall u$ için

- 3. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt:** Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda talepten fazla üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az $\% r_e^{\min}$ 'i en fazla $\% r_e^{\max}$ 'ı kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$X_{ue} - r_e^{\max} \left(X_{us} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_jg} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_o g} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n g} + \sum_{l=1}^3 X_{uf_l g} + \sum_{p=2}^4 X_{umpg} \right) \leq 0 \quad (6.169)$$

$$X_{ue} - r_e^{\min} \left(X_{us} + \sum_{j=1}^2 X_{ud_jg} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_o g} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n g} + \sum_{l=1}^3 X_{uf_l g} + \sum_{p=2}^4 X_{umpg} \right) \geq 0 \quad (6.170)$$

$\forall u$ için

4. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Yıkama makinesinde yıkanan ürünler, makinenin kapasitesini aşamaz.

$$\left[\sum_{u=1}^2 X_{us} + \sum_{u=1}^2 X_{ue} + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^2 X_{ud_jg} + \sum_{u=1}^2 \sum_{o=3}^4 X_{ud_{og}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{n=1}^2 X_{ub_{ng}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=1}^3 X_{uf_{lg}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=2}^4 X_{umpg} \right] \leq \text{Kap}_y \quad (6.171)$$

5. Geri toplanan ürünler ile ilgili kısıt: Distribütör ve bayilere gönderilen ürünlerin en fazla % r_g^{mak} , ı geri toplanmaktadır. Bölge depolarında ise bu oran en az % r_g^{min} , en fazla % r_g^{mak} , ır.

$$X_{ud1m_{ig}} - r_g^{mak} X_{ud1m_i} \leq 0 \quad \forall u, \forall i \text{ için} \quad (6.172)$$

$$X_{ud2m_{mg}} - r_g^{mak} X_{ud2m_m} \leq 0 \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (6.173)$$

$$X_{umpg} - r_{gp}^{mak} X_{ump} \leq 0 \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (6.174)$$

$$X_{ud_{og}} - r_g^{mak} X_{ud_o} \leq 0 \quad \forall u, \forall o \text{ için} \quad (6.175)$$

$$X_{udom_{yg}} - r_g^{mak} X_{udom_y} \leq 0 \quad \forall u, \forall o, \forall y \text{ için} \quad (6.176)$$

$$X_{ub_{ng}} - r_g^{mak} X_{ub_n} \leq 0 \quad \forall u, \forall n \text{ için} \quad (6.177)$$

$$X_{uf_{lg}} - r_g^{mak} X_{uf_l} \leq 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.178)$$

$$X_{uf_{lg}} - r_g^{min} X_{uf_l} \geq 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.179)$$

6. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütörden, bayiden ve bölge depolarından geri toplanmış ürünler, depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_jg} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_o g} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n g} + \sum_{l=1}^3 X_{uf_l g} + \sum_{p=2}^4 X_{um_p g} \right) \leq Kap_{depo} A^e \quad (6.180)$$

- Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilecek olan ürünlerin miktarı, depoda tutulduğu ilgili bölümün kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 \left(\sum_{j=1}^2 X_{ud_j} + \sum_{o=3}^4 X_{ud_o} + \sum_{n=1}^2 X_{ub_n} + \sum_{l=1}^3 X_{uf_l} + \sum_{p=2}^4 X_{um_p} \right) \leq Kap_{depo} A^c \quad (6.181)$$

- Tedarikçiden yeni satın alınan ürünler depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 X_{us} \leq Kap_{depo} A^s \quad (6.182)$$

7. Talep kısıtı: Müşterilerin, bayilerin ve bölge depolarının ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$X_{ud1m_1} \geq D_{um1} \quad \forall u \text{ için} \quad (6.183)$$

$$X_{ud1m_2} + X_{um_2} \geq D_{um2} \quad \forall u \text{ için} \quad (6.184)$$

$$X_{ud2m_3} \geq D_{um3} \quad \forall u \text{ için} \quad (6.185)$$

$$X_{ud2m_4} + X_{um_4} \geq D_{um4} \quad \forall u \text{ için} \quad (6.186)$$

$$X_{udom_y} \geq D_{um_y} \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (6.187)$$

$$X_{ub_n} \geq D_{ub_n} \quad \forall u, \forall n \text{ için} \quad (6.188)$$

$$X_{uf_l} \geq D_{uf_l}^{min} \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.189)$$

$$X_{uf_l} \leq D_{uf_l}^{mak} \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (6.190)$$

8. Distribütör kapasitesi kısıtı: Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^2 X_{ud1m_i} \leq Kap_{ud_1} \quad \forall u \text{ için} \quad (6.191)$$

$$\sum_{m=3}^4 X_{ud2m_m} \leq Kap_{ud_2} \quad \forall u \text{ için} \quad (6.192)$$

$$\sum_{y=5}^6 X_{ud_om_y} \leq Kap_{ud_o} \quad \forall u, \forall o \text{ için} \quad (6.193)$$

9. Diğer kısıtlar:

$$X_{us}, X_{ud_j}, X_{ub_n}, X_{uf_l}, X_{ue}, X_{uht}, X_{ud1m_i}, X_{ud_jg}, X_{ub_ng}, X_{uf_lg} \geq 0 \quad (6.194)$$

$$X_{ud1m_i g}, X_{uf_l d_j g}, X_{ud_om_y}, X_{ud_om_y g}, X_{ud_om_y k}, X_{ud_j m_i k}, X_{uf_l k}, X_{ub_n k} \geq 0$$

$$X_{ud2m_m}, X_{ud2m_m g}, X_{ud2m_m k}, X_{um_p}, X_{um_p g}, X_{ud_o}, X_{ud_o g}, X_{ud_o k}, X_{um_p k} \geq 0$$

$$y_{ud_j m_p} \in \{0,1\}$$

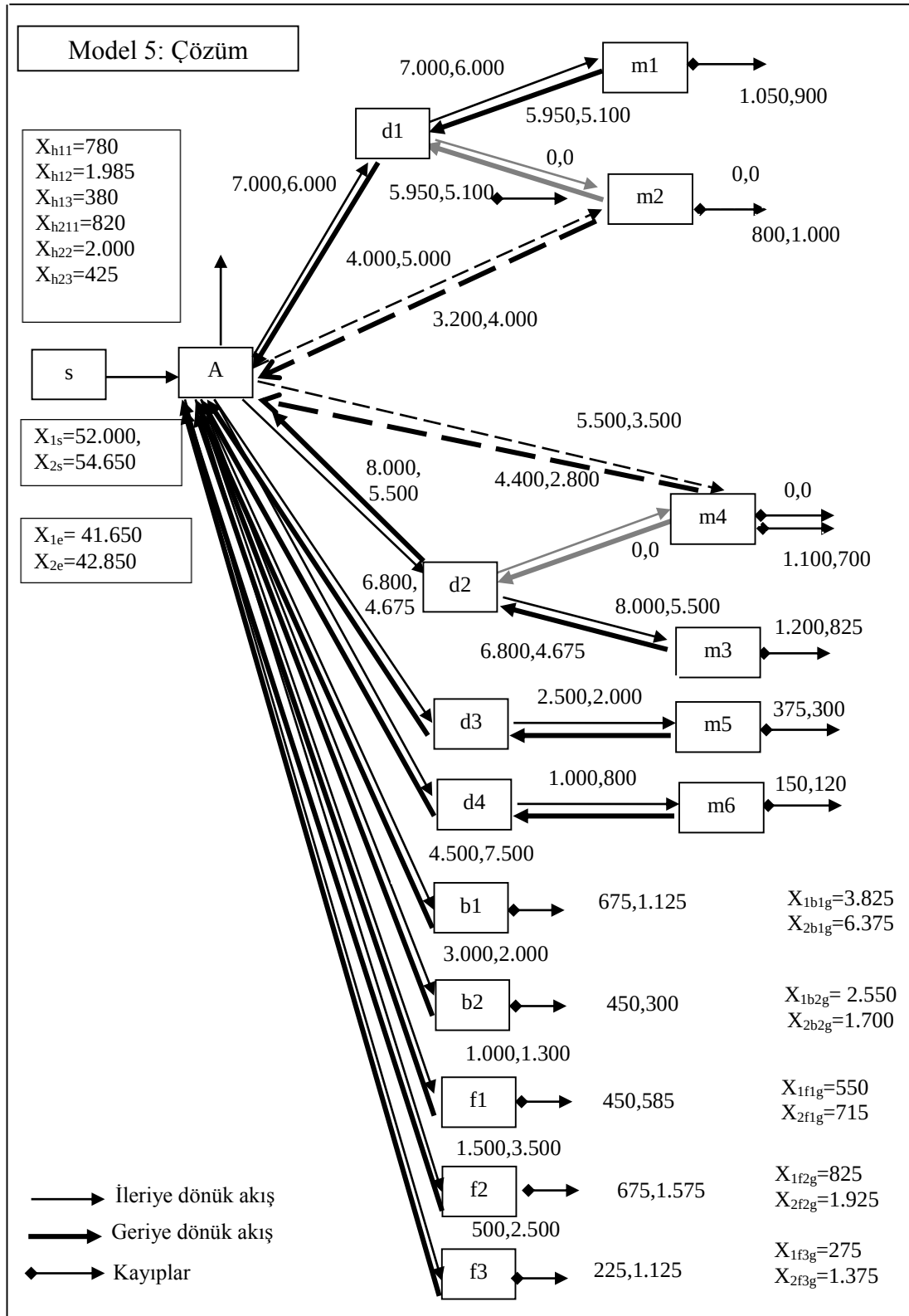
Geliştirilmiş model nümerik bir örnekle sadece maliyetin minimum kılınması hedefi için çözüldüğünde bulunan sonuçlar Şekil 6.10'da sunulmuştur. Çizelge 6.5'de nümerik örnekte kullanılan parametre değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.5 : Parametre değerleri (Model 5).

Yüzdelere	Talep (adet)		Kapasite (adet)	Maliyetler (TL/adet)
$r_g^{mak} = 0.85$	$D_{1m1} = 7.000$	$D_{2m1} = 6.000$	$Kap_y = 60.000$	$G_{1s} = 22$
$r_{gp}^{mak} = 0.80$	$D_{1m2} = 4.000$	$D_{2m2} = 5.000$	$Kap_{1d_1} = 105.000$	$G_{2s} = 20$
$r_g^{min} = 0.55$	$D_{1m3} = 8.000$	$D_{2m3} = 5.500$	$Kap_{1d_2} = 85.000$	$G_1 = 15$
$r_e^{mak} = 1.0$	$D_{1m4} = 5.500$	$D_{2m4} = 3.500$	$Kap_{2d_1} = 70.000$	$G_2 = 12$
$r_e^{min} = 0.50$	$D_{1b_1} = 4.500$	$D_{2b_1} = 7.500$	$Kap_{2d_2} = 55.000$	$c_e = 0.7$
$r_{h1} = 0.015$	$D_{1b_2} = 3.000$	$D_{2b_2} = 2.000$	$Kap_{1d_3} = 35.000$	$c_s = 0.7$
$r_{h2}^{mak} = 0.07$	$D_{1f_1}^{min} = 1.000$	$D_{2f_1}^{min} = 1.300$	$Kap_{1d_4} = 30.000$	$c = 2$
$r_{h2}^{min} = 0.03$	$D_{1f_2}^{min} = 1.500$	$D_{2f_2}^{min} = 3.500$	$Kap_{2d_3} = 35.000$	$c_{de} = 1.2$
$r_{h3}^{mak} = 0.03$	$D_{1f_3}^{min} = 500$	$D_{2f_3}^{min} = 2.500$	$Kap_{2d_4} = 25.000$	$c_{1d} = c_{2d} = 0.45$
$r_{h3}^{min} = 0.015$	$D_{1f_1}^{mak} = 3.000$	$D_{2f_1}^{mak} = 2.800$		$c_{1at} = c_{2at} = 0.05$
	$D_{1f_2}^{mak} = 2.500$	$D_{2f_2}^{mak} = 5.500$		
	$D_{1f_3}^{mak} = 1.500$	$D_{2f_3}^{mak} = 4.500$		
	$D_{1m_5} = 2.500$	$D_{2m_5} = 2.000$		
	$D_{1m_6} = 1.000$	$D_{2m_6} = 800$		

Şekil 6.10’da kapalı çevrim tedarik zinciri modelindeki distribütör ve bölge depolarına gönderilecek, geri toplanacak ve zincirdeki kayıp ürün miktarları, hurda ve fazladan üretilip bir sonraki dönem stoklanması planlanan ürün miktarlarını gibi çok çeşitli bilgiler verilmiştir. Sonuç olarak bütün müşterilerin her iki tip ürün için talepleri karşılanmıştır.

Hurda miktarı 1. ürün için 3.145 (I.tip hurda:780, II.tip hurda:1.985, III.tip hurda: 380) adet, 2. ürün için 3.245 (I.tip hurda:820, II.tip hurda:2.000, III.tip hurda:425) adet şişe olacağı ve fazladan 1. ürün için 41.650 adet, 2. ürün için ise 42.850 adet ürün üretilip stoklanması gerektiği bulunmuştur. Sistemde 1. tip ürün için toplam 7.150 adet (1.050+0+800+0+1.100+1.200+375+150+675+450+450+675+225), 2. ürün için ise 8.555 adet (900+0+1.000+0+700+825+300+120+1.125+300+585+1575+1125) ürün kaybı söz konusudur. Hedef değeri 7.782.000 TL şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 6.10 : Model 5'in çözümü.

6.1.6 Genelleştirilmiş model

Genelleştirilmiş model, Model 5'in genel bir yazımı olup, distribütörler, bayiler ve bölge depolarının müşterilere hizmet verdiği bir sistem söz konusudur. Genelleştirilmiş modelde, fabrika doğrudan distribütörlerin hizmet verdiği müşterilere ürün gönderebilir ya da distribütörler müşterilerine ürün göndermeye devam edebilir. Modelde yine hurda, talep fazlası üretim gibi kısıtlar mevcuttur. Genelleştirilmiş model toplam maliyetin minimum kılınması hedefi için geliştirilmiş olup, diğer hedefler için de yeniden düzenlenebilir. Model geliştirildiği için notasyon aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir.

6.1.6.1 Notasyon

İndisler

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>	
i	Ürün	$i=1,2,\dots,I$
d	Distribütör	$d=1,2,\dots,D$
b	Bayi	$b=1,2,\dots,B$
w	Bölge deposu	$w=1,2,\dots,W$
n	Müşteri	$n=1,2,\dots,N$

Değişkenler

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>
X_i	Fabrikadan dağıtım merkezlerine gönderilen i . ürün miktarı
X'_i	Dağıtım merkezlerinden fabrikaya geri gelen kullanılmış i . ürün miktarı
Y_i	Tedarikçiden yeni alınan i . ürün miktarı
X_{id}	d . distribütöre gönderilen i . ürün miktarı
X_{ib}	b . bayiye gönderilen i . ürün miktarı
X_{iw}	w . bölge deposuna gönderilen i . ürün miktarı
S_i	Stoklamak üzere talepten fazla üretilen i . ürün miktarı
q_{idn}	d . distribütörden n . müşteriye gönderilen i . ürün miktarı
q_{ibn}	b . bayiden n . müşteriye gönderilen i . ürün miktarı
q_{iwn}	w . bölge deposundan n . müşteriye gönderilen i . ürün miktarı

X'_{iw}	w. bölge deposundan fabrikaya geri taşınan i. ürün miktarı
X'_{id}	d. distribütörden fabrikaya geri taşınan i. ürün miktarı
X'_{ib}	b. bayiden fabrikaya geri taşınan i. ürün miktarı
q'_{idn}	n. müşteriden d. distribütöre geri taşınan i. ürün miktarı
q'_{ibn}	n. müşteriden b. bayiye geri taşınan i. ürün miktarı
q'_{iwn}	n. müşteriden w. bölge deposundan geri taşınan i. ürün miktarı
q_{in}	Fabrikadan n. müşteriye doğrudan gönderilen i. ürün miktarı
q'_{in}	n. müşteriden fabrikadan doğrudan gönderilen kullanılmış i. ürün miktarı
$y_{idn} =$	$\begin{cases} 1, & \text{i. ürün d. distribütör kanalıyla n. müşteriye gönderilse} \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases}$
$y_{in} =$	$\begin{cases} 1, & \text{i. ürün n. müşteriye fabrikadan doğrudan gönderilse} \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases}$

Parametreler

Birim maliyetler (TL/adet)

C_u	Geri toplanan kullanılmış ürünün edinim fiyatı
C_i	Tedarikçiden i. ürünün satınlama fiyatı
C_s	Talepten fazla üretilen ürünlerin birim depolama maliyeti
C_a	Birim ayrıştırma ve temizleme maliyeti
C_{do}	Ürünlerin birim dolum maliyeti
C_y	Tedarikçiden yeni alınan ürünlerin birim depolama maliyeti
C_{de}	Satışa hazır ürünlerin ve geri toplanan ürünlerin birim depolama maliyeti
c	Ürünün birim taşıma maliyeti
K	Geri toplanamayan ürünün işletmeye birim maliyeti

Kapasite (adet)

Kap_{depo}	Fabrikanın depo kapasitesi
Kap_{id}	d. distribütörün i. ürünü depolama kapasitesi
Kap_y	Yıkama makinesi kapasitesi

Mesafe (km $\times$ TL/adet)

α_d	Fabrika ile d. distribütör arasındaki mesafe ile birim taşıma maliyeti çarpımı
------------	--

α_b	Fabrika ile b. bayi arasındaki mesafe ile birim taşıma maliyeti çarpımı
α_w	Fabrika ile w. bölge deposu arasındaki mesafe ile birim taşıma maliyeti çarpımı
β_{dn}	d. distribütör ile n. müşteri arasındaki mesafe ile birim taşıma maliyeti çarpımı
β_{bn}	b. bayi ile n. müşteri arasındaki mesafe ile birim taşıma maliyeti çarpımı
β_{wn}	w. bölge deposu ile n. müşteri arasındaki mesafe ile birim taşıma maliyeti çarpımı
α_n	Fabrika ile n. müşteri arasındaki mesafe ile birim taşıma maliyeti çarpımı
θ	Fabrika ile tedarikçi arasındaki mesafe ile birim taşıma maliyeti çarpımı

Talep (adet)

T_{in}	d. distribütörün n. müşterisinin i. ürüne olan talebi
T_{ibn}	b. bayinin n. müşterisinin i. ürüne olan talebi
T_{iwn}^{min}	w. bölge deposunun i. ürüne olan minimum talebi
T_{iwn}^{mak}	w. bölge deposunun i. ürüne olan maksimum talebi

Kullanılmış ürün geri dönüş yüzdesi (%)

$\bar{\pi}$	Ürünlerin maksimum geri toplanma yüzdesi
$\underline{\pi}$	Ürünlerin minimum geri toplama yüzdesi

Hurda yüzdesi (%)

r_t	t. tip hurda için maksimum ürün yüzdesi
-------	---

Talepten fazla üretim yüzdesi (%)

r_e^{mak}	Talepten fazla üretilebilecek maksimum ürün yüzdesi
r_e^{min}	Talepten fazla üretilebilecek minimum ürün yüzdesi

Diğer

A^e	Geri toplanmış ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
A^c	Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilmeye hazır ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
A^s	Tedarikçiden temin edilmiş ürünlerin depoda kapladığı toplam alan yüzdesi (%)
M	Yeterince büyük pozitif bir sayı

6.1.6.2 Matematiksel formülasyon

Hedef: Toplam maliyetin minimizasyonu

$$\text{Min } TEM + T\dot{I}HM + TM + TDEM + GT \quad (6.195)$$

- Toplam Edinim Maliyeti (TEM): Her iki tip ürün için toplam edinim maliyetini içerir.

$$TEM = \sum_{i=1}^I Y_i c_i + \sum_{i=1}^I X'_i c_u \quad (6.196)$$

- Toplam Yeniden İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TİHM): Her iki tip ürün için toplam hazırlık ve işleme maliyetlerini içerir.

$$T\dot{I}HM = \sum_{i=1}^I (X_i + S_i) c_{do} + \sum_{i=1}^I (Y_i + X'_i) c_a \quad (6.197)$$

- Toplam Taşıma/Nakliye Maliyetleri (TTM): Kapalı çevrimdeki tüm taşıma maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned} TTM = & \sum_{i=1}^I \left[Y_i \theta + \sum_{d=1}^D (X_{id} + X'_{id}) \alpha_d + \sum_{b=1}^B (X_{ib} + X'_{ib}) \alpha_b \right. \\ & \left. + \sum_{w=1}^W (X_{iw} + X'_{iw}) \alpha_w \right] + \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \left[\sum_{d=1}^D (q_{idn} + q'_{idn}) \beta_{dn} \right. \\ & \left. + \sum_{b=1}^B (q_{ibn} + q'_{ibn}) \beta_{bn} + \sum_{w=1}^W (q_{iwn} + q'_{iwn}) \beta_{wn} + (q_{in} + q'_{in}) \alpha_n \right] \end{aligned} \quad (6.198)$$

- Toplam Depolama ve Elde Bulundurma Maliyeti (TDEM): Her iki tip ürünün toplam depolama maliyetlerini içerir.

$$TDEM = \sum_{i=1}^I (X_i + X'_i) c_{de} + \sum_{i=1}^I Y_i c_y + \sum_{i=1}^I S_i c_e \quad (6.199)$$

- Geri toplanamayan ürün maliyeti (GT): Geri toplanamayan ürünlerden (kayıplardan) dolayı fabrikanın katlanmak zorunda olduğu maliyettir.

$$GT = \sum_{i=1}^I K(X_i - X'_i) \quad (6.200)$$

Kısıtlar

1. Akış kısıtı:

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir. Kısıtta ayrıca hurda miktarı ve fazladan üretim miktarı da göz önünde bulundurulur. Tedarikçiden yeni temin edilen ürünlerin taşınması sırasında oluşan I. tip hurda miktarı, tedarikçiden temin edilen ürünlerin $\%r_1$ 'i kadardır. Fabrikaya geri taşınan kullanılmış ürünlerin geçtiği çeşitli aşamalarda oluşan II. tip hurda miktarı, geri toplanan ürünlerin en fazla $\%r_2$ 'i kadardır. Müşterilere, bayilere ve bölge depolarına gönderilmek üzere hazırlanan ürünlerde çeşitli nedenlerle kırılmalar sonucu oluşan III. tip hurda miktarı, müşterilere, bayilere ve bölge depolarına gönderilen ürünlerin en fazla $\%r_3$ 'i kadardır.

$$Y_i(1 - r_1) + X'_i(1 - r_2) \geq X_i(1 - r_3) + S_i \quad \forall i \text{ için} \quad (6.201)$$

$$X'_i = X'_{id} + X'_{ib} + X'_{iw} + q'_{in} \quad (6.202)$$

$$X_i = X_{id} + X_{ib} + X_{iw} + q_{in} \quad (6.203)$$

- **Distribütörlerdeki akış**

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarı kadardır.

$$X_{id} - \sum_{n=1}^N q_{idn} = 0 \quad \forall i, \forall d \text{ için} \quad (6.204)$$

- Distribütörden fabrikaya geri ürün akışını gösterir.

$$X'_{id} - \sum_{n=1}^N q'_{idn} = 0 \quad \forall i, \forall d \text{ için} \quad (6.205)$$

- Distribütörün müşterilerine ürünler ya doğrudan ya da distribütörler kanalıyla gönderilir.

$$q_{idn} - M y_{idn} \leq 0 \quad \forall i, \forall d, \forall n \text{ için} \quad (6.206)$$

$$q_{in} - M y_{in} \leq 0 \quad \forall i, \forall d, \forall n \text{ için}$$

$$y_{idn} + y_{in} = 1 \quad \forall i, \forall d, \forall n \text{ için}$$

- **Bayilerdeki akış:**

- Bayilere gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarı kadardır.

$$X_{ib} - \sum_{n=1}^N q_{ibn} = 0 \quad \forall i, \forall b \text{ için} \quad (6.207)$$

- Bayilerden fabrikaya geri ürün akışını gösterir.

$$X'_{ib} - \sum_{n=1}^N q'_{ibn} = 0 \quad \forall i, \forall b \text{ için} \quad (6.208)$$

- **Bölge depolarındaki akış:**

- Bölge depolarına gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarı kadardır.

$$X_{iw} - \sum_{n=1}^N q_{iwn} = 0 \quad \forall i, \forall w \text{ için} \quad (6.209)$$

- Bölge depolarından fabrikaya geri ürün akışını gösterir.

$$X'_{iw} - \sum_{n=1}^N q'_{iwn} = 0 \quad \forall i, \forall w \text{ için} \quad (6.210)$$

2. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt: Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda talepten fazla üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az % r_e^{min} i en fazla % r_e^{mak} 'ı kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$S_i - r_e^{mak}(Y_i + X'_i) \leq 0 \quad \forall i \text{ için} \quad (6.211)$$

$$S_i - r_e^{min}(Y_i + X'_i) \geq 0 \quad (6.212)$$

3. Geri toplanan ürünler ile ilgili kısıt: Distribütör ve bayilere gönderilen ürünlerin en fazla % $\bar{\pi}$ 'ı geri toplanmaktadır. Bölge depolarında ise bu oran en az % $\underline{\pi}$, en fazla % $\bar{\pi}$ 'tır.

$$q'_{idn} - \bar{\pi} q_{idn} \leq 0 \quad \forall i, \forall d, \forall n \text{ için} \quad (6.213)$$

$$q'_{ibn} - \bar{\pi} q_{ibn} \leq 0 \quad \forall i, \forall b, \forall n \text{ için} \quad (6.214)$$

$$q'_{iwn} - \bar{\pi} q_{iwn} \leq 0 \quad \forall i, \forall w, \forall n \text{ için} \quad (6.215)$$

$$q'_{in} - \bar{\pi} q_{in} \leq 0 \quad \forall i, \forall n \text{ için} \quad (6.216)$$

$$X'_{id} - \bar{\pi} X_{id} \leq 0 \quad \forall i, \forall d \text{ için} \quad (6.217)$$

$$X'_{ib} - \bar{\pi} X_{ib} \leq 0 \quad \forall i, \forall b \text{ için} \quad (6.218)$$

$$X'_{iw} - \bar{\pi} X_{iw} \leq 0 \quad \forall i, \forall w \text{ için} \quad (6.219)$$

$$X'_{iw} - \underline{\pi} X_{iw} \geq 0 \quad \forall i, \forall w \text{ için} \quad (6.220)$$

4. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Yıkama makinesinde yıkanan ürünler, makinenin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^I (X'_i + Y_i) \leq \text{Kap}_y \quad (6.221)$$

5. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütörden, bayiden ve bölge depolarından geri toplanmış ürünler, depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^I X'_i \leq \text{Kap}_{depo} A^e \quad (6.222)$$

- Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilecek olan ürünlerin miktarı, depoda tutulduğu ilgili bölümün kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^I X_i \leq Kap_{depo} A^c \quad (6.223)$$

- Tedarikçiden yeni satın alınan ürünler depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^I Y_i \leq Kap_{depo} A^s \quad (6.224)$$

- 6. Distribütör kapasitesi kısıtı:** Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{n=1}^N X_{idn} \leq Kap_{id} \quad \forall i, \forall d \text{ için} \quad (6.225)$$

- 7. Talep kısıtı:** Müşterilerin, bayilerin ve bölge depolarının ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$(1 - r_3)(X_{idn} + X_{in}) \geq T_{in} \quad \forall i, \forall d, \forall n \text{ için} \quad (6.226)$$

$$(1 - r_3)X_{ibn} \geq T_{ibn} \quad \forall i, \forall b, \forall n \text{ için} \quad (6.227)$$

$$(1 - r_3)X_{iwn} \geq T_{iwn}^{min} \quad \forall i, \forall w, \forall n \text{ için} \quad (6.228)$$

$$(1 - r_3)X_{iwn} \leq T_{iwn}^{mak} \quad \forall i, \forall w, \forall n \text{ için} \quad (6.229)$$

8. Diğer kısıtlar:

$$X_i, X'_i, Y_i, S_i, X_{id}, X_{ib}, X_{iw}, X'_{id}, X'_{ib}, X'_{iw} \geq 0 \quad (6.230)$$

$$q_{idn}, q_{ibn}, q_{iwn}, q_{in}, q'_{idn}, q'_{ibn}, q'_{iwn}, q'_{in} \geq 0$$

$$y_{idn}, y_{in} \in \{0,1\}$$

7. GERİ KAZANIMLI KAPALI ÇEVİRİM MODELLERİ: GERÇEK HAYAT UYGULAMASI

İçecek sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın kapalı çevrim tedarik zinciri üretim ve dağıtım planlama problemine çözüm getirmek amacıyla, geliştirilmiş modeller birden çok ürün, distribütör, bölge deposu ve müşteriye göz önüne alarak revize edilmiş ve uygulanmıştır. Pilot bölge olarak İstanbul ili seçilmiştir.

Firma yeni cam şişeleri tek bir tedarikçiden satın almaktadır. Satın aldığı ürünler çeşitli işlemlerden geçirilip, üretim hattına girmektedir. Hattan çıkan ürünler fabrikada depolanır. Müşterilerin ihtiyacını karşılamak üzere, ürünler distribütörlere gönderilir. Distribütörler fabrikadan gelen ürünleri doğrudan müşteriye iletir. Sistemde ayrıca bölge depoları bulunmaktadır. Bölge depolarının da ürün ihtiyacını fabrika karşılamakla yükümlüdür.

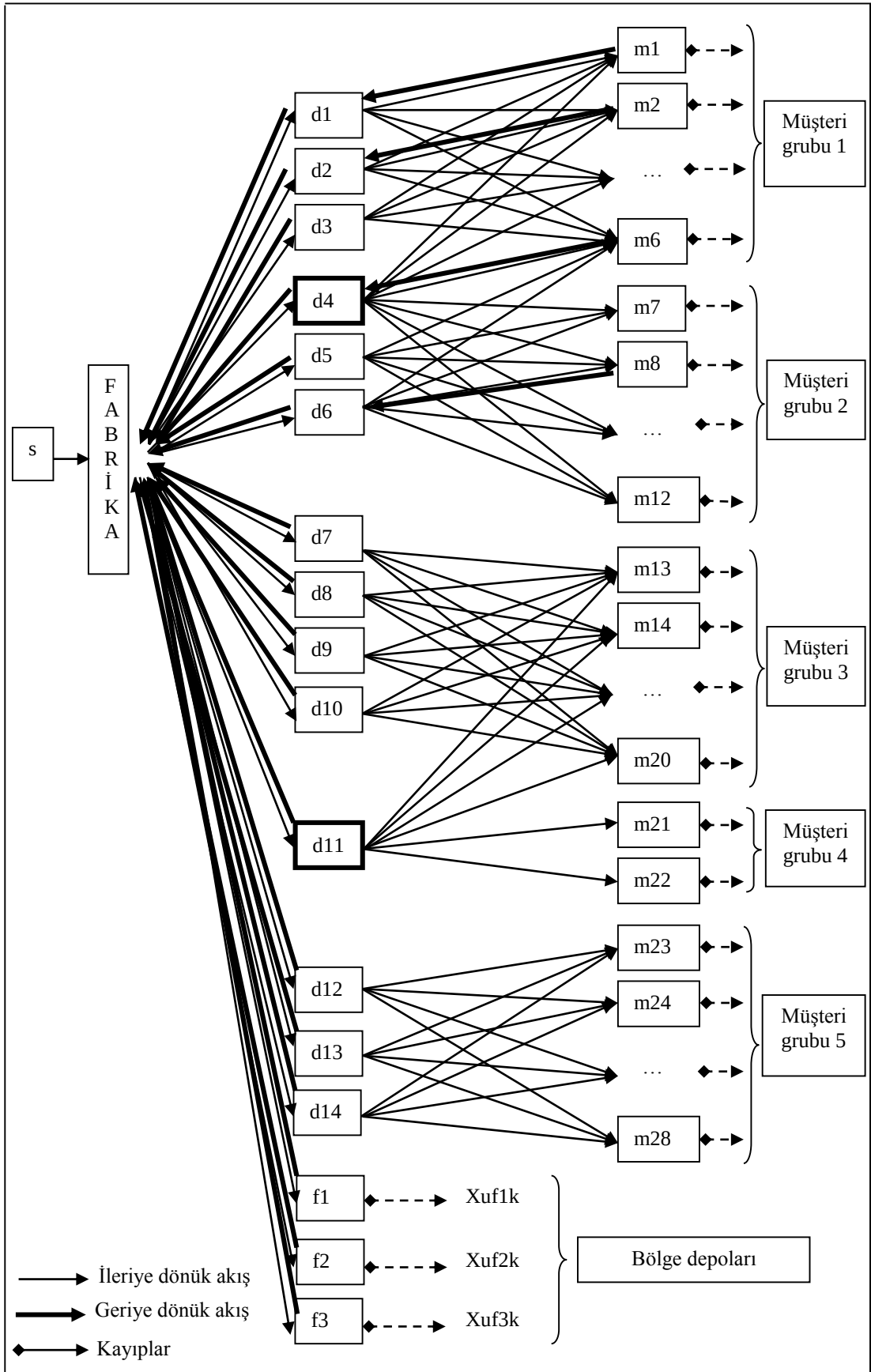
Tersine akışta ise müşterilerden geri gelen ürünler distribütörlerde toplanır. Müşterilerde ürün kaybı söz konusudur. Geri dönüş oranı her yıl düşüş göstermektedir. Bu oran birkaç yıl önce %90'larda iken, bu yıl için yaklaşık %85 olacağı düşünülmektedir. Diğer bir deyişle müşterilere gönderilen her 100 üründen yaklaşık 85'i fabrikaya geri döner. Bölge depolarında da benzer şekilde kayıplar söz konusudur.

Tedarik zincirinin pilot bölgesinde toplam 14 tane distribütör bulunur. Distribütörler hizmet verdikleri bölgelere göre beş gruba ayrılmıştır. Sistemde ayrıca üç bölge deposu bulunmaktadır. Müşteriler; ürünün kapalı olarak satıldığı, açık olarak sunulduğu yerler ve zincir mağazalar olarak üç gruba ayrılır. Ürünün kapalı olarak satıldığı müşterilere bakkallar örnek olarak verilebilir. Açık noktalara ise, kafe ve restoranlar örnek verilebilir. Bu çalışmada yalnızca talebin yüksek olduğu zincir mağazalar ele alınmıştır ve çalışmada zincir mağazalar kısaca müşteriler olarak adlandırılmıştır. Toplamda 28 tane büyük zincir mağaza ele alınmıştır ve bulundukları ilçelere göre beş grupta toplanmıştır.

Şekil 7.1’de gerçek hayat örneğinin yapısı görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi her distribütör grubu kendi müşteri grubuna hizmet vermektedir. Distribütörlerden bazıları (d4, d11) konumları ve yeterli kapasiteye sahip olmalarından dolayı hem kendi müşteri grubuna hem de başka bir müşteri grubuna da gerektiğinde müşteri ihtiyaçlarını karşılamak üzere hizmet verebilmektedir. Şekilde geri dönüşler (tersine akışlar) kalın oklar ile, ileri akışlar ise ince oklar ile gösterilmiştir. Şekli basitleştirmek için müşterilerden distribütörlere geri dönüşlerin hepsi gösterilmemiştir.

Geliştirilmiş model üç hedef için – toplam maliyetin minimum kılınması, taşımalar sonucu meydana gelen CO₂ emisyon miktarının minimum kılınması ve kayıpların minimum kılınması- tek tek GAMS 24.02 paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Sistemde çeşitli belirsizlikler olduğundan çok hedefli modelin çözümünde bulanık mantıktan ve bulanık modellemeden yararlanılmıştır. Sistemdeki belirsizlikler geri toplanan ürün miktarlarında ve müşteri taleplerinde olabilmektedir. Model, iki farklı yaklaşım ile çözülmüştür. İlk yaklaşımda hedefler ve talep kısıtı bulanık ele alınırken, ikinci yaklaşımda bazı parametreler bulanık olarak ele alınmıştır. Sonuçlar modellerin sonunda verilmiştir.



Şekil 7.1 : Gerçek hayat problemine ait KÇTZ'nin grafiksel gösterimi.

Modelin Varsayımları:

Daha önceki modellerin varsayımlarını içerir. Modelin varsayımları şu şekilde özetlenmiştir.

1. Fabrika, tek üretim noktasıdır.
2. Ürün, ambalaj içindeki içeceği ve ambalajı ifade eder.
3. Problem bir aylık üretim ve depolama periyodunu kapsar.
4. Depozitolu ürünler distribütör ve bölge depolarına hangi kanalla gönderilmişse kullanılmış ürünler bu noktalardan aynı kanalla geri toplanır.
5. Distribütörlerde ürün kaybı yoktur, fabrikadan distribütöre gelen ürünler doğrudan müşteriye gönderilir.
6. Geri toplama sırasında müşteri tarafında kayıplar söz konusudur. Bu nedenle müşterilerden her sevkiyat zamanında toplanabilecek kullanılmış ürün miktarı ve ürün kalitesi belirsizdir.
7. Müşterilerin, dağıtım merkezlerinin (distribütör (d), bölge depolarının (f)) ve tedarikçinin (s) konumları kesin olarak bilinmektedir.
8. Araçlar distribütör ve bölge depolarından dönüşlerde kullanılmış ürünleri fabrikaya taşır.
9. Geri dönen ürünlerin kalite kontrolü ve bozuk-kırık ambalajların ayrımında iş gücü kullanılmaktadır. Kalite kontrolünü geçemeyenler imha edilmek üzere hurdaya ayrılmaktadır.
10. Bölge depolarından ve müşterilerden geri dönen kullanılmış ürün miktarları farklıdır.
11. Fabrika müşterilerin taleplerinden fazla ürün üretmektedir. Fabrika, en az iki haftalık en fazla bir aya karşılık gelen ürün miktarını bir sonraki dönem için üretip depolar.
12. Fabrikadan distribütörlere her iki ürün birlikte gönderilir. Benzer şekilde distribütörler de müşterilerine her iki ürünü de götürebilmelidir.
13. Kullanılmış ürünlerin ve yeni ürünlerin yıkama sürelerinde farklılık vardır.
14. Her distribütör ilgili müşteri grubunda en fazla iki müşteriye hizmet verebilir.
15. Bölge depoları arasında ürün akışı yoktur.
16. Tedarikçilerden fabrikaya, fabrikadan distribütör ve bölge depolarına olan akışlarda büyük araçlar, distribütörlerden müşterilere ise küçük araçlar çalışır.
17. Araçların kapasitesinin yeterli olduğu varsayılır.

7.1 Notasyon

İndisler

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>	
s	Tedarikçi	$s=1$
u	Ürün	$u=1,2$
f_b	Bölge deposu	$b=1,2,3$
$dist1_j$	Distribütör grubu 1	$j = 1,2,3,4$
$dist2_l$	Distribütör grubu 2	$l = 4,5,6$
$dist3_m$	Distribütör grubu 3	$m = 7,8, \dots, 11$
$dist4_n$	Distribütör grubu 4	$n = 11$
$dist5_p$	Distribütör grubu 5	$p = 12,13,14$
$MG1_i$	Müşteri grubu 1	$i = 1,2, \dots, 6$
$MG2_x$	Müşteri grubu 2	$x = 7,8, \dots, 12$
$MG3_v$	Müşteri grubu 3	$v = 13,14, \dots, 20$
$MG4_y$	Müşteri grubu 4	$y = 21,22$
$MG5_z$	Müşteri grubu 5	$z = 23,24, \dots, 28$
t	Hurda çeşitleri	$t=1,2,3$

Değişkenler

X_u^s	Tedarikçiden yeni alınan u. ürün miktarı
$X_{u,dist1_j}$	Distribütör grubu 1'e gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist1_j}^g$	Distribütör grubu 1'den geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist1_j}^k$	Distribütör grubu 1'deki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist2_l}$	Distribütör grubu 2'ye gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist2_l}^g$	Distribütör grubu 2'den geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist2_l}^k$	Distribütör grubu 2'deki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist3_m}$	Distribütör grubu 3'e gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist3_m}^g$	Distribütör grubu 3'ten geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist3_m}^k$	Distribütör grubu 3'teki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist4_n}$	Distribütör grubu 4'e gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist4_n}^g$	Distribütör grubu 4'ten geri toplanan u. ürün miktarı

$X_{u,dist4_n}^k$	Distribütör grubu 4'teki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist5_p}$	Distribütör grubu 5'e gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist5_p}^g$	Distribütör grubu 5'ten geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist5_p}^k$	Distribütör grubu 5'teki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist1_j, MG1_i}$	Müşteri grubu 1'e gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist1_j, MG1_i}^g$	Müşteri grubu 1'den geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist1_j, MG1_i}^k$	Müşteri grubu 1'deki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist2_l, MG2_x}$	Müşteri grubu 2'ye gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist2_l, MG2_x}^g$	Müşteri grubu 2'den geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist2_l, MG2_x}^k$	Müşteri grubu 2'deki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist3_m, MG3_v}$	Müşteri grubu 3'e gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist3_m, MG3_v}^g$	Müşteri grubu 3'ten geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist3_m, MG3_v}^k$	Müşteri grubu 3'teki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist4_n, MG4_y}$	Müşteri grubu 4'e gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist4_n, MG4_y}^g$	Müşteri grubu 4'ten geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist4_n, MG4_y}^k$	Müşteri grubu 4'teki kayıp u. ürün miktarı
$X_{u,dist5_p, MG5_z}$	Müşteri grubu 5'e gönderilen u. ürün miktarı
$X_{u,dist5_p, MG5_z}^g$	Müşteri grubu 5'ten geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{u,dist5_p, MG5_z}^k$	Müşteri grubu 5'teki kayıp u. ürün miktarı
X_{uf_b}	Bölge depolarına gönderilen u. ürün miktarı
$X_{uf_b}^g$	Bölge depolarından geri toplanan u. ürün miktarı
$X_{uf_b}^k$	Bölge depolarındaki kayıp u. ürün miktarı
X_{ue}	Stoklamak üzere talepten fazla üretilen u. ürün miktarı
X_u^{ht}	u. ürünlerdeki t. tip hurda miktarı
X_u^h	u. üründen hurdaya gönderilecek toplam miktarı
$y1_{dist1_j, MG1_i}, y2_{dist2_l, MG2_x}$	$\begin{cases} 1, & \text{Eğer distribütör müşterisine her iki ürünü götürürse} \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases}$
$y3_{dist3_m, MG3_v}, y4_{dist4_n, MG4_y}$	
$y5_{dist5_p, MG5_z}$	
$y6_{dist1_j}, y7_{dist2_l}, y8_{dist3_m}$	$\begin{cases} 1, & \text{Eğer fabrikadan distribütöre her iki ürün gönderilirse} \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases}$
$y9_{dist4_n}, y10_{dist5_p}$	
$y11_{dist1_j, MG1_i}, y12_{dist2_l, MG2_x}$	$\begin{cases} 1, & \text{Eğer distribütör müşterisine ürün gönderirse} \\ 0, & \text{Diğer durumda} \end{cases}$
$y13_{dist3_m, MG3_v}, y14_{u, dist4_n, \Lambda}$	
$y15_{u, dist5_p, MG5_z}$	

Parametreler

Birim maliyetler (TL/adet)

G_{us}	Tedarikçiden u. ürünün satınalma maliyeti
G_u	Kullanılmış u. ürünün edinim maliyeti
c_{ud}	Ürünlerin birim dolum maliyeti
c_{uat}	Birim ayırma ve temizleme maliyeti
c	Ürünün büyük araçla birim taşıma maliyeti
c_a	Ürünün diğer araçla birim taşıma maliyeti
c_{deg}	Müşterilerden geri gelen ürünlerin birim depolama maliyeti
c_s	Tedarikçiden alınan yeni ürün birim depolama maliyeti
c_{de}	Satışa hazır ürünlerin birim depolama maliyeti
K	Geri toplanamayan ürünün işletmeye birim maliyeti

Kapasite (adet)

Kap_{depo}	Fabrikanın depo kapasitesi
Kap_h	Hurdaya gönderilecekler deposunun kapasitesi

Mesafeler (km)

ds	Fabrika ile tedarikçi arasındaki mesafe
df_b	Bölge depoları ile fabrika arasındaki mesafe
$dd1_{dist1j}$	Fabrika ile distribütör grubu 1 arasındaki mesafe
$dd2_{dist2l}$	Fabrika ile distribütör grubu 2 arasındaki mesafe
$dd3_{dist3m}$	Fabrika ile distribütör grubu 3 arasındaki mesafe
$dd4_{dist4n}$	Fabrika ile distribütör grubu 4 arasındaki mesafe
$dd5_{dist5p}$	Fabrika ile distribütör grubu 5 arasındaki mesafe
$dd_1m_1_{dist1j,MG1i}$	Distribütör grubu 1 ile müşteri grubu 1 arasındaki mesafe
$dd_2m_2_{dist2l,MG2x}$	Distribütör grubu 2 ile müşteri grubu 2 arasındaki mesafe
$dd_3m_3_{dist3m,MG3v}$	Distribütör grubu 3 ile müşteri grubu 3 arasındaki mesafe
$dd_4m_4_{dist4n,MG4y}$	Distribütör grubu 4 ile müşteri grubu 4 arasındaki mesafe
$dd_5m_5_{dist5p,MG5z}$	Distribütör grubu 5 ile müşteri grubu 5 arasındaki mesafe

Talep (adet)

$talep_{ufb}^{min}$	Bölge depolarının minimum talebi
$talep_{ufb}^{max}$	Bölge depolarının maksimum talebi
$talepd_1m_1_{dist1j,MG1i}$	Müşteri grubu 1'in talebi
$talepd_2m_2_{dist2l,MG2x}$	Müşteri grubu 2'nin talebi

$\text{talepd}_3\text{m}_{3_{\text{dist3m,MG3v}}}$ Müşteri grubu 3'ün talebi

$\text{talepd}_4\text{m}_{4_{\text{dist4n,MG4y}}}$ Müşteri grubu 4'ün talebi

$\text{talepd}_5\text{m}_{5_{\text{dist5p,MG5z}}}$ Müşteri grubu 5'in talebi

Kullanılmış ürün geri dönüş yüzdesi (%)

$r_f^{\min}$ Bölge depoları için minimum geri dönüşüm oranı

$r_f^{\max}$ Bölge depoları için maksimum geri dönüşüm oranı

$r^{\min}$ Müşteriler için minimum geri dönüşüm oranı

$r^{\max}$ Müşteriler için maksimum geri dönüşüm oranı

Hurda yüzdesi (%)

r_{h1} I. tip hurda için ürün yüzdesi

$r_{ht}^{\max}$ II. ve III. tip hurda için maksimum ürün yüzdesi

$r_{ht}^{\min}$ II. ve III. tip hurda için minimum ürün yüzdesi

Talepten fazla üretim yüzdesi (%)

$r_e^{\max}$ Talepten fazla üretilebilecek maksimum ürün yüzdesi

$r_e^{\min}$ Talepten fazla üretilebilecek minimum ürün yüzdesi

Zaman (dk)

t_g Geri toplanan ürünlerin yıkanma süresi

t Tedarikçiden yeni alınan ürünlerin yıkanma süresi

Distribütör kapasitesi (adet)

$\text{kap}_{\text{dist1}_j}$ Distribütör grubu 1 kapasite

$\text{kap}_{\text{dist2}_l}$ Distribütör grubu 2 kapasite

$\text{kap}_{\text{dist3}_m}$ Distribütör grubu 3 kapasite

$\text{kap}_{\text{dist4}_n}$ Distribütör grubu 4 kapasite

$\text{kap}_{\text{dist5}_p}$ Distribütör grubu 5 kapasite

Diğer

A^e Geri toplanmış ürünlerin depodaki yüzdesi (%)

A^c Müşteriye gönderileceklerin depodaki yüzdesi (%)

Mins_u Tedarikçiden en az sipariş verilmesi gereken miktar (adet)

Maxs_u Tedarikçiden en fazla sipariş verilebilecek miktar (adet)

DBS_u u. ürün için dönem başı stok miktarı (adet)

w_u u. ürünün ağırlığı (g)

7.2 Modelin Geliştirilmesi

7.2.1 Tek hedefli kapalı çevrim modeli

Bu bölümde kapalı çevrim tedarik zinciri modeli, toplam maliyetin minimum kılınması hedefi için geliştirilmiş ve çözülmüştür. Toplam maliyet, Toplam Edinim Maliyeti (TEM), Toplam Dolum Maliyeti (TDL), Toplam İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TİHM), Toplam Taşıma Maliyeti (TTM), Toplam Depolama Maliyeti (TDEM) ve Geri Toplanamayan Ürün Maliyeti (GT) gibi çeşitli maliyetlerden oluşur.

Tek hedefli kapalı çevrim modelinin matematiksel formülasyonu aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min } TEM + TDL + TİHM + TTM + TDEM + GT \quad (7.1)$$

- Toplam Edinim Maliyeti (TEM): Her iki tip ürün için toplam edinim maliyetini içerir.

$$\begin{aligned} TEM = & \sum_{u=1}^2 X_u^s G_{us} + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g G_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g G_u \\ & + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g G_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g G_u + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}}^g G_u \\ & + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g G_u \end{aligned} \quad (7.2)$$

- Toplam Dolum Maliyeti (TDL): Her iki tip ürün için toplam dolum maliyetini içerir.

$$\begin{aligned} TDL = & \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 (X_{uf_b} + X_{uf_b}^g) c_{ud} + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} c_{ud} \\ & + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g c_{ud} + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 (X_{u,dist2_l} + X_{u,dist2_l}^g) c_{ud} \end{aligned} \quad (7.3)$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} (X_{u,dist3m} + X_{u,dist3m}^g) c_{ud} + \sum_{u=1}^2 (X_{u,dist4_{11}} + X_{u,dist4_{11}}^g) c_{ud} \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} (X_{u,dist5p} + X_{u,dist5p}^g) c_{ud} + \sum_{u=1}^2 X_{ue} c_{ud}
\end{aligned}$$

- Toplam İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TİHM): Her iki tip ürün için toplam hazırlık ve işleme maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
TİHM = c_{uat} & \left[\sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{ufb}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^g \right] \quad (7.4) \\
& + c_{uat} \left[\sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^g + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^g + \sum_{u=1}^2 X_{ue} \right]
\end{aligned}$$

- Toplam Taşıma Maliyeti (TTM): Kapalı çevrimdeki tüm taşıma maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
TTM = c & \sum_{u=1}^2 X_u^s d_s + c \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 (X_{ufb} + X_{ufb}^g) df_b \quad (7.5) \\
& + c \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 (X_{u,dist1j} + X_{u,dist1j}^g) dd1_{dist1j} \\
& + c \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 (X_{u,dist2l} + X_{u,dist2l}^g) dd2_{dist2l} \\
& + c \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} (X_{u,dist3m} + X_{u,dist3m}^g) dd3_{dist3m} \\
& + c \sum_{u=1}^2 (X_{u,dist4_{11}} + X_{u,dist4_{11}}^g) dd4_{dist4_{11}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +c \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} (X_{u,dist5_p} + X_{u,dist5_p}^g) dd5_{dist5p} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^6 (X_{u,dist1_j,MG1_i} + X_{u,dist1_j,MG1_i}^g) dd_1 m_{1_{dist1j,MG1i}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 \sum_{x=7}^{12} (X_{u,dist2_l} + X_{u,dist2_l}^g) dd_2 m_{2_{dist2l,MG2x}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m,MG3_v} dd_3 m_{3_{dist3m,MG3v}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m,MG3_v}^g dd_3 m_{3_{dist3m,MG3v}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} (X_{u,dist4_{11},MG4_y} + X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g) dd_4 m_{4_{dist4_{11},MG4y}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} \sum_{z=23}^{28} (X_{u,dist5_p,MG5_z} + X_{u,dist5_p,MG5_z}^g) dd_5 m_{5_{dist5p,MG5z}}
\end{aligned}$$

- Toplam Depolama Maliyeti (TDEM): Her iki tip ürünün toplam depolama maliyetlerini içerir.

$$\begin{aligned}
DEM = & \sum_{u=1}^2 X_u^s c_s + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 (X_{uf_b} c_{de} + X_{uf_b}^g c_{deg}) + \sum_{u=1}^2 X_u^e c_{de} \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 (X_{u,dist1_j} c_{de} + X_{u,dist1_j}^g c_{deg}) \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 (X_{u,dist2_l} c_{de} + X_{u,dist2_l}^g c_{deg})
\end{aligned} \tag{7.6}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} (X_{u,dist3_m} c_{de} + X_{u,dist3_m}^g c_{deg}) \\
& + \sum_{u=1}^2 (X_{u,dist4_{11}} c_{de} + X_{u,dist4_{11}}^g c_{deg}) \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} (X_{u,dist5_p} c_{de} + X_{u,dist5_p}^g c_{deg})
\end{aligned}$$

- Geri Toplanamayan Ürün Maliyeti (GT): Geri toplanamayan ürünlerden (kayıplardan) dolayı fabrikanın katlanmak zorunda olduğu maliyettir.

$$\begin{aligned}
GT = K & \left[\sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^k + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^k + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^k \right] \\
& + K \left[\sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^k + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}}^k + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^k \right]
\end{aligned} \tag{7.7}$$

Kısıtlar

1. Akış kısıtı:

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir.

$$\left[\begin{aligned} & X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g \\ & + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g \\ & + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g + DBS_u \\ & + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g \end{aligned} \right] \geq \left[\begin{aligned} & \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} \\ & \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} + X_{u,dist4_{11}} + X_{ue} \\ & + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} + X_u^h \end{aligned} \right] \tag{7.8}$$

$\forall u$ için

- **Distribütör ve müşterilerdeki ürün akışı**

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarına eşittir.

$$X_{u,dist1_j} = \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1_j,MG1_i} \quad \forall j, \forall u \text{ için} \quad (7.9)$$

$$X_{u,dist2_l} = \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2_l,MG2_x} \quad \forall l, \forall u \text{ için} \quad (7.10)$$

$$X_{u,dist3_m} = \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m,MG3_v} \quad \forall m, \forall u \text{ için} \quad (7.11)$$

$$X_{u,dist4_{11}} = \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.12)$$

$$X_{u,dist5_p} = \sum_{z=23}^{28} X_{u,dist5_p,MG5_z} \quad \forall p, \forall u \text{ için} \quad (7.13)$$

- Müşterilerden distribütörlere geri gönderilen kullanılmış ürünler, distribütörlerde depolanmadan ve herhangi bir kayıp olmadan doğrudan fabrikaya iletilir.

$$X_{u,dist1_j}^g = \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1_j,MG1_i}^g \quad \forall j, \forall u \text{ için} \quad (7.14)$$

$$X_{u,dist2_l}^g = \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2_l,MG2_x}^g \quad \forall l, \forall u \text{ için} \quad (7.15)$$

$$X_{u,dist3_m}^g = \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m,MG3_v}^g \quad \forall m, \forall u \text{ için} \quad (7.16)$$

$$X_{u,dist4_{11}}^g = \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g \quad \forall u \text{ için} \quad (7.17)$$

$$X_{u,dist5_p}^g = \sum_{z=23}^{28} X_{u,dist5_p,MG5_z}^g \quad \forall p, \forall u \text{ için} \quad (7.18)$$

- Distribütörler ilgili müşterilere her iki tip ürünü birlikte götürmelidir.

$$X_{1,dist1_j,MG1_i} - M y1_{dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.19)$$

$$X_{2,dist1_j,MG1_i} - M y1_{dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad (7.20)$$

$$X_{1,dist2_l,MG2_x} - M y2_{dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.21)$$

$$X_{2,dist2_l,MG2_x} - M y2_{dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad (7.22)$$

$$X_{1,dist3_m,MG3_v} - M y3_{dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.23)$$

$$X_{2,dist3_m,MG3_v} - M y3_{dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad (7.24)$$

$$X_{1,dist4_{11},MG4_y} - M y4_{dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad \forall y \text{ için} \quad (7.25)$$

$$X_{2,dist4_{11},MG4_y} - M y4_{dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad (7.26)$$

$$X_{1,dist5_p,MG5_z} - M y5_{dist5_p,MG5_z} \leq 0 \quad \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.27)$$

$$X_{2,dist5_p,MG5_z} - M y5_{dist5_p,MG5_z} \leq 0 \quad (7.28)$$

- Fabrikadan distribütörlere her iki ürün birlikte gönderilir.

$$X_{1,dist1_j} - M y6_{dist1_j} \leq 0 \quad \forall j \text{ için} \quad (7.29)$$

$$X_{2,dist1_j} - M y6_{dist1_j} \leq 0 \quad (7.30)$$

$$X_{1,dist2_l} - M y7_{dist2_l} \leq 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (7.31)$$

$$X_{2,dist2_l} - M y7_{dist2_l} \leq 0 \quad (7.32)$$

$$X_{1,dist3_m} - M y8_{dist3_m} \leq 0 \quad \forall m \text{ için} \quad (7.33)$$

$$X_{2,dist3_m} - M y8_{dist3_m} \leq 0 \quad (7.34)$$

$$X_{1,dist4_{11}} - M y9_{dist4_{11}} \leq 0 \quad (7.35)$$

$$X_{2,dist4_{11}} - M y9_{dist4_{11}} \leq 0 \quad (7.36)$$

$$X_{1,dist5_p} - M y10_{dist5_p} \leq 0 \quad \forall p \text{ için} \quad (7.37)$$

$$X_{2,dist5_p} - M y10_{dist5_p} \leq 0 \quad (7.38)$$

- Her bir distribütör grubundaki distribütör, ilgili müşteri grubunda en fazla iki müşteriye hizmet verebilir.

$$X_{u,dist1_j,MG1_i} - M y11_{dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.39)$$

$$\sum_{i=1}^6 y11_{dist1_j,MG1_i} \leq 2 \quad (7.40)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x} - M y12_{dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.41)$$

$$\sum_{x=7}^{12} y12_{dist2_l,MG2_x} \leq 2 \quad (7.42)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v} - M y13_{dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.43)$$

$$\sum_{v=13}^{20} y13_{dist3_m,MG3_v} \leq 2 \quad (7.44)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y} - M y14_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.45)$$

$$\sum_{y=21}^{22} y14_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq 2 \quad (7.46)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z} - M y15_{u,dist5_p,MG5_z} \leq 0 \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.47)$$

$$\sum_{z=23}^{28} y15_{u,dist5_p,MG5_z} \leq 2 \quad (7.48)$$

- Distribütör, bölge depoları ve müşterilere gelen ürün miktarı çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{uf_b} - X_{uf_b}^g - X_{uf_b}^k = 0 \quad \forall u, \forall b \text{ için} \quad (7.49)$$

$$X_{u,dist1_j} - X_{u,dist1_j}^g - X_{u,dist1_j}^k = 0 \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (7.50)$$

$$X_{u,dist2_l} - X_{u,dist2_l}^g - X_{u,dist2_l}^k = 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (7.51)$$

$$X_{u,dist3_m} - X_{u,dist3_m}^g - X_{u,dist3_m}^k = 0 \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (7.52)$$

$$X_{u,dist4_{11}} - X_{u,dist4_{11}}^g - X_{u,dist4_{11}}^k = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (7.53)$$

$$X_{u,dist5_p} - X_{u,dist5_p}^g - X_{u,dist5_p}^k = 0 \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (7.54)$$

$$X_{u,dist1_j,MG1_i} - X_{u,dist1_j,MG1_i}^g - X_{u,dist1_j,MG1_i}^k = 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.55)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x} - X_{u,dist2_l,MG2_x}^g - X_{u,dist2_l,MG2_x}^k = 0 \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.56)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v} - X_{u,dist3_m,MG3_v}^g - X_{u,dist3_m,MG3_v}^k = 0 \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.57)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y} - X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g - X_{u,dist4_{11},MG4_y}^k = 0 \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.58)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z} - X_{u,dist5_p,MG5_z}^g - X_{u,dist5_p,MG5_z}^k = 0 \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.59)$$

2. Hurda Kısıtı:

- **Toplam hurda miktarı**

$$X_u^h = \sum_{t=1}^3 X_u^{ht} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.60)$$

- **I. Tip hurda:** Tedarikçiden yeni temin edilen ürünlerin taşınması sırasında oluşan I. tip hurda miktarı, tedarikçiden temin edilen ürünlerin % r_{h1} 'i kadardır.

$$X_u^{h1} - r_{h1} X_u^s = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (7.61)$$

- **II. Tip hurda:** Fabrikaya geri taşınan kullanılmış ürünlerin geçtiği çeşitli aşamalarda (ayıklama, yıkama ve dolum gibi) oluşan II. tip hurda miktarı, geri toplanan ürünlerin en az % $r_{h2}^{\min}$ 'i en fazla % $r_{h2}^{\max}$ 'ı kadardır.

$$X_u^{h2} - r_{h2}^{\max} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{ufb}^g \right) \leq 0 \quad (7.62)$$

$$X_u^{h2} - r_{h2}^{\min} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{ufb}^g \right) \geq 0 \quad (7.63)$$

$\forall u \text{ için}$

- **III. Tip hurda:** Müşterilere ve bölge depolarına gönderilmek üzere hazırlanan ürünlerde çeşitli nedenlerle (fabrika içi ve fabrika dışı taşımalarda) kırılmalar sonucu oluşan III. tip hurda miktarı, müşterilere ve bölge depolarına gönderilen ürünlerin en az % $r_{h3}^{\min}$ 'i en fazla % $r_{h3}^{\max}$ 'ı kadardır.

$$X_u^{h3} - r_{h3}^{mak} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} + X_{u,dist4_{11}} + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} \right) \leq 0 \quad (7.64)$$

$$X_u^{h3} - r_{h3}^{min} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} + X_{u,dist4_{11}} + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} \right) \geq 0 \quad (7.65)$$

$\forall u$ için

3. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt: Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda fazla üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az $\% r_e^{min}$ i en fazla $\% r_e^{mak}$ kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$X_{ue} - r_e^{mak} \left(X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) \leq 0 \quad (7.66)$$

$$X_{ue} - r_e^{min} \left(X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) \geq 0 \quad (7.67)$$

$\forall u$ için

4. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Yıkama makinesinde yıkanan ürünler, makinenin kapasitesini aşamaz. Tedarikçiden yeni alınan ürünler ve stoklanacak ürünler t sürede, kullanılmış ürünler ise t_g sürede yıkama makinesinde yıkanır. Yıkama makinesi ayda 20 gün, günde de 8 saat çalışmaktadır.

$$\sum_{u=1}^2 X_u^s t + \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) t_g \leq 9600 \quad (7.68)$$

5. Geri toplanan ürünler ile ilgili kısıt: Distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürünlerin en az % r_g^{min} 'i , en fazla % r_g^{mak} 'ı geri toplanmaktadır.

$$X_{uf_b}^g \leq X_{uf_b} r_f^{max} \quad , \quad X_{uf_b}^g \geq X_{uf_b} r_f^{min} \quad \forall u, \forall b \text{ için} \quad (7.69)$$

$$X_{u,dist1_j}^g \leq r^{max} X_{u,dist1_j} \quad , \quad X_{u,dist1_j}^g \geq r^{min} X_{u,dist1_j} \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (7.70)$$

$$X_{u,dist2_l}^g \leq r^{max} X_{u,dist2_l} \quad , \quad X_{u,dist2_l}^g \geq r^{min} X_{u,dist2_l} \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (7.71)$$

$$X_{u,dist3_m}^g \leq r^{max} X_{u,dist3_m} \quad , \quad X_{u,dist3_m}^g \geq r^{min} X_{u,dist3_m} \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (7.72)$$

$$X_{u,dist4_{11}}^g \leq r^{max} X_{u,dist4_{11}} \quad , \quad X_{u,dist4_{11}}^g \geq r^{min} X_{u,dist4_{11}} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.73)$$

$$X_{u,dist5_p}^g \leq r^{max} X_{u,dist5_p} \quad , \quad X_{u,dist5_p}^g \geq r^{min} X_{u,dist5_p} \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (7.74)$$

$$X_{u,dist1_j,MG1_i}^g \leq r^{max} X_{u,dist1_j,MG1_i} \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.75)$$

$$X_{u,dist1_j,MG1_i}^g \geq r^{min} X_{u,dist1_j,MG1_i} \quad (7.76)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x}^g \leq r^{max} X_{u,dist2_l,MG2_x} \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.77)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x}^g \geq r^{min} X_{u,dist2_l,MG2_x} \quad (7.78)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v}^g \leq r^{max} X_{u,dist3_m,MG3_v} \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.79)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v}^g \geq r^{min} X_{u,dist3_m,MG3_v} \quad (7.80)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g \leq r^{max} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.81)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g \geq r^{min} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \quad (7.82)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z}^g \leq r^{max} X_{u,dist5_p,MG5_z} \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.83)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z}^g \geq r^{min} X_{u,dist5_p,MG5_z} \quad (7.84)$$

6. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütörden ve bölge depolarından geri toplanmış ürünler, depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\left[\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right] \leq Kap_{depo} A^e \quad (7.85)$$

- Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilecek olan ürünlerin miktarı, depoda tutulduğu ilgili bölümün kapasitesini aşamaz.

$$\left[\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} \right] \leq Kap_{depo} A^c \quad (7.86)$$

- Toplam hurda miktarı, hurda deposunun kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 X_u^h \leq Kap_h \quad (7.87)$$

7. Tedarikçi kısıtı: Tedarikçiden temin edilecek yeni ürünler, en az $Mins_u$ en fazla $Maxs_u$ kadar olabilir.

$$X_u^s \leq Maxs_u \quad , \quad X_u^s \geq Mins_u \quad \forall u \text{ için} \quad (7.88)$$

8. Talep kısıtı: Müşterilerin ve bölge depolarının ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j,MG1_i} \geq talepd_1 m_{1_{dist1_j,MG1_i}} \quad \forall u, \forall i \text{ için} \quad (7.89)$$

$$\sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l,MG2_x} \geq talepd_2 m_{2_{dist2_l,MG2_x}} \quad \forall u, \forall x \text{ için} \quad (7.90)$$

$$\sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m,MG3_v} \geq talepd_3 m_{3_{dist3_m,MG3_v}} \quad \forall u, \forall v \text{ için} \quad (7.91)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y} \geq talepd_4 m_{4_{dist4_{11},MG4_y}} \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.92)$$

$$\sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p,MG5_z} \geq talepd_5 m_{5_{dist5_p,MG5_z}} \quad \forall u, \forall z \text{ için} \quad (7.93)$$

$$X_{uf_b} \leq talep_{ufb}^{\max} \quad , \quad X_{uf_b} \geq talep_{ufb}^{\min} \quad \forall u, \forall b \text{ için} \quad (7.94)$$

9. Distribütör kapasitesi kısıtı:

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1_j,MG1_i} \leq Kap_{dist1_j} \quad \forall j \text{ için} \quad (7.95)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2_l,MG2_x} \leq Kap_{dist2_l} \quad \forall l \text{ için} \quad (7.96)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m,MG3_v} \leq Kap_{dist3_m} \quad \forall m \text{ için} \quad (7.97)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq Kap_{dist4_{11}} \quad (7.98)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=23}^{28} X_{u,dist5_p,MG5_z} \leq Kap_{dist5_p} \quad \forall p \text{ için} \quad (7.99)$$

- Birden çok bölgeye hizmet veren distribütörlerin (d4, d11) kapasiteleri, talebi karşılayacak büyüklüktedir.

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1_4,MG1_i} + \sum_{u=1}^2 \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2_4,MG2_x} \leq Kap_{dist2_4} \quad (7.100)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_{11},MG3_v} + \sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq Kap_{dist4_{11}} \quad (7.101)$$

10. Diğer kısıtlar:

$$X_u^s, X_{u,dist1_j}, X_{u,dist1_j}^g, X_{u,dist1_j}^k, X_{u,dist2_l}, X_{u,dist2_l}^g, X_{u,dist2_l}^k \geq 0 \quad (7.102)$$

$$X_{u,dist3_m}, X_{u,dist3_m}^g, X_{u,dist3_m}^k, X_{u,dist4_{11}}, X_{u,dist4_{11}}^g, X_{u,dist4_{11}}^k, X_{u,dist5_p} \geq 0$$

$$X_{u,dist5_p}^g, X_{u,dist5_p}^k, X_{u,dist1_j,MG1_i}, X_{u,dist1_j,MG1_i}^g, X_{u,dist1_j,MG1_i}^k \geq 0$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x}, X_{u,dist2_l,MG2_x}^g, X_{u,dist2_l,MG2_x}^k, X_{u,dist3_m,MG3_v}, X_{u,dist3_m,MG3_v}^g \geq 0$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v}^k, X_{u,dist4_{11},MG4_y}, X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g, X_{u,dist4_{11},MG4_y}^k, X_{u,dist5_p,MG5_z} \geq 0$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z}^g, X_{u,dist5_p,MG5_z}^k, X_{uf_b}, X_{uf_b}^g, X_{uf_b}^k, X_{ue}, X_u^{ht}, X_u^h \geq 0$$

$$y1_{dist1_j,MG1_i}, y2_{dist2_l,MG2_x}, y3_{dist3_m,MG3_v}, y4_{dist4_{11},MG4_y}, y5_{dist5_p,MG5_z} \in \{0,1\}$$

$$y6_{dist1_j}, y7_{dist2_l}, y8_{dist3_m}, y9_{dist4_{11}}, y10_{dist5_p}, y11_{dist1_j,MG1_i} \in \{0,1\}$$

$$y12_{dist2_l,MG2_x}, y13_{dist3_m,MG3_v}, y14_{u,dist4_{11},MG4_y}, y15_{u,dist5_p,MG5_z} \in \{0,1\}$$

Gerçek hayat verilerinin kullanıldığı modelin çözümü için GAMS 24.02 - CPLEX Solver kullanılmıştır. Modelin çözümleri Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de verilmiştir. Toplam edinim maliyeti 588.441,100 TL, toplam dolum maliyeti 14.437.620 TL, toplam taşıma maliyeti 9.489.216,887 TL, toplam işleme ve hazırlık maliyeti 10.942,460 TL, toplam depolama maliyeti 164.369,563 TL ve toplam kayıp maliyeti 34.619,500 TL olarak hesaplanmıştır. Böylece toplam maliyet 24.725.210 TL olarak bulunur.

Çizelge 7.1 : Distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürün miktarları.

Bölge deposu/Distribütör	İleri akıştaki ürün miktarı (adet) Ürün tipi		Geri akıştaki ürün miktarı (adet) Ürün tipi		Kayıp ürün miktarı (adet) Ürün tipi	
Bölge deposu	u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
Bölge deposu 1 (X_{uf_1})	192.000	75.000	124.800	48.750	67.200	26.250
Bölge deposu 2 (X_{uf_2})	72.000	20.000	46.800	13.000	25.200	7.000
Bölge deposu 3 (X_{uf_3})	72.000	20.000	46.800	13.000	25.200	7.000
Distribütör	u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
d1 ($X_{u,dist1_1}$)	47.100	4.000	32.970	2.800	14.130	1.200
d2 ($X_{u,dist1_2}$)	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
d3 ($X_{u,dist1_3}$)	24.500	1.500	17.150	1.050	7.350	450
d4 ($X_{u,dist1_4} + X_{u,dist2_4}$)	201.600	21.000	141.120	14.700	60.480	6.300
d5 ($X_{u,dist2_5}$)	146.400	24.000	102.480	16.800	43.920	7.200
d6 ($X_{u,dist2_6}$)	91.200	16.000	63.840	11.200	27.360	4.800
d7 ($X_{u,dist3_7}$)	72.000	5.000	50.400	3.500	21.600	1.500
d8 ($X_{u,dist3_8}$)	139.200	15.000	97.440	10.500	41.760	4.500
d9 ($X_{u,dist3_9}$)	122.000	11.500	85.400	8.050	36.600	3.450
d10 ($X_{u,dist3_{10}}$)	146.400	14.000	102.480	9.800	43.920	4.200
d11 ($X_{u,dist4_{11}}$)	72.000	10.000	50.400	7.000	21.600	3.000
d12 ($X_{u,dist5_{12}}$)	134.000	20.000	93.800	14.000	40.200	6.000
d13 ($X_{u,dist5_{13}}$)	185.200	28.400	129.640	19.880	55.560	8.520
d14 ($X_{u,dist5_{14}}$)	153.600	30.000	107.520	21.000	46.080	9.000

Tedarikçiden 1. ve 2. üründen satın alınması gereken miktar sırasıyla 750.000 ve 100.000 adettir. İlk ürünün talebinden 1.036.640 adet, 2. ürün için ise 158.565 adet fazadan ürün üretilip bir sonraki dönem için stoklanması gerekmektedir. Hurda miktarı ise 1. ürün için 60.672 adet (I.tip hurda:1.125, II.tip hurda: 39.698, III.tip hurda

19.849), 2. ürün için 9.920 (I.tip hurda:150, II.tip hurda:6.514, III.tip hurda:3.256) adet olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.2 : Müşterilere gönderilen ürün miktarları.

Değişkenler	Akış Noktaları	İleri akıştaki ürün miktarı (adet)		Geri akıştaki ürün miktarı (adet)		Kayıp ürün miktarı (adet)	
		Ürün tipi		Ürün tipi		Ürün tipi	
		u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
$X_{u,dist1_1,MG1_1}$	d1,m1	30.500	2.500	21.350	1.750	9.150	750
$X_{u,dist1_1,MG1_2}$	d1,m2	16.600	1.500	11.620	1.050	4.980	450
$X_{u,dist1_2,MG1_3}$	d2,m3	28.800	2.000	20.160	1.400	8.640	600
$X_{u,dist1_2,MG1_4}$	d2,m4	14.400	1.000	10.080	700	4.320	300
$X_{u,dist1_4,MG1_5}$	d4,m5	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
$X_{u,dist1_3,MG1_6}$	d3,m6	24.500	1.500	17.150	1.050	7.350	450
$X_{u,dist2_4,MG2_7}$	d4,m7	57.600	6.000	40.320	4.200	17.280	1.800
$X_{u,dist2_6,MG2_8}$	d6,m8	38.400	4.000	26.880	2.800	11.520	1.200
$X_{u,dist2_4,MG2_9}$	d4,m9	100.800	12.000	70.560	8.400	30.240	3.600
$X_{u,dist2_5,MG2_{10}}$	d5,m10	67.200	8.000	47.040	5.600	20.160	2.400
$X_{u,dist2_5,MG2_{11}}$	d5,m11	79.200	16.000	55.440	11.200	23.760	4.800
$X_{u,dist2_6,MG2_{12}}$	d6,m12	52.800	12.000	36.960	8.400	15.840	3.600
$X_{u,dist3_8,MG3_{13}}$	d8,m13	100.800	11.500	70.560	8.050	30.240	3.450
$X_{u,dist3_{10},MG3_{14}}$	d10,m14	60.000	6.000	42.000	4.200	18.000	1.800
$X_{u,dist3_7,MG3_{15}}$	d7,m15	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
$X_{u,dist3_7,MG3_{16}}$	d7,m16	28.800	2.000	20.160	1.400	8.640	600
$X_{u,dist3_9,MG3_{17}}$	d9,m17	69.200	7.000	48.440	4.900	20.760	2.100
$X_{u,dist3_9,MG3_{18}}$	d9,m18	52.800	4.500	36.960	3.150	15.840	1.350
$X_{u,dist3_{10},MG3_{19}}$	d10,m19	86.400	8.000	60.480	5.600	25.920	2.400
$X_{u,dist3_8,MG3_{20}}$	d8,m20	38.400	3.500	26.880	2.450	11.520	1.050
$X_{u,dist4_{11},MG4_{21}}$	d11,m21	43.200	6.000	30.240	4.200	12.960	1.800
$X_{u,dist4_{11},MG4_{22}}$	d11,m22	28.800	4.000	20.160	2.800	8.640	1.200
$X_{u,dist5_{13},MG5_{23}}$	d13,m23	106.000	22.400	74.200	15.680	31.800	6.720
$X_{u,dist5_{12},MG5_{24}}$	d12,m24	86.000	16.000	60.200	11.200	25.800	4.800
$X_{u,dist5_{13},MG5_{25}}$	d13,m25	79.200	6.000	55.440	4.200	23.760	1.800
$X_{u,dist5_{12},MG5_{26}}$	d12,m26	48.000	4.000	33.600	2.800	14.400	1.200
$X_{u,dist5_{14},MG5_{27}}$	d14,m27	72.000	18.000	50.400	12.600	21.600	5.400
$X_{u,dist5_{14},MG5_{28}}$	d14,m28	81.600	12.000	57.120	8.400	24.480	3.600

7.2.2 Çok hedefli kapalı çevrim modeli

Bu bölümde, **Bölüm 7.2.1**'deki model birden çok hedef için çözülmüştür. Hedeflerden ilki maliyetin minimum kılınmasıdır. İkinci hedef ileri ve tersine ürün akışlarında taşımalarından kaynaklanan CO₂ gazı emisyonu ile ilgilidir. Üçüncü hedef ise kapalı çevrim tedarik zincirinde müşterilerden ve bölge depolarından geri toplanamayan kayıp ürün miktarının minimizasyonunu amaçlar.

Çok hedefli kapalı çevrim modelinin çözümünde, tersine lojistik ve kapalı çevrim problemlerindeki belirsizliklerle başa çıkmak için, bulanık modellemeden yararlanılmıştır. Geliştirilmiş çok hedefli model iki farklı şekilde, bulanık hedefler ve bulanık kısıtlar için ve bulanık parametreler için çözülmüştür.

7.2.2.1 Bulanık hedef ve bulanık talepli çok amaçlı KÇTZ modeli

Bu bölümde hedeflerin tümü için karar vericilerin ulaşmak istedikleri istek-erişim seviyeleri (Z_1^0, Z_2^0 ve Z_3^0) bulanık olarak ele alınmıştır. Ayrıca bölge depolarının talep kısıtı bulanık olarak değerlendirilmiştir. Bölge depolarının talep kısıtındaki bulanıklık yalnızca yeni bir ürün ($u=2$) için söz konusudur. Buna göre, çok hedefli KÇTZ modeli aşağıdaki gibidir:

Hedef 1: Toplam maliyetin minimum olması

$$\tilde{Z}_1 = TEM + TDL + T\dot{I}HM + TTM + TDEM + GT \leq Z_1^0 \text{ (Bulanık hedef)} \quad (7.103)$$

- Toplam Edinim Maliyeti (TEM):

$$\begin{aligned} TEM = & \sum_{u=1}^2 X_u^s G_{us} + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g G_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g G_u \\ & + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g G_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g G_u + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}} G_u \\ & + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g G_u \end{aligned} \quad (7.104)$$

- Toplam Dolum Maliyeti (TDL):

$$\begin{aligned}
TDL = & \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 (X_{uf_b} + X_{uf_b}^g) c_{ud} + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} c_{ud} \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g c_{ud} + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 (X_{u,dist2_l} + X_{u,dist2_l}^g) c_{ud} \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} (X_{u,dist3_m} + X_{u,dist3_m}^g) c_{ud} + \sum_{u=1}^2 (X_{u,dist4_{11}} + X_{u,dist4_{11}}^g) c_{ud} \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} (X_{u,dist5_p} + X_{u,dist5_p}^g) c_{ud} + \sum_{u=1}^2 X_{ue} c_{ud}
\end{aligned} \tag{7.105}$$

- Toplam İşleme ve Hazırlık Maliyeti (TİHM):

$$\begin{aligned}
TİHM = & c_{uat} \left[\sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g \right] \\
& + c_{uat} \left[\sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{u=1}^2 X_{ue} \right]
\end{aligned} \tag{7.106}$$

- Toplam Taşıma Maliyeti (TTM):

$$\begin{aligned}
TTM = & c \sum_{u=1}^2 X_u^s d_s + c \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 (X_{uf_b} + X_{uf_b}^g) df_b \\
& + c \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 (X_{u,dist1_j} + X_{u,dist1_j}^g) dd1_{dist1j} \\
& + c \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 (X_{u,dist2_l} + X_{u,dist2_l}^g) dd2_{dist2l} \\
& + c \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} (X_{u,dist3_m} + X_{u,dist3_m}^g) dd3_{dist3m}
\end{aligned} \tag{7.107}$$

$$\begin{aligned}
& +c \sum_{u=1}^2 (X_{u,dist4_{11}} + X_{u,dist4_{11}}^g) dd4_{dist4_{11}} \\
& +c \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} (X_{u,dist5_p} + X_{u,dist5_p}^g) dd5_{dist5_p} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^6 (X_{u,dist1_{j,MG1_i}} + X_{u,dist1_{j,MG1_i}}^g) dd_1 m_{1_{dist1_{j,MG1_i}}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 \sum_{x=7}^{12} (X_{u,dist2_l} + X_{u,dist2_l}^g) dd_2 m_{2_{dist2_l,MG2_x}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m,MG3_v} dd_3 m_{3_{dist3_m,MG3_v}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m,MG3_v}^g dd_3 m_{3_{dist3_m,MG3_v}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} (X_{u,dist4_{11,MG4_y}} + X_{u,dist4_{11,MG4_y}}^g) dd_4 m_{4_{dist4_{11,MG4_y}}} \\
& +c_a \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} \sum_{z=23}^{28} (X_{u,dist5_p,MG5_z} + X_{u,dist5_p,MG5_z}^g) dd_5 m_{5_{dist5_p,MG5_z}}
\end{aligned}$$

- Toplam Depolama Maliyeti (TDEM):

$$\begin{aligned}
TDEM &= \sum_{u=1}^2 X_u^s c_s + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 (X_{uf_b} c_{de} + X_{uf_b}^g c_{deg}) + \sum_{u=1}^2 X_u^e c_{de} \quad (7.108) \\
&+ \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 (X_{u,dist1_j} c_{de} + X_{u,dist1_j}^g c_{deg}) + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} c_{de} \\
&+ \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g c_{deg} + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} (X_{u,dist3_m} c_{de} + X_{u,dist3_m}^g c_{deg})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{u=1}^2 (X_{u,dist4_{11}} c_{de} + X_{u,dist4_{11}}^g c_{deg}) \\
& + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} (X_{u,dist5_p} c_{de} + X_{u,dist5_p}^g c_{deg})
\end{aligned}$$

- Geri toplanamayan ürün maliyeti (GT):

$$\begin{aligned}
GT = K \sum_{u=1}^2 & \left(\sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^k + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^k + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^k \right) \\
& + K \sum_{u=1}^2 \left(\sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^k + X_{u,dist4_{11}}^k + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^k \right)
\end{aligned} \quad (7.109)$$

Hedef 2: Karbondioksit (CO₂) gazı yayılımının (emisyonunun) minimizasyonu

Taşımalarda kullanılan araç tipine göre oluşturulan bu kısıtta, tedarikçiden fabrikaya olan ileri akış, fabrikadan bölge deposu ve distribütörlere ileri ve tersine akışlarda çalışan büyük araçlar için karbondioksit emisyon miktarı 84 g CO₂/ton-km (Url-4), distribütörlerden müşterilere ileri ve tersine akışlarda çalışan daha küçük araçlar için ise emisyon miktarı 62 g CO₂/ton-km olarak alınmıştır.

$$\begin{aligned}
\tilde{Z}_2 = & \left(\sum_{u=1}^2 X_u^s d_s w_u + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 (X_{uf_b} + X_{uf_b}^g) df_b w_u \right) \times 84 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 (X_{u,dist1_j} + X_{u,dist1_j}^g) dd1_{dist1j} w_u \right) \times 84 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 (X_{u,dist2_l} + X_{u,dist2_l}^g) dd2_{dist2l} w_u \right) \times 84 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} (X_{u,dist3_m} + X_{u,dist3_m}^g) dd3_{dist3m} w_u \right) \times 84 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 (X_{u,dist4_{11}} + X_{u,dist4_{11}}^g) dd4_{dist4_{11}} w_u \right) \times 84 \times 0.001
\end{aligned} \quad (7.110)$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} (X_{u,dist5p} + X_{u,dist5p}^g) dd5_{dist5p} w_u \right) \times 84 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^6 (X_{u,dist1j,MG1i} + X_{u,dist1j,MG1i}^g) dd_1 m_{1_{dist1j,MG1i}} w_u \right) \times 62 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 \sum_{x=7}^{12} (X_{u,dist2l} + X_{u,dist2l}^g) dd_2 m_{2_{dist2l,MG2x}} w_u \right) \times 62 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3m,MG3v} dd_3 m_{3_{dist3m,MG3v}} w_u \right) \times 62 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3m,MG3v}^g dd_3 m_{3_{dist3m,MG3v}} w_u \right) \times 62 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} \left(X_{u,dist4_{11},MG4y} + X_{u,dist4_{11},MG4y}^g \right) dd_4 m_{4_{dist4_{11},MG4y}} w_u \right) \times 62 \times 0.001 \\
& + \left(\sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} \sum_{z=23}^{28} \left(X_{u,dist5p,MG5z} + X_{u,dist5p,MG5z}^g \right) dd_5 m_{5_{dist5p,MG5z}} w_u \right) \times 62 \times 0.001 \lesssim Z_2^0
\end{aligned}$$

Hedef 3: KÇTZ'deki geri toplanamayan (kayıp) ürün miktarının minimum kılınması

$$\begin{aligned}
\tilde{Z}_3 &= \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^k + \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^k + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^k \\
&+ \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^k + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}}^k + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^k \lesssim Z_3^0
\end{aligned} \tag{7.111}$$

Kısıtlar

- (7.8)-(7.93)
- $X_{1fb} \leq \text{talep}_{1fb}^{\max} \quad \forall b \text{ için}$
- $X_{1fb} \geq \text{talep}_{1fb}^{\min} \quad \forall b \text{ için}$
- $\tilde{g}_b(x) = X_{2fb} \leq \text{talep}_{2fb} \quad \forall b \text{ için}$
- (7.95)-(7.102)

Model her bir hedef için deterministik kısıtlar aynı kalmak şartıyla tek tek çözülür. (5.15)-(5.16) kullanılarak elde edilen alt ve üst limitler Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3 : Üyelik fonksiyonları.

Bulanık hedefler	$\mu=0$	$\mu=1$	$\mu=0$
Z_1 (TL)	-	24.725.210	54.597.520
Z_2 (g)	-	49.372.980	92.937.470
Z_3 (adet)	-	357.470	1.136.850
Bulanık kısıt (u=2 Talep) (adet)	$\mu_l=0$	$\mu=1$	$\mu_r=0$
Bölge deposu 1	75.000	80.000	95.000
Bölge deposu 2	20.000	40.000	60.000
Bölge deposu 3	20.000	28.000	40.000

Hedefler negatif olduğundan (5.18)'de alt ve üst limitler yerine yazılarak üyelik fonksiyonları elde edilir. Benzer şekilde bulanık kısıtlar içinde (5.19)'da alt ve üst limitler yerine yazılır. Üyelik fonksiyonları hesaplandıktan sonra, bulanık model klasik doğrusal programlama modeline dönüştürülür. Tiwari vd. (1987) tarafından önerilen Ağırlıklı Toplamsal Model aşağıdaki gibidir:

Yeni amaç fonksiyonu

Yeni amaç fonksiyonundaki hedef ve kısıtların ağırlıkları (w_j, β_p) yer almaktadır. Üç karar vericinin değerlendirmeleri doğrultusunda ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiş, ve ağırlıklar bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) (Buckley, 1985) ile hesaplanmıştır. Elde edilen hedef ağırlıkları sırasıyla 0.35, 0.20 ve 0.15'tir. Kısıtların hepsi aynı önem derecesinde olup 0.10 olarak hesaplanmıştır.

$$Max \ 0.35\lambda_1 + 0.20\lambda_2 + 0.15\lambda_3 + 0.10\gamma_1 + 0.10\gamma_2 + 0.10\gamma_3 \quad (7.112)$$

Kısıtlar

1. Yeni kısıtlar: Yeni kısıtlarda Çizelge 7.3'teki veriler kullanılmış olup, (7.113-7.115) bulanık hedefler ve (7.116)-(7.121) ise bulanık kısıtlar ile ilgilidir.

$$\lambda_1 \leq \frac{(54.597.520 - Z_1)}{(54.597.520 - 24.725.210)} \quad (7.113)$$

$$\lambda_2 \leq \frac{(92.937.470 - Z_2)}{(92.937.470 - 49.372.980)} \quad (7.114)$$

$$\lambda_3 \leq \frac{(1.136.850 - Z_3)}{(1.136.850 - 357.470)} \quad (7.115)$$

$$\gamma_1 \leq \frac{(95.000 - X_{2f1})}{(95.000 - 80.000)} \quad (7.116)$$

$$\gamma_1 \leq \frac{(X_{2f1} - 75.000)}{(80.000 - 75.000)} \quad (7.117)$$

$$\gamma_2 \leq \frac{(60.000 - X_{2f2})}{(60.000 - 40.000)} \quad (7.118)$$

$$\gamma_2 \leq \frac{(X_{2f2} - 20.000)}{(40.000 - 20.000)} \quad (7.119)$$

$$\gamma_3 \leq \frac{(40.000 - X_{2f3})}{(40.000 - 28.000)} \quad (7.120)$$

$$\gamma_3 \leq \frac{(X_{2f3} - 20.000)}{(28.000 - 20.000)} \quad (7.121)$$

2. Akış kısıtı:

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir.

$$\left[\begin{array}{l} X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g \\ + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g \\ + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g + DBS_u \\ + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g \end{array} \right] \geq \left[\begin{array}{l} \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} \\ \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} + X_{u,dist4_{11}} + X_{ue} \\ + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} + X_u^h \end{array} \right] \quad (7.122)$$

$\forall u$ için

- **Distribütör ve müşterilerdeki ürün akışı**

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarına eşittir.

$$X_{u,dist1j} = \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1j,MG1i} \quad \forall j, \forall u \text{ için} \quad (7.123)$$

$$X_{u,dist2l} = \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2l,MG2x} \quad \forall l, \forall u \text{ için} \quad (7.124)$$

$$X_{u,dist3m} = \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3m,MG3v} \quad \forall m, \forall u \text{ için} \quad (7.125)$$

$$X_{u,dist4_{11}} = \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.126)$$

$$X_{u,dist5_p} = \sum_{z=23}^{28} X_{u,dist5_p,MG5_z} \quad \forall p, \forall u \text{ için} \quad (7.127)$$

- Müşterilerden distribütörlere geri gönderilen kullanılmış ürünler, distribütörlerde depolanmadan ve herhangi bir kayıp olmadan doğrudan fabrikaya iletilir.

$$X_{u,dist1j}^g = \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1j,MG1i}^g \quad \forall j, \forall u \text{ için} \quad (7.128)$$

$$X_{u,dist2l}^g = \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2l,MG2x}^g \quad \forall l, \forall u \text{ için} \quad (7.129)$$

$$X_{u,dist3m}^g = \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3m,MG3v}^g \quad \forall m, \forall u \text{ için} \quad (7.130)$$

$$X_{u,dist4_{11}}^g = \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g \quad \forall u \text{ için} \quad (7.131)$$

$$X_{u,dist5_p}^g = \sum_{z=23}^{28} X_{u,dist5_p,MG5_z}^g \quad \forall p, \forall u \text{ için} \quad (7.132)$$

○ Distribütörler ilgili müşterilere her iki tip ürünü birlikte götürmelidir.

$$X_{1,dist1_j,MG1_i} - M y1_{dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.133)$$

$$X_{2,dist1_j,MG1_i} - M y1_{dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad (7.134)$$

$$X_{1,dist2_l,MG2_x} - M y2_{dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.135)$$

$$X_{2,dist2_l,MG2_x} - M y2_{dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad (7.136)$$

$$X_{1,dist3_m,MG3_v} - M y3_{dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.137)$$

$$X_{2,dist3_m,MG3_v} - M y3_{dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad (7.138)$$

$$X_{1,dist4_{11},MG4_y} - M y4_{dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad \forall y \text{ için} \quad (7.139)$$

$$X_{2,dist4_{11},MG4_y} - M y4_{dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad (7.140)$$

$$X_{1,dist5_p,MG5_z} - M y5_{dist5_p,MG5_z} \leq 0 \quad \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.141)$$

$$X_{2,dist5_p,MG5_z} - M y5_{dist5_p,MG5_z} \leq 0 \quad (7.142)$$

○ Fabrikadan distribütörlere her iki ürün birlikte gönderilir.

$$X_{1,dist1_j} - M y6_{dist1_j} \leq 0 \quad \forall j \text{ için} \quad (7.143)$$

$$X_{2,dist1_j} - M y6_{dist1_j} \leq 0 \quad (7.144)$$

$$X_{1,dist2_l} - M y7_{dist2_l} \leq 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (7.145)$$

$$X_{2,dist2_l} - M y7_{dist2_l} \leq 0 \quad (7.146)$$

$$X_{1,dist3_m} - M y8_{dist3_m} \leq 0 \quad \forall m \text{ için} \quad (7.147)$$

$$X_{2,dist3_m} - M y8_{dist3_m} \leq 0 \quad (7.148)$$

$$X_{1,dist4_{11}} - M y9_{dist4_{11}} \leq 0 \quad (7.149)$$

$$X_{2,dist4_{11}} - M y9_{dist4_{11}} \leq 0 \quad (7.150)$$

$$X_{1,dist5_p} - M y10_{dist5_p} \leq 0 \quad \forall p \text{ için} \quad (7.151)$$

$$X_{2,dist5_p} - M y10_{dist5_p} \leq 0 \quad (7.152)$$

- Her bir distribütör grubundaki distribütör, ilgili müşteri grubunda en fazla iki müşteriye hizmet verebilir.

$$X_{u,dist1_j,MG1_i} - M y11_{dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.153)$$

$$\sum_{i=1}^6 y11_{dist1_j,MG1_i} \leq 2 \quad (7.154)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x} - M y12_{dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.155)$$

$$\sum_{x=7}^{12} y12_{dist2_l,MG2_x} \leq 2 \quad (7.156)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v} - M y13_{dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.157)$$

$$\sum_{v=13}^{20} y13_{dist3_m,MG3_v} \leq 2 \quad (7.158)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y} - M y14_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.159)$$

$$\sum_{y=21}^{22} y14_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq 2 \quad (7.160)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z} - M y15_{u,dist5_p,MG5_z} \leq 0 \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.161)$$

$$\sum_{z=23}^{28} y15_{u,dist5_p,MG5_z} \leq 2 \quad (7.162)$$

- Distribütör, bölge depoları ve müşterilere gelen ürün miktarı çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{uf_b} - X_{uf_b}^g - X_{uf_b}^k = 0 \quad \forall u, \forall b \text{ için} \quad (7.163)$$

$$X_{u,dist1_j} - X_{u,dist1_j}^g - X_{u,dist1_j}^k = 0 \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (7.164)$$

$$X_{u,dist2_l} - X_{u,dist2_l}^g - X_{u,dist2_l}^k = 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (7.165)$$

$$X_{u,dist3_m} - X_{u,dist3_m}^g - X_{u,dist3_m}^k = 0 \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (7.166)$$

$$X_{u,dist4_{11}} - X_{u,dist4_{11}}^g - X_{u,dist4_{11}}^k = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (7.167)$$

$$X_{u,dist5_p} - X_{u,dist5_p}^g - X_{u,dist5_p}^k = 0 \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (7.168)$$

$$X_{u,dist1_j,MG1_i} - X_{u,dist1_j,MG1_i}^g - X_{u,dist1_j,MG1_i}^k = 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.169)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x} - X_{u,dist2_l,MG2_x}^g - X_{u,dist2_l,MG2_x}^k = 0 \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.170)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v} - X_{u,dist3_m,MG3_v}^g - X_{u,dist3_m,MG3_v}^k = 0 \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.171)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y} - X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g - X_{u,dist4_{11},MG4_y}^k = 0 \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.172)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z} - X_{u,dist5_p,MG5_z}^g - X_{u,dist5_p,MG5_z}^k = 0 \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.173)$$

3. Hurda Kısıtı:

- **Toplam hurda miktarı**

$$X_u^h = \sum_{t=1}^3 X_u^{ht} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.174)$$

- **I. Tip hurda:** Tedarikçiden yeni temin edilen ürünlerin taşınması sırasında oluşan I. tip hurda miktarı, tedarikçiden temin edilen ürünlerin % r_{h1} 'i kadardır.

$$X_u^{h1} - r_{h1} X_u^s = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (7.175)$$

- **II. Tip hurda:** Fabrikaya geri taşınan kullanılmış ürünlerin geçtiği çeşitli aşamalarda (ayıklama, yıkama ve dolm gibi) oluşan II. tip hurda miktarı, geri toplanan ürünlerin en az % $r_{h2}^{\min}$ 'i en fazla % $r_{h2}^{\max}$ 'ı kadardır.

$$X_u^{h2} - r_{h2}^{\max} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) \leq 0 \quad (7.176)$$

$$X_u^{h2} - r_{h2}^{\min} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) \geq 0 \quad (7.177)$$

$\forall u \text{ için}$

- **III. Tip hurda:** Müşterilere ve bölge depolarına gönderilmek üzere hazırlanan ürünlerde çeşitli nedenlerle (fabrika içi ve fabrika dışı taşımalarda) kırılmalar sonucu oluşan III. tip hurda miktarı, müşterilere ve bölge depolarına gönderilen ürünlerin en az % $r_{h3}^{\min}$ 'i en fazla % $r_{h3}^{\max}$ 'ı kadardır.

$$X_u^{h3} - r_{h3}^{mak} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} + X_{u,dist4_{11}} + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} \right) \leq 0 \quad (7.178)$$

$$X_u^{h3} - r_{h3}^{min} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} + X_{u,dist4_{11}} + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} \right) \geq 0 \quad (7.179)$$

$\forall u$ için

4. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt: Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda fazla üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az % r_e^{min} i en fazla % r_e^{mak} 'ı kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$X_{ue} - r_e^{mak} \left(X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) \leq 0 \quad (7.180)$$

$$X_{ue} - r_e^{min} \left(X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) \geq 0 \quad (7.181)$$

$\forall u$ için

5. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Yıkama makinesinde yıkanan ürünler, makinenin kapasitesini aşamaz. Tedarikçiden yeni alınan ürünler t sürede, kullanılmış ürünler ise t_g sürede yıkama makinesinde yıkanır. Yıkama makinesi ayda 20 gün, günde de 8 saat çalışmaktadır.

$$\sum_{u=1}^2 X_u^s t + \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) t_g \leq 9600 \quad (7.182)$$

6. Geri toplanan ürünler ile ilgili kısıt: Distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürünlerin en az % r_g^{min} 'i , en fazla % r_g^{mak} 'ı geri toplanmaktadır.

$$X_{uf_b}^g \leq X_{uf_b} r_f^{max} \quad , \quad X_{uf_b}^g \geq X_{uf_b} r_f^{min} \quad \forall u, \forall b \text{ için} \quad (7.183)$$

$$X_{u,dist1_j}^g \leq r^{max} X_{u,dist1_j} \quad , \quad X_{u,dist1_j}^g \geq r^{min} X_{u,dist1_j} \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (7.184)$$

$$X_{u,dist2_l}^g \leq r^{max} X_{u,dist2_l} \quad , \quad X_{u,dist2_l}^g \geq r^{min} X_{u,dist2_l} \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (7.185)$$

$$X_{u,dist3_m}^g \leq r^{max} X_{u,dist3_m} \quad , \quad X_{u,dist3_m}^g \geq r^{min} X_{u,dist3_m} \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (7.186)$$

$$X_{u,dist4_{11}}^g \leq r^{max} X_{u,dist4_{11}} \quad , \quad X_{u,dist4_{11}}^g \geq r^{min} X_{u,dist4_{11}} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.187)$$

$$X_{u,dist5_p}^g \leq r^{max} X_{u,dist5_p} \quad , \quad X_{u,dist5_p}^g \geq r^{min} X_{u,dist5_p} \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (7.188)$$

$$X_{u,dist1_j,MG1_i}^g \leq r^{max} X_{u,dist1_j,MG1_i} \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.189)$$

$$X_{u,dist1_j,MG1_i}^g \geq r^{min} X_{u,dist1_j,MG1_i} \quad (7.190)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x}^g \leq r^{max} X_{u,dist2_l,MG2_x} \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.191)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x}^g \geq r^{min} X_{u,dist2_l,MG2_x} \quad (7.192)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v}^g \leq r^{max} X_{u,dist3_m,MG3_v} \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.193)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v}^g \geq r^{min} X_{u,dist3_m,MG3_v} \quad (7.194)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g \leq r^{max} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.195)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g \geq r^{min} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \quad (7.196)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z}^g \leq r^{max} X_{u,dist5_p,MG5_z} \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.197)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z}^g \geq r^{min} X_{u,dist5_p,MG5_z} \quad (7.198)$$

7. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütörden ve bölge depolarından geri toplanmış ürünler, depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\left[\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{u f_b}^g \right] \leq Kap_{depo} A^e \quad (7.199)$$

- Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilecek olan ürünlerin miktarı, depoda tutulduğu ilgili bölümün kapasitesini aşamaz.

$$\left[\sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{u f_b} \right] \leq Kap_{depo} A^c \quad (7.200)$$

- Toplam hurda miktarı, hurda deposunun kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 X_u^h \leq Kap_h \quad (7.201)$$

8. Tedarikçi kısıtı: Tedarikçiden temin edilecek yeni ürünler, en az $Mins_u$ en fazla $Maxs_u$ kadar olabilir.

$$X_u^s \leq Maxs_u \quad , \quad X_u^s \geq Mins_u \quad \forall u \text{ için} \quad (7.202)$$

9. Talep kısıtı: Müşterilerin ve bölge depolarının ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j,MG1i} \geq talepd_1 m_{1,dist1j,MG1i} \quad \forall u, \forall i \text{ için} \quad (7.203)$$

$$\sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l,MG2x} \geq talepd_2 m_{2,dist2l,MG2x} \quad \forall u, \forall x \text{ için} \quad (7.204)$$

$$\sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m,MG3v} \geq talepd_3 m_{3,dist3m,MG3v} \quad \forall u, \forall v \text{ için} \quad (7.205)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4y} \geq talepd_4 m_{4,dist4_{11},MG4y} \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.206)$$

$$\sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p,MG5z} \geq talepd_5 m_{5,dist5p,MG5z} \quad \forall u, \forall z \text{ için} \quad (7.207)$$

$$X_{1fb} \leq talep_{1fb}^{max} \quad , \quad X_{1fb} \geq talep_{1fb}^{min} \quad \forall b \text{ için} \quad (7.208)$$

10. Distribütör kapasitesi kısıtı:

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1j,MG1i} \leq Kap_{dist1j} \quad \forall j \text{ için} \quad (7.209)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2l,MG2x} \leq Kap_{dist2l} \quad \forall l \text{ için} \quad (7.210)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3m,MG3v} \leq Kap_{dist3m} \quad \forall m \text{ için} \quad (7.211)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq Kap_{dist4_{11}} \quad (7.212)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=23}^{28} X_{u,dist5_p,MG5_z} \leq Kap_{dist5_p} \quad \forall p \text{ için} \quad (7.213)$$

- Birden çok bölgeye hizmet veren distribütörlerin (d4, d11) kapasiteleri, talebi karşılayacak büyüklüktedir.

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1_4,MG1_i} + \sum_{u=1}^2 \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2_4,MG2_x} \leq Kap_{dist2_4} \quad (7.214)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_{11},MG3_v} + \sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq Kap_{dist4_{11}} \quad (7.215)$$

11. Diğer kısıtlar:

$$X_u^s, X_{u,dist1_j}, X_{u,dist1_j}^g, X_{u,dist1_j}^k, X_{u,dist2_l}, X_{u,dist2_l}^g, X_{u,dist2_l}^k \geq 0 \quad (7.216)$$

$$X_{u,dist3_m}, X_{u,dist3_m}^g, X_{u,dist3_m}^k, X_{u,dist4_{11}}, X_{u,dist4_{11}}^g, X_{u,dist4_{11}}^k, X_{u,dist5_p} \geq 0$$

$$X_{u,dist5_p}^g, X_{u,dist5_p}^k, X_{u,dist1_j,MG1_i}, X_{u,dist1_j,MG1_i}^g, X_{u,dist1_j,MG1_i}^k \geq 0$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x}, X_{u,dist2_l,MG2_x}^g, X_{u,dist2_l,MG2_x}^k, X_{u,dist3_m,MG3_v}, X_{u,dist3_m,MG3_v}^g \geq 0$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v}^k, X_{u,dist4_{11},MG4_y}, X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g, X_{u,dist4_{11},MG4_y}^k, X_{u,dist5_p,MG5_z} \geq 0$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z}^g, X_{u,dist5_p,MG5_z}^k, X_{uf_b}, X_{uf_b}^g, X_{uf_b}^k, X_{ue}, X_u^{ht}, X_u^h \geq 0$$

$$y_{1,dist1_j,MG1_i}, y_{2,dist2_l,MG2_x}, y_{3,dist3_m,MG3_v}, y_{4,dist4_{11},MG4_y}, y_{5,dist5_p,MG5_z} \in \{0,1\}$$

$$y_{6,dist1_j}, y_{7,dist2_l}, y_{8,dist3_m}, y_{9,dist4_{11}}, y_{10,dist5_p}, y_{11,dist1_j,MG1_i} \in \{0,1\}$$

$$y_{12,dist2_l,MG2_x}, y_{13,dist3_m,MG3_v}, y_{14,u,dist4_{11},MG4_y}, y_{15,u,dist5_p,MG5_z} \in \{0,1\}$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \in [0,1]$$

Modelin sonucunda; toplam edinim maliyeti 603.704,200 TL, toplam dolum maliyeti 14.892.920 TL, toplam işleme ve hazırlık maliyeti 11.408,840 TL, toplam taşıma maliyeti 10.532.770 TL, toplam depolama maliyeti 168.340,149 TL ve toplam kayıp ürün maliyeti 32.383 TL olarak hesaplanmıştır. Böylece toplam maliyet olarak 26.241.520 TL bulunur. Taşımalar nedeniyle çevreye yayılan toplam CO₂ miktarı ise yaklaşık 54,7 ton'dur. KÇTZ'ndeki toplam kayıp ürün miktarı 647.660 adettir.

Çok amaçlı KÇTZ modelinin amaç fonksiyonu 0,902 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle belirsizlikler altında elde ettiğimiz bu değerlerin olabilirliği 0,902'tür. Bulanık hedeflerin başarıma dereceleri (λ_j) sırasıyla 0,949; 0,877 ve 0,628'dür. Bulanık kısıtların başarıma derecesi (γ_p) ise 1.0 olarak hesaplanmıştır. Modelin çözümleri Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.4 : Bulanık hedef ve kısıtlı model için distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürün miktarları.

Bölge deposu/Distribütör	İleri akıştaki ürün miktarı (adet)		Geri akıştaki ürün miktarı (adet)		Kayıp ürün miktarı (adet)	
	Ürün tipi		Ürün tipi		Ürün tipi	
Bölge deposu	u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
Bölge deposu 1(X_{uf_1})	192.000	80.000	153.600	52.000	38.400	28.000
Bölge deposu 2 (X_{uf_2})	72.000	40.000	46.800	26.000	25.200	14.000
Bölge deposu 3 (X_{uf_3})	72.000	28.000	57.600	18.200	14.400	9.800
Distribütör	u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
d1 ($X_{u,dist1_1}$)	47.100	4.000	32.970	2.800	14.130	1.200
d2 ($X_{u,dist1_2}$)	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
d3 ($X_{u,dist1_3}$)	24.500	1.500	17.150	1.050	7.350	450
d4 ($X_{u,dist1_4} + X_{u,dist2_4}$)	182.400	19.000	127.680	15.100	54.720	3.900
d5 ($X_{u,dist2_5}$)	136.800	22.000	95.760	15.400	41.040	6.600
d6 ($X_{u,dist2_6}$)	120.000	20.000	84.000	15.200	36.000	4.800
d7 ($X_{u,dist3_7}$)	122.000	11.500	85.400	8.050	36.600	3.450
d8 ($X_{u,dist3_8}$)	144.000	14.500	100.800	10.150	43.200	4.350
d9 ($X_{u,dist3_9}$)	28.800	2.000	20.160	1.400	8.640	600
d10 ($X_{u,dist3_{10}}$)	86.400	8.000	60.480	5.600	25.920	2.400
d11 ($X_{u,dist4_{11}}$)	170.400	19.500	119.280	13.650	51.120	5.850
d12 ($X_{u,dist5_{12}}$)	158.000	34.000	110.600	23.800	47.400	10.200
d13 ($X_{u,dist5_{13}}$)	187.600	34.400	131.320	25.880	56.280	8.520
d14 ($X_{u,dist5_{14}}$)	127.200	10.000	100.920	7.000	26.280	3.000

Tedarikçiden 1. ve 2. üründen satın alınması gereken miktar sırasıyla 750.000 ve 100.000 adettir. İlk ürünün talebinden 1.062.380 adet, 2. ürün için ise 171.690 adet fazadan ürün üretilip bir sonraki dönem için stoklanması gerektiği hesaplanmıştır.

Çizelge 7.5 : Bulanık hedef ve kısıtlı model için müşterilere gönderilen ürün miktarları.

Değişkenler	Akış Noktaları	İleri akıştaki ürün miktarı (adet)		Geri akıştaki ürün miktarı (adet)		Kayıp ürün miktarı (adet)	
		Ürün tipi		Ürün tipi		Ürün tipi	
		u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
$X_{u,dist1_1,MG1_1}$	d1,m1	30.500	2.500	21.350	1.750	9.150	750
$X_{u,dist1_1,MG1_2}$	d1,m2	16.600	1.500	11.620	1.050	4.980	450
$X_{u,dist1_2,MG1_3}$	d2,m3	28.800	2.000	20.160	1.400	8.640	600
$X_{u,dist1_2,MG1_4}$	d2,m4	14.400	1.000	10.080	700	4.320	300
$X_{u,dist1_4,MG1_5}$	d4,m5	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
$X_{u,dist1_3,MG1_6}$	d3,m6	24.500	1.500	17.150	1.050	7.350	450
$X_{u,dist2_5,MG2_7}$	d5,m7	57.600	6.000	40.320	4.200	17.280	1.800
$X_{u,dist2_4,MG2_8}$	d4,m8	38.400	4.000	26.880	2.800	11.520	1.200
$X_{u,dist2_4,MG2_9}$	d4,m9	100.800	12.000	70.560	10.200	30.240	1.800
$X_{u,dist2_6,MG2_{10}}$	d6,m10	67.200	8.000	47.040	6.800	20.160	1.200
$X_{u,dist2_5,MG2_{11}}$	d5,m11	79.200	16.000	55.440	11.200	23.760	4.800
$X_{u,dist2_6,MG2_{12}}$	d6,m12	52.800	12.000	36.960	8.400	15.840	3.600
$X_{u,dist3_8,MG3_{13}}$	d8,m13	100.800	11.500	70.560	8.050	30.240	3.450
$X_{u,dist3_{11},MG3_{14}}$	d11,m14	60.000	6.000	42.000	4.200	18.000	1.800
$X_{u,dist3_8,MG3_{15}}$	d8,m15	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
$X_{u,dist3_9,MG3_{16}}$	d9,m16	28.800	2.000	20.160	1.400	8.640	600
$X_{u,dist3_7,MG3_{17}}$	d7,m17	69.200	7.000	48.440	4.900	20.760	2.100
$X_{u,dist3_7,MG3_{18}}$	d7,m18	52.800	4.500	36.960	3.150	15.840	1.350
$X_{u,dist3_{10},MG3_{19}}$	d10,m19	86.400	8.000	60.480	5.600	25.920	2.400
$X_{u,dist3_{11},MG3_{20}}$	d11,m20	38.400	3.500	26.880	2.450	11.520	1.050
$X_{u,dist4_{11},MG4_{21}}$	d11,m21	43.200	6.000	30.240	4.200	12.960	1.800
$X_{u,dist4_{11},MG4_{22}}$	d11,m22	28.800	4.000	20.160	2.800	8.640	1.200
$X_{u,dist5_{13},MG5_{23}}$	d13,m23	106.000	22.400	74.200	15.680	31.800	6.720
$X_{u,dist5_{12},MG5_{24}}$	d12,m24	86.000	16.000	60.200	11.200	25.800	4.800
$X_{u,dist5_{14},MG5_{25}}$	d14,m25	79.200	6.000	67.320	4.200	11.880	1.800
$X_{u,dist5_{14},MG5_{26}}$	d14,m26	48.000	4.000	33.600	2.800	14.400	1.200
$X_{u,dist5_{12},MG5_{27}}$	d12,m27	72.000	18.000	50.400	12.600	21.600	5.400
$X_{u,dist5_{13},MG5_{28}}$	d13,m28	81.600	12.000	57.120	10.200	24.480	1.800

Hurda miktarı ise 1. ürün için 62.985 adet (I.tip hurda:1.125, II.tip hurda:41.240, III.tip hurda 20.620), 2. ürün için 11.100 (I.tip hurda:150, II.tip hurda:7.300, III.tip hurda:3.650) adettir.

7.2.2.2 Bulanık talep ve bulanık geri dönüşüm oranlı çok amaçlı KÇTZ modeli

Bu bölümde müşterilerden toplanan kullanılmış ürünlerin geri dönüş oranlarındaki belirsizlik dikkate alınmıştır. Geri dönüş oranlarında her yıl düşüş gözlenmektedir. Bu yıl müşterilerden toplanan kullanılmış her iki ürün için geri dönüş oranının yaklaşık %80 ($d_i = -\%5$) olacağı düşünülmektedir.

Modelde ayrıca bölge depolarına gönderilen ikinci ürünün ($u=2$) talebindeki belirsizlik ele alınmıştır. Söz konusu ürünün talebinin 4.000 adet (tolerans miktarı) artabileceği göz önüne alınmıştır.

Deterministik kısıtlar aynı kalmak şartıyla her bir hedef için model, sadece teknolojik katsayı (geri dönüş oranında), sadece sağ taraf değeri (talep), hem teknolojik katsayı hem de sağ taraf değerinde değişiklik olduğu durumlarda ve modelde hiçbir değişikliğin olmadığı durum için tek tek çözülür. Çizelge 7.6'da her bir hedefin çözüm değerleri ve alt-üst limitleri verilmiştir.

Çizelge 7.6 : Hedeflerin çözüm değerleri ve alt (z_l) - üst (z_u) limitleri.

	Hedef 1 (TL)	Hedef 2 (g)	Hedef 3 (adet)
Hiçbir değişiklik yokken	24.725.210	49.372.980	357.470
$d_i = -0,05$ için	24.725.210	49.372.980	446.560
$p_i=4.000$ için	25.228.730	51.209.790	362.270
$d_i = -0,05$ ve $p_i=4.000$ için	25.228.730	51.209.790	451.360
z_u	25.228.730	51.209.790	451.360
z_l	24.725.210	49.372.980	357.470

Hedefler için alt ve üst limitler elde edildikten sonra, hedeflerin ve kısıtların üyelik fonksiyonları yeni kısıt olarak modele eklenir. Böylece bulanık model klasik doğrusal programlama modeline dönüştürülür. Yeni oluşturulan bulanık modele eş değer doğrusal model aşağıdaki gibidir:

Amaç fonksiyonu

Bu yaklaşımda hedef ve kısıtlar için ortak bir başarıma derecesine (λ) ulaşılmaya çalışılır. Amaç, başarıma derecesinin maksimum kılınmasıdır.

$$Mak \lambda \quad (7.217)$$

Kısıtlar

1. Yeni kısıtlar:

- Yeni kısıtlar için Çizelge 7.6'daki her bir hedef için üst ve alt limitler verileri kullanılmış olup, (7.218-7.220) bulanık hedefler ile ilgilidir.

$$\lambda (25.228.730-24.725.210)-Z_1+24.725.210 \leq 0 \quad (7.218)$$

$$\lambda (51.209.790-49.372.980)-Z_2+49.372.980 \leq 0 \quad (7.219)$$

$$\lambda (451.360-357.470)-Z_3+357.470 \leq 0 \quad (7.220)$$

- Bulanık geri dönüşüm oranı ilgili kısıtlar (7.221-7.230) gibi düzenlenir.

$$X_{u,dist1_j}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist1_j} \leq 0 \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (7.221)$$

$$X_{u,dist2_l}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist2_l} \leq 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (7.222)$$

$$X_{u,dist3_m}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist3_m} \leq 0 \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (7.223)$$

$$X_{u,dist4_n}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist4_n} \leq 0 \quad \forall u, \forall n \text{ için} \quad (7.224)$$

$$X_{u,dist5_p}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist5_p} \leq 0 \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (7.225)$$

$$X_{u,dist1_j,MG1_i}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.226)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.227)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.228)$$

$$X_{u,dist4_n,MG4_y}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist4_n,MG4_y} \leq 0 \quad \forall u, \forall n, \forall y \text{ için} \quad (7.229)$$

$$X_{u,dist5p,MG5z}^g - (r^{max} - 0,05\lambda) X_{u,dist5p,MG5z} \leq 0 \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.230)$$

- Bulanık talep ile ilgili kısıt ise (7.231)'deki gibidir.

$$X_{2fb} \geq \text{talep}_{2fb}^{\min} + 4.000\lambda \quad \forall b \text{ için} \quad (7.231)$$

2. Akış kısıtı:

- **Fabrikadaki ürün akışı:** Fabrikadaki tüm ileri ve geri ürün akışlarını içerir.

$$\left[\begin{array}{l} X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^g \\ + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g \\ + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g + DBS_u \\ + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^g \end{array} \right] \geq \left[\begin{array}{l} \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l} \\ \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m} + X_{u,dist4_{11}} + X_{ue} \\ + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} + X_u^h \end{array} \right] \quad (7.232)$$

$\forall u$ için

- **Distribütör ve müşterilerdeki ürün akışı**

- Distribütörlere gönderilen miktarı, müşterilere gönderilmesi gereken toplam ürün miktarına eşittir.

$$X_{u,dist1j} = \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1j,MG1_i} \quad \forall j, \forall u \text{ için} \quad (7.233)$$

$$X_{u,dist2l} = \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2l,MG2_x} \quad \forall l, \forall u \text{ için} \quad (7.234)$$

$$X_{u,dist3m} = \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3m,MG3_v} \quad \forall m, \forall u \text{ için} \quad (7.235)$$

$$X_{u,dist4_{11}} = \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.236)$$

$$X_{u,dist5_p} = \sum_{z=23}^{28} X_{u,dist5_p,MG5_z} \quad \forall p, \forall u \text{ için} \quad (7.237)$$

- Müşterilerden distribütörlere geri gönderilen kullanılmış ürünler, distribütörlerde depolanmadan ve herhangi bir kayıp olmadan doğrudan fabrikaya iletilir.

$$X_{u,dist1_j}^g = \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1_j,MG1_i}^g \quad \forall j, \forall u \text{ için} \quad (7.238)$$

$$X_{u,dist2_l}^g = \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2_l,MG2_x}^g \quad \forall l, \forall u \text{ için} \quad (7.239)$$

$$X_{u,dist3_m}^g = \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m,MG3_v}^g \quad \forall m, \forall u \text{ için} \quad (7.240)$$

$$X_{u,dist4_{11}}^g = \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g \quad \forall u \text{ için} \quad (7.241)$$

$$X_{u,dist5_p}^g = \sum_{z=23}^{28} X_{u,dist5_p,MG5_z}^g \quad \forall p, \forall u \text{ için} \quad (7.242)$$

- Distribütörler ilgili müşterilere her iki tip ürünü birlikte götürmelidir.

$$X_{1,dist1_j,MG1_i} - M y1_{dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.243)$$

$$X_{2,dist1_j,MG1_i} - M y1_{dist1_j,MG1_i} \leq 0 \quad (7.244)$$

$$X_{1,dist2_l,MG2_x} - M y2_{dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.245)$$

$$X_{2,dist2_l,MG2_x} - M y2_{dist2_l,MG2_x} \leq 0 \quad (7.246)$$

$$X_{1,dist3_m,MG3_v} - M y3_{dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.247)$$

$$X_{2,dist3_m,MG3_v} - M y3_{dist3_m,MG3_v} \leq 0 \quad (7.248)$$

$$X_{1,dist4_{11},MG4_y} - M y4_{dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad \forall y \text{ için} \quad (7.249)$$

$$X_{2,dist4_{11},MG4_y} - M y4_{dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad (7.250)$$

$$X_{1,dist5_p,MG5_z} - M y5_{dist5_p,MG5_z} \leq 0 \quad \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.251)$$

$$X_{2,dist5_p,MG5_z} - M y5_{dist5_p,MG5_z} \leq 0 \quad (7.252)$$

○ Fabrikadan distribütörlere her iki ürün birlikte gönderilir.

$$X_{1,dist1_j} - M y6_{dist1_j} \leq 0 \quad \forall j \text{ için} \quad (7.253)$$

$$X_{2,dist1_j} - M y6_{dist1_j} \leq 0 \quad (7.254)$$

$$X_{1,dist2_l} - M y7_{dist2_l} \leq 0 \quad \forall l \text{ için} \quad (7.255)$$

$$X_{2,dist2_l} - M y7_{dist2_l} \leq 0 \quad (7.256)$$

$$X_{1,dist3_m} - M y8_{dist3_m} \leq 0 \quad \forall m \text{ için} \quad (7.257)$$

$$X_{2,dist3_m} - M y8_{dist3_m} \leq 0 \quad (7.258)$$

$$X_{1,dist4_{11}} - M y9_{dist4_{11}} \leq 0 \quad (7.259)$$

$$X_{2,dist4_{11}} - M y9_{dist4_{11}} \leq 0 \quad (7.260)$$

$$X_{1,dist5_p} - M y10_{dist5_p} \leq 0 \quad \forall p \text{ için} \quad (7.261)$$

$$X_{2,dist5p} - M y10_{dist5p} \leq 0 \quad (7.262)$$

- Her bir distribütör grubundaki distribütör, ilgili müşteri grubunda en fazla iki müşteriye hizmet verebilir.

$$X_{u,dist1j,MG1i} - M y11_{dist1j,MG1i} \leq 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.263)$$

$$\sum_{i=1}^6 y11_{dist1j,MG1i} \leq 2 \quad (7.264)$$

$$X_{u,dist2l,MG2x} - M y12_{dist2l,MG2x} \leq 0 \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.265)$$

$$\sum_{x=7}^{12} y12_{dist2l,MG2x} \leq 2 \quad (7.266)$$

$$X_{u,dist3m,MG3v} - M y13_{dist3m,MG3v} \leq 0 \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.267)$$

$$\sum_{v=13}^{20} y13_{dist3m,MG3v} \leq 2 \quad (7.268)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y} - M y14_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq 0 \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.269)$$

$$\sum_{y=21}^{22} y14_{u,dist4_{11},MG4_y} \leq 2 \quad (7.270)$$

$$X_{u,dist5p,MG5_z} - M y15_{u,dist5p,MG5_z} \leq 0 \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.271)$$

$$\sum_{z=23}^{28} y15_{u,dist5p,MG5_z} \leq 2 \quad (7.272)$$

- Distribütör, bölge depoları ve müşterilere gelen ürün miktarı çıkan ürün miktarına eşittir.

$$X_{ufb} - X_{ufb}^g - X_{ufb}^k = 0 \quad \forall u, \forall b \text{ için} \quad (7.273)$$

$$X_{u,dist1j} - X_{u,dist1j}^g - X_{u,dist1j}^k = 0 \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (7.274)$$

$$X_{u,dist2_l} - X_{u,dist2_l}^g - X_{u,dist2_l}^k = 0 \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (7.275)$$

$$X_{u,dist3_m} - X_{u,dist3_m}^g - X_{u,dist3_m}^k = 0 \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (7.276)$$

$$X_{u,dist4_{11}} - X_{u,dist4_{11}}^g - X_{u,dist4_{11}}^k = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (7.277)$$

$$X_{u,dist5_p} - X_{u,dist5_p}^g - X_{u,dist5_p}^k = 0 \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (7.278)$$

$$X_{u,dist1_j,MG1_i} - X_{u,dist1_j,MG1_i}^g - X_{u,dist1_j,MG1_i}^k = 0 \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.279)$$

$$X_{u,dist2_l,MG2_x} - X_{u,dist2_l,MG2_x}^g - X_{u,dist2_l,MG2_x}^k = 0 \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.280)$$

$$X_{u,dist3_m,MG3_v} - X_{u,dist3_m,MG3_v}^g - X_{u,dist3_m,MG3_v}^k = 0 \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.281)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y} - X_{u,dist4_{11},MG4_y}^g - X_{u,dist4_{11},MG4_y}^k = 0 \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.282)$$

$$X_{u,dist5_p,MG5_z} - X_{u,dist5_p,MG5_z}^g - X_{u,dist5_p,MG5_z}^k = 0 \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.283)$$

3. Hurda Kısıtı:

- **Toplam hurda miktarı**

$$X_u^h = \sum_{t=1}^3 X_u^{ht} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.284)$$

- **I. Tip hurda:** Tedarikçiden yeni temin edilen ürünlerin taşınması sırasında oluşan I. tip hurda miktarı, tedarikçiden temin edilen ürünlerin $\%r_{h1}$ 'i kadardır.

$$X_u^{h1} - r_{h1} X_u^s = 0 \quad \forall u \text{ için} \quad (7.285)$$

- **II. Tip hurda:** Fabrikaya geri taşınan kullanılmış ürünlerin geçtiği çeşitli aşamalarda (ayıklama, yıkama ve dolum gibi) oluşan II. tip hurda miktarı, geri toplanan ürünlerin en az $\% r_{h2}^{\min}$ 'i en fazla $\% r_{h2}^{\max}$ 'ı kadardır.

$$X_u^{h2} - r_{h2}^{mak} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) \leq 0 \quad (7.286)$$

$$X_u^{h2} - r_{h2}^{min} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \right) \geq 0 \quad (7.287)$$

$\forall u$ için

- **III. Tip hurda:** Müşterilere ve bölge depolarına gönderilmek üzere hazırlanan ürünlerde çeşitli nedenlerle (fabrika içi ve fabrika dışı taşımalarda) kırılmalar sonucu oluşan III. tip hurda miktarı, müşterilere ve bölge depolarına gönderilen ürünlerin en az % r_{h3}^{min} 'i en fazla % r_{h3}^{mak} 'ı kadardır.

$$X_u^{h3} - r_{h3}^{mak} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l} + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m} + X_{u,dist4_{11}} + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} \right) \leq 0 \quad (7.288)$$

$$X_u^{h3} - r_{h3}^{min} \left(\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1j} + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2l} + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3m} + X_{u,dist4_{11}} + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5p} + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b} \right) \geq 0 \quad (7.289)$$

$\forall u$ için

- 4. Talepten fazla ürün üretmeyle ilgili kısıt:** Fabrikanın belirlemiş olduğu sınırlarda fazla üretim olmalıdır. Doluma giden ürünlerin en az % r_e^{min} 'i en fazla % r_e^{mak} 'ı kadar fazla ürün üretilmelidir.

$$X_{ue} - r_e^{mak} \left(\begin{array}{c} X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g \\ + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \end{array} \right) \leq 0 \quad (7.290)$$

$$X_{ue} - r_e^{min} \left(\begin{array}{c} X_u^s + \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g \\ + X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \end{array} \right) \geq 0 \quad (7.291)$$

$\forall u$ için

5. Yıkama makinesi kapasite kısıtı: Yıkama makinesinde yıkanan ürünler, makinenin kapasitesini aşamaz. Tedarikçiden yeni alınan ürünler t sürede, kullanılmış ürünler ise t_g sürede yıkama makinesinde yıkanır. Yıkama makinesi ayda 20 gün, günde de 8 saat çalışmaktadır.

$$\sum_{u=1}^2 X_u^s t + \left(\begin{array}{c} \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g \\ + \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g + X_{u,dist4_{11}}^g \\ + \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{b=1}^3 X_{uf_b}^g \end{array} \right) t_g \leq 9600 \quad (7.292)$$

6. Geri toplanan ürünler ile ilgili kısıt: Distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürünlerin en az % r_g^{min} 'i, en fazla % r_g^{mak} 'ı geri toplanmaktadır.

$$X_{uf_b}^g \leq X_{uf_b} r_f^{max}, \quad X_{uf_b}^g \geq X_{uf_b} r_f^{min} \quad \forall u, \forall b \text{ için} \quad (7.293)$$

$$X_{u,dist1_j}^g \geq r^{min} X_{u,dist1_j} \quad \forall u, \forall j \text{ için} \quad (7.294)$$

$$X_{u,dist2_l}^g \geq r^{min} X_{u,dist2_l} \quad \forall u, \forall l \text{ için} \quad (7.295)$$

$$X_{u,dist3_m}^g \geq r^{min} X_{u,dist3_m} \quad \forall u, \forall m \text{ için} \quad (7.296)$$

$$X_{u,dist4_{11}}^g \geq r^{min} X_{u,dist4_{11}} \quad \forall u \text{ için} \quad (7.297)$$

$$X_{u,dist5_p}^g \geq r^{min} X_{u,dist5_p} \quad \forall u, \forall p \text{ için} \quad (7.298)$$

$$X_{u,dist1_j, MG1_i}^g \geq r^{min} X_{u,dist1_j, MG1_i} \quad \forall u, \forall j, \forall i \text{ için} \quad (7.299)$$

$$X_{u,dist2_l, MG2_x}^g \geq r^{min} X_{u,dist2_l, MG2_x} \quad \forall u, \forall l, \forall x \text{ için} \quad (7.300)$$

$$X_{u,dist3_m, MG3_v}^g \geq r^{min} X_{u,dist3_m, MG3_v} \quad \forall u, \forall m, \forall v \text{ için} \quad (7.301)$$

$$X_{u,dist4_{11}, MG4_y}^g \geq r^{min} X_{u,dist4_{11}, MG4_y} \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.302)$$

$$X_{u,dist5_p, MG5_z}^g \geq r^{min} X_{u,dist5_p, MG5_z} \quad \forall u, \forall p, \forall z \text{ için} \quad (7.303)$$

7. Depo kapasitesi kısıtı:

- Distribütörden ve bölge depolarından geri toplanmış ürünler, depoda tutuldukları ilgili yerin kapasitesini aşamaz.

$$\left[\begin{aligned} & \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m}^g \\ & + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p}^g + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{u,f_b}^g \end{aligned} \right] \leq Kap_{depo} A^e \quad (7.304)$$

- Distribütör, bayi ve bölge depolarına gönderilecek olan ürünlerin miktarı, depoda tutulduğu ilgili bölümün kapasitesini aşamaz.

$$\left[\begin{aligned} & \sum_{u=1}^2 \sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j} + \sum_{u=1}^2 \sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l} + \sum_{u=1}^2 \sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m} \\ & + \sum_{u=1}^2 X_{u,dist4_{11}} + \sum_{u=1}^2 \sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p} + \sum_{u=1}^2 \sum_{b=1}^3 X_{u,f_b} \end{aligned} \right] \leq Kap_{depo} A^c \quad (7.305)$$

- Toplam hurda miktarı, hurda deposunun kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 X_u^h \leq Kap_h \quad (7.306)$$

8. Tedarikçi kısıtı: Tedarikçiden temin edilecek yeni ürünler, en az $Mins_u$ en fazla $Maxs_u$ kadar olabilir.

$$X_u^s \leq Maxs_u \quad , \quad X_u^s \geq Mins_u \quad \forall u \text{ için} \quad (7.307)$$

9. Talep kısıtı: Müşterilerin ve bölge depolarının ürüne olan gereksinimi karşılanmalıdır.

$$\sum_{j=1}^4 X_{u,dist1_j,MG1_i} \geq talepd_1 m_{1_{dist1_j,MG1_i}} \quad \forall u, \forall i \text{ için} \quad (7.308)$$

$$\sum_{l=4}^6 X_{u,dist2_l,MG2_x} \geq talepd_2 m_{2_{dist2_l,MG2_x}} \quad \forall u, \forall x \text{ için} \quad (7.309)$$

$$\sum_{m=7}^{11} X_{u,dist3_m,MG3_v} \geq talepd_3 m_{3_{dist3_m,MG3_v}} \quad \forall u, \forall v \text{ için} \quad (7.310)$$

$$X_{u,dist4_{11},MG4_y} \geq talepd_4 m_{4_{dist4_{11},MG4_y}} \quad \forall u, \forall y \text{ için} \quad (7.311)$$

$$\sum_{p=12}^{14} X_{u,dist5_p,MG5_z} \geq talepd_5 m_{5_{dist5_p,MG5_z}} \quad \forall u, \forall z \text{ için} \quad (7.312)$$

$$X_{1fb} \leq talep_{1fb}^{max} \quad , \quad X_{1fb} \geq talep_{1fb}^{min} \quad \forall b \text{ için} \quad (7.313)$$

$$X_{2fb} \leq talep_{2fb}^{max} \quad (7.314)$$

10. Distribütör kapasitesi kısıtı:

- Distribütörlere gönderilen ürün miktarı, distribütörlerin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1_j,MG1_i} \leq Kap_{dist1_j} \quad \forall j \text{ için} \quad (7.315)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2_l, MG2_x} \leq Kap_{dist2_l} \quad \forall l \text{ için} \quad (7.316)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_m, MG3_v} \leq Kap_{dist3_m} \quad \forall m \text{ için} \quad (7.317)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11}, MG4_y} \leq Kap_{dist4_{11}} \quad (7.318)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=23}^{28} X_{u,dist5_p, MG5_z} \leq Kap_{dist5_p} \quad \forall p \text{ için} \quad (7.319)$$

- Birden çok bölgeye hizmet veren distribütörlerin (d4, d11) kapasiteleri, talebi karşılayacak büyüklüktedir.

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{i=1}^6 X_{u,dist1_4, MG1_i} + \sum_{u=1}^2 \sum_{x=7}^{12} X_{u,dist2_4, MG2_x} \leq Kap_{dist2_4} \quad (7.320)$$

$$\sum_{u=1}^2 \sum_{v=13}^{20} X_{u,dist3_{11}, MG3_v} + \sum_{u=1}^2 \sum_{y=21}^{22} X_{u,dist4_{11}, MG4_y} \leq Kap_{dist4_{11}} \quad (7.321)$$

11. Diğer kısıtlar:

$$X_u^s, X_{u,dist1_j}, X_{u,dist1_j}^g, X_{u,dist1_j}^k, X_{u,dist2_l}, X_{u,dist2_l}^g, X_{u,dist2_l}^k \geq 0 \quad (7.322)$$

$$X_{u,dist3_m}, X_{u,dist3_m}^g, X_{u,dist3_m}^k, X_{u,dist4_{11}}, X_{u,dist4_{11}}^g, X_{u,dist4_{11}}^k, X_{u,dist5_p} \geq 0$$

$$X_{u,dist5_p}^g, X_{u,dist5_p}^k, X_{u,dist1_j, MG1_i}, X_{u,dist1_j, MG1_i}^g, X_{u,dist1_j, MG1_i}^k \geq 0$$

$$X_{u,dist2_l, MG2_x}, X_{u,dist2_l, MG2_x}^g, X_{u,dist2_l, MG2_x}^k, X_{u,dist3_m, MG3_v}, X_{u,dist3_m, MG3_v}^g \geq 0$$

$$X_{u,dist3_m, MG3_v}^k, X_{u,dist4_{11}, MG4_y}, X_{u,dist4_{11}, MG4_y}^g, X_{u,dist4_{11}, MG4_y}^k, X_{u,dist5_p, MG5_z} \geq 0$$

$$X_{u,dist5_p, MG5_z}^g, X_{u,dist5_p, MG5_z}^k, X_{uf_b}, X_{uf_b}^g, X_{uf_b}^k, X_{ue}, X_u^{ht}, X_u^h \geq 0$$

$$y1_{dist1_j, MG1_i}, y2_{dist2_l, MG2_x}, y3_{dist3_m, MG3_v}, y4_{dist4_{11}, MG4_y}, y5_{dist5_p, MG5_z} \in \{0,1\}$$

$$y6_{dist1_j}, y7_{dist2_l}, y8_{dist3_m}, y9_{dist4_{11}}, y10_{dist5_p}, y11_{dist1_j, MG1_i} \in \{0,1\}$$

$$y12_{dist2_l, MG2_x}, y13_{dist3_m, MG3_v}, y14_{u, dist4_{11}, MG4_y}, y15_{u, dist5_p, MG5_z} \in \{0,1\}$$

$$\lambda \in [0,1]$$

Modelin sonucunda; toplam edinim maliyeti 605.923,500 TL, toplam dolum maliyeti 15.667.490 TL, toplam işleme ve hazırlık maliyeti 12.168,440 TL, toplam taşıma maliyeti 11.512.500 TL, toplam depolama maliyeti 176.754,286 TL ve toplam kayıp ürün maliyeti 34.708,500 TL olarak hesaplanmıştır. Böylece toplam maliyet olarak 28.009.540 TL bulunur. Taşımalar nedeniyle çevreye yayılan toplam CO₂ miktarı ise yaklaşık 59,86 ton'dur. KÇTZ'ndeki toplam kayıp ürün miktarı 694.170 adettir. Bulanık kısıtların başarıma derecesi (λ) ise '1' olarak hesaplanmıştır. Modelin çözümleri Çizelge 7.7 ve Çizelge 7.8'te verilmiştir.

Çizelge 7.7 : Bulanık parametrelili model için distribütör ve bölge depolarına gönderilen ürün miktarları.

Bölge deposu/Distribütör	İleri akıştaki ürün miktarı (adet)		Geri akıştaki ürün miktarı (adet)		Kayıp ürün miktarı (adet)	
	Ürün tipi		Ürün tipi		Ürün tipi	
Bölge deposu	u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
Bölge deposu 1 (X_{uf_1})	192.000	79.000	124.800	51.350	67.200	27.650
Bölge deposu 2 (X_{uf_2})	72.000	24.000	46.800	15.600	25.200	8.400
Bölge deposu 3 (X_{uf_3})	120.000	40.000	96.000	32.000	24.000	8.000
Distribütör	u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
d1 ($X_{u,dist1_1}$)	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
d2 ($X_{u,dist1_2}$)	30.500	2.500	21.350	1.750	9.150	750
d3 ($X_{u,dist1_3}$)	53.300	3.500	37.310	2.450	15.990	1.050
d4 ($X_{u,dist1_4} + X_{u,dist2_4}$)	199.000	22.500	139.300	15.750	59.700	6.750
d5 ($X_{u,dist2_5}$)	132.000	28.000	92.400	19.600	39.600	8.400
d6 ($X_{u,dist2_6}$)	96.000	10.000	67.200	7.000	28.800	3.000
d7 ($X_{u,dist3_7}$)	161.000	14.000	112.700	10.600	48.300	3.400
d8 ($X_{u,dist3_8}$)	91.200	8.000	63.840	5.600	27.360	2.400
d9 ($X_{u,dist3_9}$)	-	-	-	-	-	-
d10 ($X_{u,dist3_{10}}$)	170.000	18.500	119.000	12.950	51.000	5.550
d11 ($X_{u,dist4_{11}} + X_{u,dist5_{12}}$)	144.000	15.000	100.800	10.900	43.200	4.100
d12 ($X_{u,dist5_{12}}$)	165.200	22.000	115.640	17.600	49.560	4.400
d13 ($X_{u,dist5_{13}}$)	178.000	40.400	124.600	30.080	53.400	10.320
d14 ($X_{u,dist5_{14}}$)	129.600	16.000	90.720	11.200	38.880	4.800

Tedarikçiden 1. ve 2. üründen satın alınması gereken miktar sırasıyla 750.000 ve 100.000 adettir. İlk ürünün talebinden 1.066.350 adet, 2. ürün için ise 346.530 adet fazadan ürün üretilip bir sonraki dönem için stoklanması gerekmektedir.

Çizelge 7.8 : Bulanık parametrelili model için müşterilere gönderilen ürün miktarları.

Değişkenler	Akış Noktaları	İleri akıştaki ürün miktarı (adet)		Geri akıştaki ürün miktarı (adet)		Kayıp ürün miktarı (adet)	
		Ürün tipi		Ürün tipi		Ürün tipi	
		u=1	u=2	u=1	u=2	u=1	u=2
$X_{u,dist1_2,MG1_1}$	d2,m1	30.500	2.500	21.350	1.750	9.150	750
$X_{u,dist1_4,MG1_2}$	d4,m2	16.600	1.500	11.620	1.050	4.980	450
$X_{u,dist1_3,MG1_3}$	d3,m3	28.800	2.000	20.160	1.400	8.640	600
$X_{u,dist1_4,MG1_4}$	d4,m4	14.400	1.000	10.080	700	4.320	300
$X_{u,dist1_1,MG1_5}$	d1,m5	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
$X_{u,dist1_3,MG1_6}$	d3,m6	24.500	1.500	17.150	1.050	7.350	450
$X_{u,dist2_6,MG2_7}$	d6,m7	57.600	6.000	40.320	4.200	17.280	1.800
$X_{u,dist2_6,MG2_8}$	d6,m8	38.400	4.000	26.880	2.800	11.520	1.200
$X_{u,dist2_4,MG2_9}$	d4,m9	100.80	12.000	70.560	8.400	30.240	3.600
$X_{u,dist2_4,MG2_{10}}$	d4,m10	67.200	8.000	47.040	5.600	20.160	2.400
$X_{u,dist2_5,MG2_{11}}$	d5,m11	79.200	16.000	55.440	11.200	23.760	4.800
$X_{u,dist2_5,MG2_{12}}$	d5,m12	52.800	12.000	36.960	8.400	15.840	3.600
$X_{u,dist3_{10},MG3_{13}}$	d10,m13	100.80	11.500	70.560	8.050	30.240	3.450
$X_{u,dist3_7,MG3_{14}}$	d7,m14	60.000	6.000	42.000	4.200	18.000	1.800
$X_{u,dist3_{11},MG3_{15}}$	d11,m15	43.200	3.000	30.240	2.100	12.960	900
$X_{u,dist3_{11},MG3_{16}}$	d11,m16	28.800	2.000	20.160	1.400	8.640	600
$X_{u,dist3_{10},MG3_{17}}$	d10,m17	69.200	7.000	48.440	4.900	20.760	2.100
$X_{u,dist3_8,MG3_{18}}$	d8,m18	52.800	4.500	36.960	3.150	15.840	1.350
$X_{u,dist3_7,MG3_{19}}$	d7,m19	101.00	8.000	70.700	6.400	30.300	1.600
$X_{u,dist3_8,MG3_{20}}$	d8,m20	38.400	3.500	26.880	2.450	11.520	1.050
$X_{u,dist4_{11},MG4_{21}}$	d11,m21	43.200	6.000	30.240	4.200	12.960	1.800
$X_{u,dist4_{11},MG4_{22}}$	d11,m22	28.800	4.000	20.160	3.200	8.640	800
$X_{u,dist5_{13},MG5_{23}}$	d13,m23	106.00	22.400	74.200	15.680	31.800	6.720
$X_{u,dist5_{12},MG5_{24}}$	d12,m24	86.000	16.000	60.200	12.800	25.800	3.200
$X_{u,dist5_{12},MG5_{25}}$	d12,m25	79.200	6.000	55.440	4.800	23.760	1.200
$X_{u,dist5_{14},MG5_{26}}$	d14,m26	48.000	4.000	33.600	2.800	14.400	1.200
$X_{u,dist5_{13},MG5_{27}}$	d13,m27	72.000	18.000	50.400	14.400	21.600	3.600
$X_{u,dist5_{14},MG5_{28}}$	d14,m28	81.600	12.000	57.120	8.400	24.480	3.600

Hurda miktarı ise 1. ürün için 63.346 adet (I.tip hurda:1.125, II.tip hurda:41.481, III.tip hurda 20.740), 2. ürün için 11.244 (I.tip hurda:150, II.tip hurda:7.396, III.tip hurda:3.698) adet olarak hesaplanmıştır.

8. SONUÇLARIN ANALİZİ

Bu bölümde, bulanık hedef ve bulanık talepli çok amaçlı model ve bulanık talep ve bulanık geri dönüşüm oranlı çok amaçlı modellerin geçerlilik ve doğruluk analizleri ile duyarlılık analizi sonuçları sunulmuştur.

8.1 Doğruluk ve Geçerlilik Analizleri

Bu bölümde önerilen modellerin doğruluk ve geçerlilik analizleri yapılmıştır. Çeşitli parametrelere uç değerler verilerek modelin doğru çalışıp çalışmadığı ve mantıklı sonuç verip vermediği incelenmiştir.

- **Distribütör kapasitesinin çok düşük olduğu durum**

İlk analizde, her bir distribütör grubundaki distribütörlerden biri seçilerek kapasitesi sıfır olarak atanmıştır. Buna karşılık, gruptaki distribütörlerden herhangi birinin kapasitesi en az kapasitesi sıfırlanan distribütörünki kadar arttırılmıştır. Bu şekilde bulanık amaç ve bulanık kısıtlı model her bir distribütör grubundaki kapasite değişimi için tek tek çözülmüştür. Yalnızca 4. distribütör grubunda tek bir distribütör olduğundan bu grupta kapasite değişimi yapılmamıştır. Modelin çıktıları şunu göstermiştir ki kapasitesi sıfır olarak atanan distribütörlere fabrika ürün göndermemiş ve bu distribütörlerden müşterilere ürün akışı olmamıştır. Kısaca bu distribütörlerdeki ileri ve geri akıştaki ürün miktarları sıfır olarak bulunmuştur. Çizelge 8.1’de distribütör kapasitelerindeki değişimin sonuçlara etkisi verilmektedir.

Çizelge 8.1 : Distribütör kapasitelerindeki değişimin sonuçlara etkisi.

	$kap_{dist1_3} = 0$	$kap_{dist2_6} = 0$	$kap_{dist3_{10}} = 0$	$kap_{dist5_{14}} = 0$
Amaç fonksiyonu	0.904	0.911	0,912	0,911
Hedef 1 (TL)	25.979.220	25.673.480	25.580.530	25.873.740
Hedef 2 (ton)	53,9	52,6	52,6	53,7
Hedef 3 (adet)	670.850	684.560	701.780	688.460

- **Taşıma maliyetlerinin çok yüksek olduğu durum**

İkinci analizde distribütör grubundaki distribütörlerden biri seçilmiş fabrikaya olan mesafesi çok yüksek tutulmuş, böylece taşıma maliyeti yükseltilmiştir. Buna göre, bulanık amaç ve bulanık kısıtlı model her bir distribütör grubundaki mesafe değişimine bağlı olarak tek tek çözülmüştür. Yalnızca 4. distribütör grubunda tek bir distribütör olduğundan bu grupta herhangi bir değişim yapılmamıştır. Modellerin çözümünde, fabrikaya olan uzaklığı en çok olan distribütöre ürün gönderilmediği ve söz konusu distribütörden müşterilere ürün akışının olmadığı sonucu elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, bu distribütörlerdeki ileri ve geri akıştaki ürün miktarları sıfır olarak bulunmuştur. Çizelge 8.2’de fabrika ile distribütör arasındaki mesafe değişiminin sonuçlara etkisi sunulmuştur.

Çizelge 8.2 : Fabrika ile distribütör arasındaki mesafenin değişiminin sonuçlara etkisi.

	$d_{d1} = 11000$	$d_{d5} = 10000$	$d_{d8} = 16000$	$d_{d13} = 10000$
Amaç fonksiyonu	0,931	0,937	0,935	0,924
Hedef 1 (TL)	25.785.580	33.856.740	26.034.600	28.214.900
Hedef 2 (ton)	53,0	94,7	53,9	64,8
Hedef 3 (adet)	676.950	660.000	660.550	641.090

8.2 Duyarlılık Analizi

Bu bölümde, geliştirilen bulanık hedef ve bulanık talepli çok amaçlı KÇTZ modelindeki hedeflere ilişkin ağırlıklardaki değişimin modelin sonuçlarına olan etkisi incelenmiştir. Modelin amaç fonksiyonu üçü bulanık hedef ve üçü bulanık talep kısıtı olmak üzere toplam altı ağırlığı dikkate almaktadır. Bununla birlikte, bu bölümde her

bir bulanık hedefin ağırlıklarındaki değişimin, diğer hedeflerle arasındaki ilişkisi incelenmektedir. Analizlerde hedeflerden birinin ağırlığı sabit tutulurken diğer ikisi arasındaki etkileşim incelenmiş ve ayrıca bulanık kısıtların ağırlıkları da sabit tutulmuştur.

- **Toplam maliyet**

Toplam maliyet (TM) hedefinin farklı ağırlıkları için diğer hedefler arasındaki değişimin incelendiği bu bölümde iki analiz yapılmıştır. İlk analizde, toplam CO₂ emisyonu hedefinin ve bulanık kısıtların ağırlıkları sabit tutulurken, toplam maliyet ile toplam kayıp hedeflerinin ağırlıkları değişkenlik göstermiştir. İkinci analizde ise toplam kayıp hedefinin ve bulanık kısıtların ağırlıkları sabit tutulurken, toplam maliyet ile CO₂ emisyonu hedeflerinin ağırlıkları değişkenlik göstermiştir.

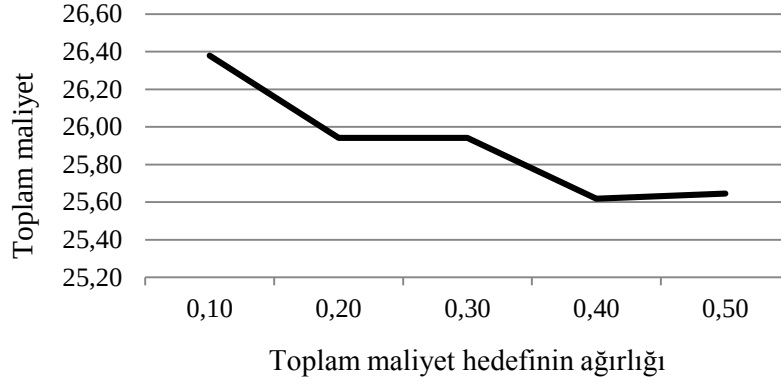
İlk analizde, toplam maliyet hedef ağırlığının 0,10'luk artışları için toplam kayıp hedefinin ağırlığı tüm bulanık hedef ve bulanık kısıtların ağırlıkları toplamı 1'e eşit olacak şekilde düzenlenmiştir. Böylece, toplam maliyet hedefinin ağırlığındaki değişimin, toplam maliyet ve toplam kayıp hedeflerindeki etkileri izlenmiştir. Çizelge 8.3'te toplam maliyet hedefinin farklı ağırlıkları için hesaplanan amaç fonksiyonu değeri, toplam maliyet, CO₂ emisyon miktarı ve toplam kayıp ürün miktarları verilmiştir.

Çizelge 8.3 : Toplam maliyet hedefinin farklı ağırlık değerleri için sonuçlar.

Ağırlıklar	Amaç fonksiyonu	TM (TL) ($\times 10^6$)	CO ₂ emisyonu (ton)	Toplam kayıp ürün (adet)
Mevcut durum-0,35	0,902	26,24	54,70	647.660
0,10	0,843	26,38	54,40	607.835
0,20	0,863	25,94	53,20	646.760
0,30	0,891	25,94	53,50	660.560
0,40	0,930	25,62	52,50	693.140
0,50	0,968	25,65	52,90	703.940

Şekil 8.1'de toplam maliyet hedefinin ağırlığındaki değişimin toplam maliyetteki değişimi gösterilmiştir. Beklendiği üzere, toplam maliyet hedefine verilen önem arttıkça toplam maliyette düşüş olmaktadır. Modelin sonuçlarına göz atıldığında, ürün geri dönüşüm oranının %80'den %65'e düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla toplam maliyet hedefinin ağırlığı arttıkça toplam maliyetlerde çok önemli bir paya sahip olan

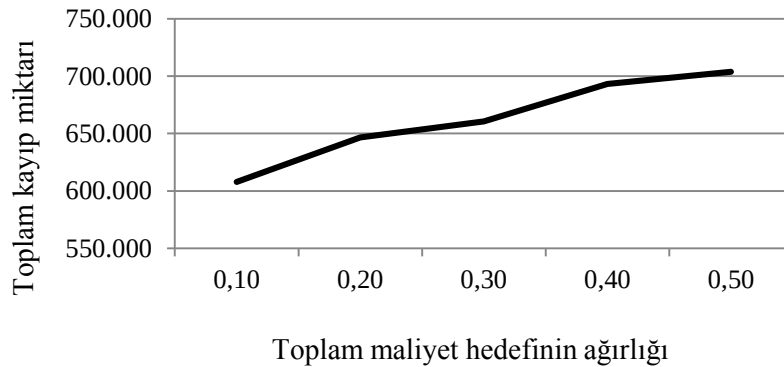
toplam taşıma ve toplam dolum maliyetlerini düşürmek üzere, modelin ürün geri dönüşüm oranını azalttığı söylenebilir. Hedefin ağırlığı 0,40 ile 0,50 arasında iken toplam maliyetler değerleri benzerlik gösterir.



Şekil 8.1 : Toplam CO₂ emisyon hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam maliyetteki değişim.

Şekil 8.2’de toplam maliyet hedefinin farklı ağırlıklarına karşılık toplam kayıp miktarı hedefinin aldığı değerleri göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi toplam maliyet hedefi ağırlığının artan değerleri için toplam kayıp miktarında da artış görülmektedir. Modelin sonuçları incelendiğinde, ilk analizde de olduğu gibi bölge depoları için ürün geri dönüşüm oranının 0.80’den 0.65’e düştüğü göze çarpmaktadır.

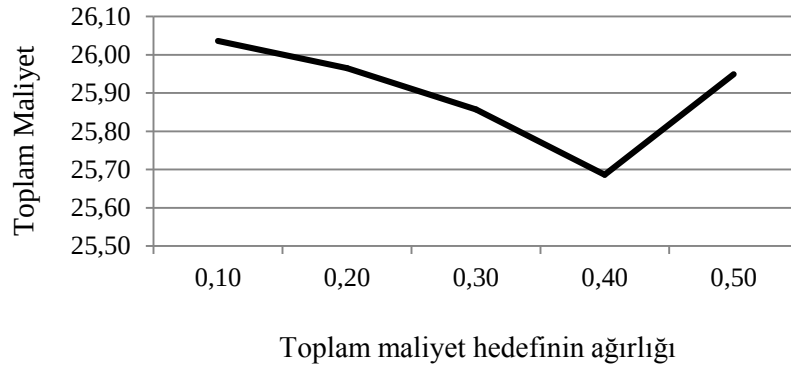
Bu durumda toplam kayıp miktarındaki artışına neden olarak ürün geri dönüşüm oranının azalması gösterilebilir. Geri dönüşüm oranının azalmasıyla birlikte taşıma maliyetlerinde de azalma görülmektedir. Dolayısıyla bu durum toplam maliyet ile toplam kayıp hedefi arasındaki ödünleşimi açık bir şekilde göstermektedir.



Şekil 8.2 : Toplam CO₂ emisyon hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam kayıp miktarındaki değişim.

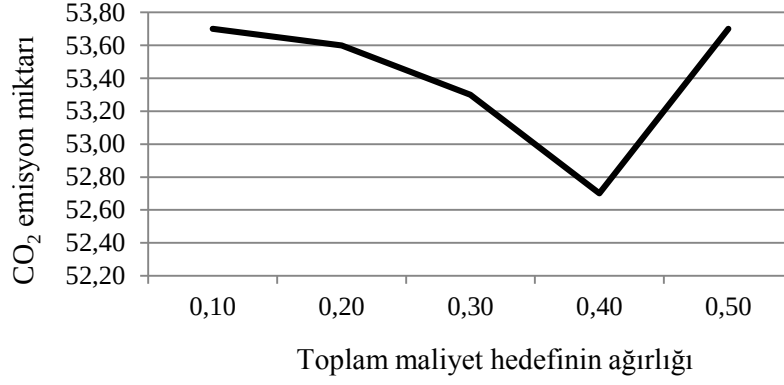
İkinci analizde, toplam kayıp miktarı hedefinin ve bulanık kısıtların ağırlıkları sabit tutulmuştur. İlk analizde olduğu gibi toplam maliyet hedefinin ağırlığının 0,10'luk artışları için ve ağırlık toplamı '1' olacak şekilde toplam CO₂ emisyon hedefinin ağırlıkları düzenlenmiştir. Böylece, toplam maliyet hedef ağırlığındaki değişimin, toplam maliyet ve toplam CO₂ emisyonu hedeflerindeki etkileri izlenmiştir.

Şekil 8.3'te toplam maliyet hedefinin değişen ağırlıkları için toplam maliyetteki değişim verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, hedefin ağırlığı belirli bir noktaya (0,40) ulaşıncaya kadar arttırıldığında, beklendiği gibi toplam maliyet hedefinin değeri düşmektedir. Hedefin ağırlığı 0,40'tan 0,50'ye ulaştığında ise toplam maliyetteki artış göze çarpmaktadır. Modelin sonuçları incelendiğinde toplam maliyet hedefinin ağırlığı 0,40 noktasında iken ürün geri dönüş oranı 0,65 olduğu, ağırlık 0,50 noktasında olduğu durumda ise ürün geri dönüş oranının 0,80 olduğu görülmektedir. Maliyetteki bu değişimin ürün geri dönüş oranındaki değişimden kaynaklandığı sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 8.3 : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam maliyetteki değişim.

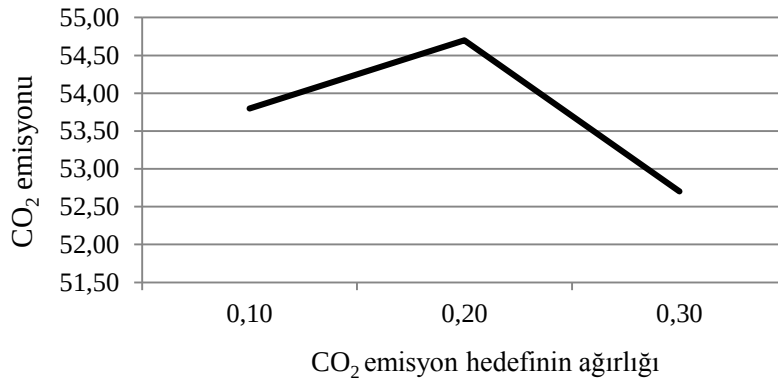
Şekil 8.4, Şekil 8.3 ile benzer bir yapı göstermektedir. Hedefin ağırlığı belirli bir noktaya (0,40) ulaşıncaya kadar toplam CO₂ emisyon miktarında düşüş olmakta, bu noktadan sonra ise emisyon miktarında artış gözlemlenmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi CO₂ emisyon miktarı katedilen mesafe, taşınan ürün miktarı ve araç tipi gibi birçok faktöre bağlıdır. Dolayısıyla, beklendiği gibi toplam taşıma maliyetlerinin önemli bir bileşeni olan toplam maliyet ile çevreye yayılan CO₂ gazı arasında doğrusal bir ilişki olduğu bu nedenle benzer bir yapı sergilediği söylenebilir.



. **Şekil 8.4** : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda CO₂ emisyon hedefindeki değişim.

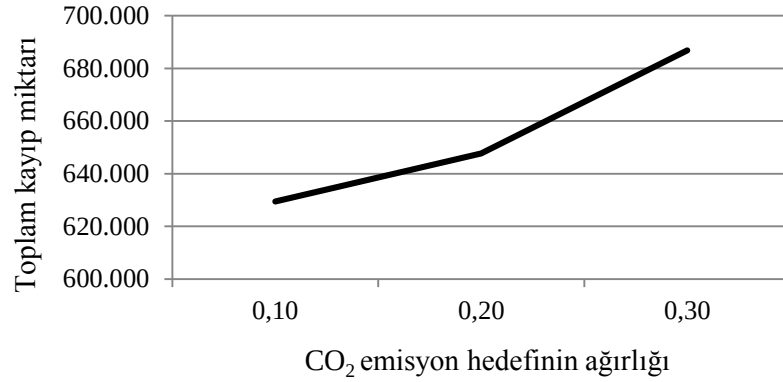
- **CO₂ emisyonu**

Analizler benzer şekilde CO₂ emisyon hedefi içinde yapılmıştır. İlk analizde toplam maliyet hedefinin ve tüm bulanık kısıtların ağırlıkları sabit tutulmuştur. Buna göre, toplam CO₂ emisyon hedefinin ağırlığındaki 0,10'luk artışın toplam CO₂ emisyonu ve toplam kayıp miktarında ne gibi değişimlere sebep olduğu incelenmiştir. Şekil 8.5'te CO₂ emisyonu hedefinin ağırlığındaki değişimin, toplam CO₂ emisyon miktarındaki değişimi grafiksel olarak verilmiştir. Hedefin ağırlığı 0,10'dan 0,20'ye geldiğinde, CO₂ emisyon miktarı artış gösterir. Bu noktada ürün geri dönüş oranı yüksektir. Bu nedenle toplam taşıma maliyetleri ve buna bağlı olarak emisyon miktarı artmaktadır. Bu noktadan sonra, ağırlık 0,30'a geldiğinde ise hedefe verilen önem arttığından ve ürün geri dönüş oranı azaldığından CO₂ emisyon miktarı hızla düştüğü gözlemlenir.



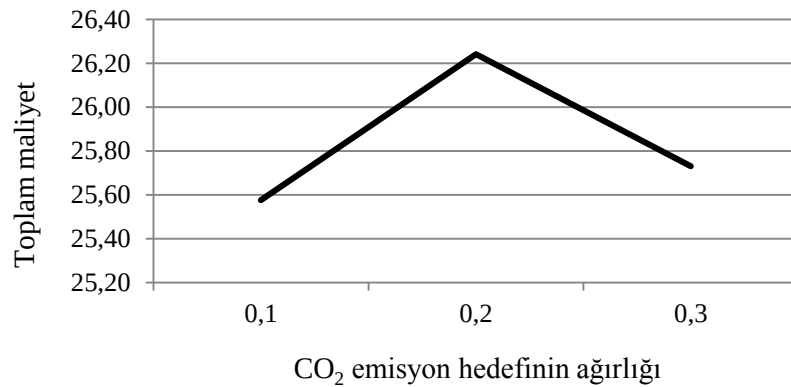
Şekil 8.5 : Toplam maliyet hedef ağırlığının sabit olduğu durumda CO₂ emisyon miktarlarındaki değişim.

Şekil 8.6’da toplam maliyet hedefinin ağırlığındaki değişimin, toplam kayıp hedefindeki değişimi verilmiştir. Şekilde toplam maliyet hedefinin ağırlığındaki artışın toplam kayıplarda da artışa sebep olduğu görülmektedir. Ağırlık 0,10 noktasından 0,20’ye gelindiğinde kayıp ürün miktarında hafif bir artış olmakta, ağırlık 0,20 noktasından 0,30’a geldiğinde ise hızlı bir artış izlenmektedir.



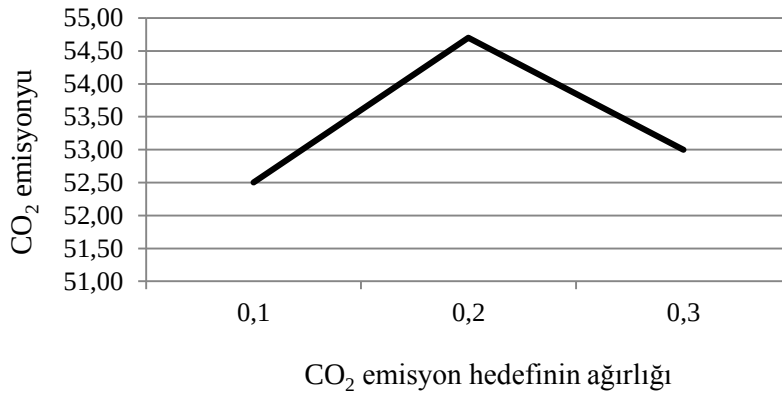
Şekil 8.6 : Toplam maliyet hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam kayıp miktarındaki değişim.

Benzer şekilde ikinci analiz yapıldığında, toplam kayıp hedefinin ve tüm bulanık kısıtların ağırlığı sabit tutulmuştur. Bu durumda toplam maliyet hedef ile toplam CO₂ emisyon hedeflerindeki değişim izlenmiştir. Şekil 8.7’de hedef ağırlığı 0,10’dan 0,20’ye arttırıldığında toplam maliyetlerde artış olmakta, ağırlık 0,20’den 0,30’a geldiğinde ise maliyetlerde düşüş olmaktadır. Model sonuçları incelendiğinde bu durumun geri dönüş oranındaki değişimden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8.7 : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam maliyetteki değişim.

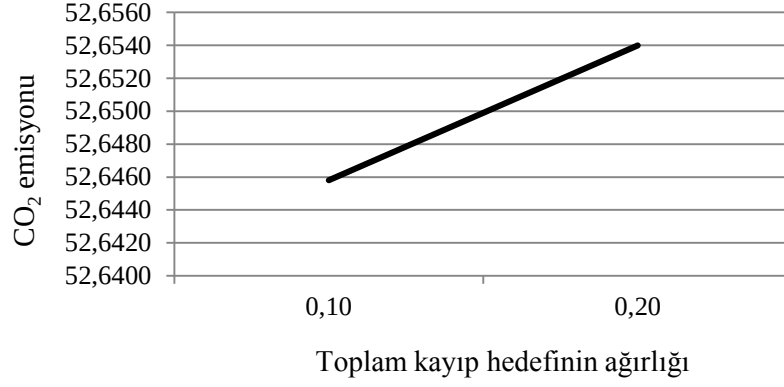
Şekil 8.7 ve Şekil 8.8 benzer bir dağılım vermektedir. Şekil 8.8’de toplam maliyet hedefinin ağırlığının farklı değerleri için toplam CO₂ emisyon hedefindeki değişim gösterilmiştir. Şekilde CO₂ emisyon hedef ağırlığının belirli bir noktaya (0,20) kadar artışıyla CO₂ emisyonu hedefinin değerinde de artış olduğu görülmektedir. Ağırlık bu noktadan 0,30’a geldiğinde ise emisyon miktarında düşüş olmaktadır. Yukarıda anlatıldığı gibi toplam maliyet ve toplam CO₂ emisyon hedefleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu açıktır.



Şekil 8.8 : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda CO₂ emisyonu miktarındaki değişim.

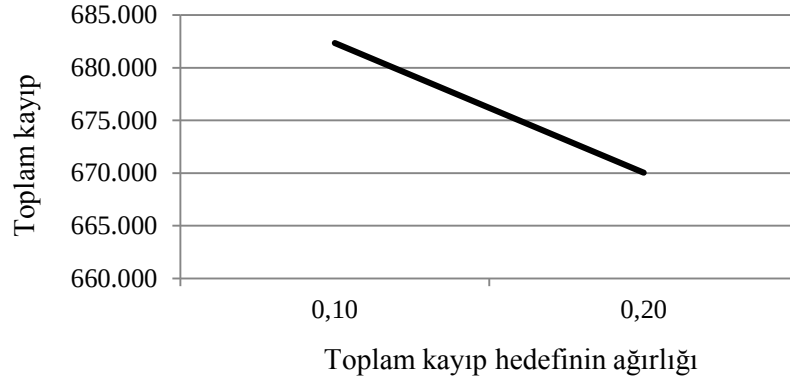
- **Toplam kayıp ürün**

Toplam kayıp hedefi içinde iki analiz yapılmıştır. İlk analizde toplam maliyet hedefinin ve tüm bulanık kısıtların ağırlıkları sabitlenmiştir. CO₂ emisyon hedefinin ağırlığı, tüm bulanık hedef ve bulanık kısıtların ağırlık toplamı ‘1’ olacak şekilde düzenlenmiştir. Şekil 8.9’da görüldüğü gibi toplam kayıp ürün hedefinin ağırlığının artışının, CO₂ emisyon hedefindeki etkisi incelenmiştir. Toplam kayıp ürün hedefinin ağırlığı 0,10’dan 0,20’ye geldiğinde, CO₂ emisyon hedef değerinin de bir artış gözlemlenmektedir.



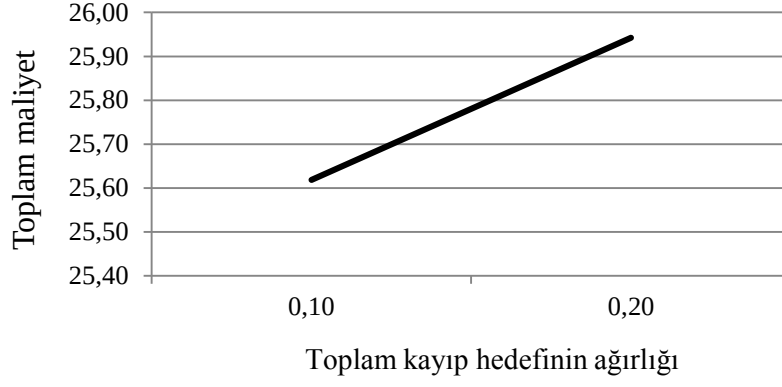
Şekil 8.9 : Toplam kayıp hedef ağırlığının sabit olduğu durumda CO₂ emisyon miktarındaki değişim.

Şekil 8.10’da ise toplam kayıp hedef ağırlığındaki değişimin, toplam kayıp hedef değerindeki değişimi verilmektedir. Beklendiği üzere, hedef değeri 0,10’dan 0,20’ye arttırıldığında, bir diğer deyişle hedefe verilen önem arttırıldığında, toplam kayıplarda düşüş olduğu gözlenir.



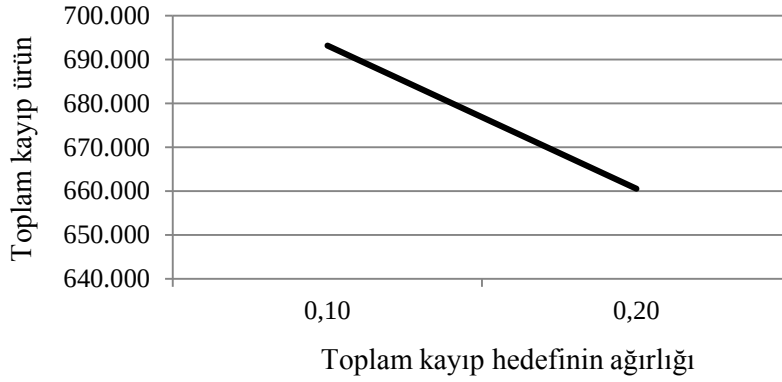
Şekil 8.10 : Toplam maliyet hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam kayıp miktarındaki değişim.

İkinci analizde ise, toplam CO₂ emisyon hedefinin ve tüm bulanık kısıtların ağırlıkları sabit tutulmuştur. Bu durumda toplam maliyet ve toplam kayıp ürün hedeflerindeki değişim izlenmiştir. Şekil 8.11’de toplam kayıp hedef ağırlığındaki değişimin toplam maliyetlerdeki etkisi incelenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi toplam kayıp hedef ağırlığı 0,10’dan 0,20’ye geldiğinde toplam maliyetin arttığı görülmektedir.



Şekil 8.11 : CO₂ emisyon hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam maliyetteki değişim.

Şekil 8.12’de toplam kayıp hedef ağırlığındaki değişimin toplam kayıp hedef üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Hedef ağırlığı 0,10 iken toplam kayıp miktarı yaklaşık 695.000 civarında iken hedef ağırlığı 0,20’ye ulaştığında toplam kayıp ürün miktarı yaklaşık 660.000’e gerilemektedir.



Şekil 8.12 : CO₂ emisyon hedef ağırlığının sabit olduğu durumda toplam kayıp miktarındaki değişim.

9. TARTIŞMA

Karbondioksit gazı yayılımı birçok değişkene (taşıma aracı tipi, kullanılan yakıt, katedilen mesafe vb.) bağlıdır. Bu tez çalışması kapsamında taşımalar sırasında yayılan CO₂ gazı emisyonunun hesaplanmasında toplam dolu ağırlığı 40-44 ton olan kamyonlar için ve aracın en fazla %80'inin yüklü olduğu ve %25'inin boş olduğu varsayımı için geçerli olan durum ele alınmıştır (Mehidi vd., 2014; Scottish Border Council Rapport, 2014). Aracın taşıdığı yüke ve ne kadarının boş olduğuna bağlı olarak farklı değerler kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında tek bir planlama dönemi ve tek bir üretim noktası için kapalı çevrim tedarik zincirindeki üretim ve planlama problemi incelenmiştir. Gerçek hayat problemlerinde birden çok üretim noktası olabilmekte ve yöneticilerin birden çok planlama dönemi için (3 ay-6 ay gibi) doğru bir şekilde üretim, dağıtım ve stok konularında karar vermeleri gerekmektedir. Bu amaçla, önerilen KÇTZ modellerinin birden çok planlama dönemini kapsayacak şekilde ve birden çok üretici için genişletilmesi söz konusudur.

Diğer taraftan, bu çalışmada geliştirilen tüm modeller çeşitli varsayımlar altında çözülmüştür. Bu varsayımlardan birkaçı, distribütörlerde herhangi bir kayıp olmadığı ve distribütörlerin yeni/kullanılmış ürünleri depolamadığı şeklindedir. Gerçek hayat uygulamalarında ise distribütörlerde ürün kaybı olabilir ve distribütörler fabrikadan yeni gönderilen ürünleri ve müşterilerden toplanan kullanılmış ürünleri depolamaktadır. Bu nedenlerle, geliştirilen KÇTZ modellerinin bu kapsamda genişletilmesi ile gerçek hayat problemlerinin daha iyi ele alınması sağlanacaktır.

Çalışmada çok hedefli KÇTZ modelinin çözümünde, tersine lojistik ve kapalı çevrim problemlerindeki belirsizliklerle başa çıkmak için, bulanık modellemeden yararlanılmıştır. Geliştirilmiş çok hedefli model, bulanık hedefler ve kısıtlar için ve bulanık parametreler için ayrı ayrı çözülmüştür. Bulanık hedef ve bulanık kısıtların çözümünde Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımından yararlanılmıştır. Anlaşılır

olması, kolay uygulanabilmesi ve hızlı sonuç vermesi bakımından çok kullanılan bu yöntem çeşitli bakımlardan eleştirilmektedir. Buna göre, bulanık hedef ve kısıtların görece önemlerini (ağırlıklarını) belirlenmesinde zorluklar ve ağırlıklar değiştiğinde modelin istenmeyen sonuçlar verebilme durumu söz konusudur (Tiwari vd., 1987; Chen ve Tsai, 2001).

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan çevre bilinci, sosyal sorumluluk ve hızlı nüfus artışıyla beraber artan kaynak tüketimi, ve yasal yükümlülükler işletmeleri değer yaratan, maliyetleri düşüren ve çevreyi koruyan yaklaşımları uygulamaya yönlendirmiştir. İşte bu nedenlerle kullanılmış ürünlerin müşterilerden toplanması ve kalitesi yeterli olanların tekrar sisteme katılıp yeniden kullanılması çok büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında tek bir üretici, birden çok distribütör ve bölge deposu ile çok sayıdaki müşteriye içeren kapalı çevrim tedarik zincirinin yeniden kullanılabilen iki ürününün üretim ve dağıtımının etkin bir şekilde planlanması problemi ele alınmıştır. Bu amaçla çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Önerilen modeller hurda, ürün geri dönüş oranı ve talep fazlası üretim gibi çeşitli konuları da kapsamaktadır. Geliştirilen modeller nümerik örnekler için çözülmüş ve gerçek hayat probleminin çözümünde kullanılmıştır.

Uygulama bölümünde, İstanbul ili pilot bölge seçilerek Türkiye’de faaliyet gösteren bir fabrikadan alınan veriler kullanılmıştır. Fabrika müşterilerin ürünlere olan taleplerini hem yeni hem de kullanılmış ürünlerden karşılanmaktadır. Ekonomik ve çevresel kaygıların ele alındığı modelde toplam maliyetin, ileri ve geri taşımalardan kaynaklanan karbondioksit gazı yayılımının ve geri toplanamayan ürün miktarının minimum kılınması amaçlanmıştır.

Gerçek hayatta bilgi eksikliği, belirsizlik ve bilinmezlik söz konusudur. Deterministik değerlerin tam olarak bilinmeyeceği varsayıldığında ve parametrelerin dağılımlarına ait veriler bulunmadığında durumlarda, belirsizlik altında kullanılabilecek en iyi alternatif çözüm olarak literatürde bulanık kümeler teorisi tavsiye edilmektedir. Talep kısıtının değişebileceği öngörüldüğünden aynı zamanda geri dönüş oranlarının da kesin olarak bilinmeyeceği ve stokastik bir yaklaşımın kullanılması için yeterli veri bulunmadığından, bu tez çalışmasında bulanık küme teorisi kullanılarak kapalı çevrim tedarik zincirinin modellenmesi yapılmıştır.

Çalışmada, çok hedefli bulanık modelin çözümü iki şekilde yapılmıştır. Öncelikle tüm hedefler ve kısıtlar için istenilen erişim seviyesi bulanık olarak ele alınmıştır. Diğer modelde ise Garg vd. (2015) tarafından önerilen kısıtlardaki teknoloji katsayıları (geri dönüşüm oranı) ve sağ taraf değerlerinde (talep) bulanıklık olduğu durum incelenmiştir. Kısıtlardaki belirsizlikte özellikle talep kısıtı ele alınmıştır. Çünkü araştırmacılara göre talepteki belirsizlik envanter seviyesini, üretim miktarını ve lojistik kararlarını etkilemektedir (Wang ve Hsu, 2010).

Geliştirilen modellerde birden çok yeniden kullanılabilen ürünün üretim, dağıtım, müşterilerden geri toplama, hurda, fazladan üretim ve kullanılmış ürünlerin yeniden tedarik zincirine dahil edilmesi gibi çeşitli konular ele alınmıştır. Yeniden kullanılabilen ürünlerin üretim ve dağıtım problemini çözmek için önerilen bu modellerin diğer ürün geri kazanım yaklaşımları için de bir örnek temsil edeceği ve gerçek hayat problemlerine ışık tutacağı beklenmektedir.

Bu sebeplerle, bu tez çalışmasının hem ileri ve hem tersine ürün akışı ele alması, yeniden kullanılabilen ürünlerin üretim ve dağıtım problemini incelemesi ve sistemdeki belirsizlikleri ele alarak kurulan çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama modelinin çözümünde bulanık modellemeden yararlanılması gibi açılardan endüstriye ve akademik çalışmalara katkısının olacağı düşünülmektedir.

• Araştırmacılar İçin Öneriler

Araştırmacıların bundan sonraki çalışmalarda önerilen modelin birden çok dönemi kapsayacak şekilde genişletmeleri ve modele geri dönen ürünlerin kalitesi ve geri dönen ürünlerin fiyatlandırılması gibi çeşitli konuları yansıtmaları önerilebilir.

Çok hedefli bulanık modellerin çözümünde GAMS 24.02 - CPLEX solverdan yararlanılmıştır. Uygulama kısmındaki her iki bulanık model yaklaşık 0.016 saniyede çözülmüştür ve modellerin çözümünde optimal sonuç elde edilmiştir. Farklı işletmeler ve farklı ürünler için kapalı çevrim tedarik zinciri modellerinin çözümü uzun zaman alabileceği düşünüldüğünde sezgisel veya metasezgisel yöntemlerden yararlanılması uygun olabilir. Bu durumda elde edilen sonuçlar önerilen çok amaçlı bulanık modelle karşılaştırılabilir.

Çalışmada, bulanık hedef ve bulanık kısıtların çözümünde Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımından yararlanılmıştır. Gelecek çalışmalar için diğer yöntemlerin

uygulanması (Torabi ve Hassini, 2008; Selim ve Özkarahan, 2008; Arikan, 2013) ve sonuçların karşılaştırılması önerilir.

Kapalı çevrim tedarik zinciri problemlerinde daha çok maliyetin minimum kılınması yada karın maksimum kılınması hedeflenir. Gelecek çalışmalarda, temin süresinin minimum kılınması ve pazar payının maksimum kılınması gibi hedeflerin de ele alınması önerilir (Rezapour vd., 2015).

Çalışmada tedarikçi ile fabrika ve fabrika ile distribütör-bölge depoları arasında büyük araçlar, distribütörler ile müşteriler arasında ise daha küçük araçlar kullanılmaktadır. Bu nedenle duyarlılık analizi bölümünde görüldüğü gibi toplam maliyetler ile toplam CO₂ emisyon hedefleri benzer bir yapı göstermektedir. İleriki çalışmalarda aynı rota üzerinde çalışan farklı araç tipleri olduğu durum ele alınarak, toplam maliyet ve toplam CO₂ emisyon hedefleri arasındaki ödünleşim daha net bir şekilde izlenebilir.

Son olarak, kapalı çevrim tedarik zinciri boyunca kademe sayısı arttırılarak model revize edilebilir. Ayrıca, önerilen modeller birdençok dönemi kapsayacak şekilde genişletilebilir (Garg vd., 2015).

- **İşletmeciler İçin Öneriler**

Ürün geri kazanımı ve ileri ve tersine lojistik faaliyetlerinin bütünleştirilerek tüm planlamaların yapılması ülkemizde halen önemini korumaktadır. İleri ve tersine ürün akışlarının beraber ele alan sistemlerin kurulmasında özellikle yöneticiler etkin bir rol oynamaktadır. Çevresel ve ekonomik katkılar ile yasal düzenlemeler konusunda gerek firma içi gerek firma dışı eğitimlerle çalışanlar bilgilendirilmelidir.

Ülkemizde tersine lojistik konusunda gerçek hayat uygulamalarında bilgi eksikliği çok fazladır. Bu sebeple, ileri akışların olduğu gibi geri akışların da kayıt altında tutulması, bilgi sistemlerinin geliştirilmesi-iyileştirilmesi ve tersine ürün akışlarının sistematik olarak kontrol edilip yönetilmesi gerekmektedir. Her geçen gün artan atıklar düşünüldüğünde, matematiksel model, yöntem ve yaklaşımlar ile üretim ve dağıtım kararları vermenin önemi ve gereği açıktır.

KAYNAKLAR

- Abdulrahman, M. D., Gunasekaran, A. & Subramanian, N.** (2014). Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors. *International Journal of Production Economics*, 147, 460-47
- Agrawal, S., Singh, R. K. & Murtaza, Q.** (2015) A literature review and perspectives in reverse logistics, *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76-92.
- Aktin, T., Akdağ, G. & Sarıtepeci, R.** (2010). Televizyon üretiminde kapalı döngü tedarik zinciri yönetimi uygulaması, 10. *Ulusal üretim araştırmaları sempozyumu*, Girne Amerikan Üniversitesi, KKTC: Eylül 16-18.
- Alumur, S. A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. & Verter, V.** (2012). Multi-period reverse logistics network design. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 67-78.
- Amaro, A. C. S. ve Barbosa-Póvoa, A. P. F. D.** (2007). Optimal planning of closed loop supply chains: A discrete versus a continuous-time formulation. *Computer Aided Chemical Engineering*, 24, 673-678.
- Amaro, A. C. S. & Barbosa-Póvoa, A. P. F. D.** (2009). The effect of uncertainty on the optimal closed-loop supply chain planning under different partnerships structure. *Computers & Chemical Engineering*, 33(12), 2144-2158.
- Amid, A., Ghodsypour, S.H. & O'Brien, C.** (2006). Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 104, 394-407.
- Amin, S. H. & Zhang, G.** (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4165-4176.
- Arikan, F.** (2013). A fuzzy solution approach for multi objective supplier selection, *Expert Systems with Applications*, 40(3), 947-952.
- Bai, C. & Sarkis, J.** (2013). Flexibility in reverse logistics: a framework and evaluation approach, *Journal of Cleaner Production*, 47, 306–318.
- Bansia, M., Varkey, J. K. & Agrawal, S.** (2014). Development of a Reverse Logistics Performance Measurement System for a Battery Manufacturer. *Procedia Materials Science*, 6, 1419-1427.
- Barker, T. J. ve Zabinsky, Z. B.** (2011). A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process. *Omega*, 39(5), 558-573.

- Baptista, S., Gomes, M. I. & Barbosa-Povoa, A. P.** (2012). A Two-Stage Stochastic Model for the Design and Planning of a Multi-Product Closed Loop Supply Chain. *Computer Aided Chemical Engineering*, 30, 412-416.
- Behret, H.** (2011). *Üretim sistemlerinde bulanık tek dönemli stok kontrol modelleri.* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bogataj, M. & Grubbström, R. W.** (2013). Transportation delays in reverse logistics. *International Journal of Production Economics, Focusing on Inventories: Research and Applications*, 143(2), 395-402.
- Buckley, J. J.** (1985). Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233-247.
- Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoa, A. P. F. D. & Relvas, S.** (2012). Designing and planning of closed-loop supply chains for risk and economical optimization. *Computer Aided Chemical Engineering*, 30, 447-451.
- Cesur, A. & Birgün, S.** (2010). Hava kuvvetleri ikmal sistemi için malzeme tedarik modeli ve uygulaması. *10. Ulusal üretim araştırmaları sempozyumu*, GİRNE Amerikan Üniversitesi, KKTC: Eylül 16-18.
- Chen, S. J., Hwang, C. L. & Hwang, F. P.** (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Chen, L.H. & Tsai, F.C.** (2001). Fuzzy goal programming with different importance and priorities. *European Journal of Operational Research*, 133, 548-556.
- Chiou, C. Y., Chen, H. C., Yu, C. T. & Yeh, C. Y.** (2012). Consideration Factors of Reverse Logistics Implementation -A Case Study of Taiwan's Electronics Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 40, 375-381.
- Ciliberti, F., Pontrandolfo, P. & Scozzi, B.** (2008). Logistics social responsibility: Standard adoption and practices in Italian companies. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 88-106.
- Das, K. & Chowdhury, A. H.** (2012). Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 209-221.
- Das, K. & Posinasetti, N. R.** (2015). Addressing environmental concerns in closed loop supply chain design and planning, *International Journal of Production Economics*, 163, 34-47.
- Demirel, N. Ö. & Gökçen, H.** (2008). Geri kazanımlı imalat sistemleri için lojistik ağı tasarımı: Literatür araştırması. *Journal of Faculty Engineering Architecture Gazi University*, 23(4), 903-912.
- Dhouib, D.** (2014). An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes, *Omega*, 42(1), 25-32.

- Dubois, D. & Prade H.** (1980). *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. Academic Press, New York, USA.
- Fernandes, A. S., Gomes-Salema, M. I. & Barbosa-Povoa, A. P.** (2010). The retrofit of a closed-loop distribution network: the case of lead batteries. *Computer Aided Chemical Engineering*, 28, 1213-1218.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Vn der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E. & Van Wassenhove, L. N.** (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1-17.
- Fuente, M. V., Ros, L. & Cardós, M.** (2008). Integrating Forward and Reverse Supply Chains: Application to a metal-mechanic company. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 782-792.
- Garg, K., Kannan, D., Diabat, A. & Jha, P. C.** (2015). A multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production*, 100, 297–314.
- Godichaud, M. & Amodeo, L.** (2015). Efficient multi-objective optimization of supply chain with returned products. *Journal of Manufacturing Systems*, In Press.
- Gomes, M. I., Zeballos, L. J., Barbosa-Povoa, A. & Novais, A.** (2011). Optimization of Closed-Loop Supply Chains under Uncertain Quality of Returns. *Computer Aided Chemical Engineering*, 29, 945-949.
- Gou, Q., Liang, L., Huang, Z. & Xua, C.** (2008). A joint inventory model for an open-loop reverse supply chain. *International Journal of Production Economics*, 116(1), 28-42.
- Govindan, K., Soleimani, H. & Kannan, D.** (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: a comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603–626.
- Guide Jr, V. D. R.** (2000). Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. *Journal of Operations Management*, 18(4), 467-483
- Güngör, A., Coşkun, S. & Koçu, G.** (2010). Tekstil sektöründe tedarikçi seçimine yönelik çevresel etki performans kriterlerinin modellenmesi. 10. *Ulusal üretim araştırmaları sempozyumu*, Girne Amerikan Üniversitesi, KKTC: Eylül 16-18.
- Hu, T. - L., Sheu, J. - B. & Huang, K. - H.** (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research Part E*, 38, 457-473.
- Hu, Z. - H., Sheu, J.- B., Zhao, L. & Lu, C. – C.** (2015). A dynamic closed-loop vehicle routing problem with uncertainty and incompatible goods. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 55, 273-297.
- Inderfurth, K., de Kok, A. G. & Flapper, S. D. P.** (2001). Product recovery in stochastic remanufacturing systems with multiple reuse options. *European Journal of Operational Research*, 133(1), 130-152.

- Jamshidi, M.** (2011). *Reverse Logistics*. In R. Z. Farahani, S. Rezapour, L. Kardar (Eds.), *Logistics Operations and Management*, Print ISBN-13: 978-0-12-385202-1, (Sf. 247-266).
- Jonrinaldi & Zhang, D. Z.** (2013). An integrated production and inventory model for a whole manufacturing supply chain involving reverse logistics with finite horizon period. *Omega*, 41(3), 598-620.
- Kahraman, C.** (2015). *Fuzzy Linear Programming*, Fuzzy Logic and Modelling (Lecture Notes), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kenné, J. - P., Dejax, P. & Gharbi, A.** (2012). Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 81-93.
- Kim, K., Song, I., Kim, J. & Jeong, B.** (2006). Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics environment. *Computers & Industrial Engineering*, 51(2), 279-287.
- Kim, H., Yang, J. & Lee, K. - D.** (2009). Vehicle routing in reverse logistics for recycling end-of-life consumer electronic goods in South Korea. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(5), 291-299.
- Kusumastuti, R. D., Piplani, R. & Lim, G. H.** (2008). Redesigning closed-loop service network at a computer manufacturer: A case study. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 244-260.
- Lambert, D. M. & Stock, J. R.** (1999). *Strategic logistics management*. Irwin McGraw-Hill International Editions Homewood, IL.
- Lee, C. K. M. & Chan, T. M.** (2009). Development of RFID-based Reverse Logistics System. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9299-9307.
- Lee, D. – H. & Dong, M.** (2009). Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1), 61-71.
- Lee, C. K. M. & Lam, J. S. L.** (2012). Managing reverse logistics to enhance sustainability of industrial marketing. *Industrial Marketing Management*, 41(4), 589-598.
- Lu, Z. & Bostel, N.** (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities. *Computers and Operations Research*, 34, 299-323.
- Mahadevan, B., Pyke, D. F. & Fleischmann, M.** (2003). Periodic review, push inventory policies for remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 536-551.
- Mehidi, S. H., Chakrabarty, N., Barua, A. & Bhowmick, T.** (2014). Integration of Reverse Logistics Network into an in- Plant Recycling Process: A Case Study of Steel Industry. *Global Journal of Researches in Engineering: G Industrial Engineering*, 14(5), 1-10.

- Min, H., Ko, H. J. & Ko, C. S.** (2006). A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*, 34(1), 56-69.
- Mutha, A. & Pokharel, S.** (2009). Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 334-346.
- Nakamura, S. & Kondo, Y.** (2006). A waste input-output life-cycle cost analysis of the recycling of end-of-life electrical home appliances. *Ecological Economics*, 57(3), 494-506.
- Neto, J. Q. F., Bloemhof-Ruwaard, J. M., van Nunen, J. A. E. E. & van Heck, E.** (2008). Designing and evaluating sustainable logistics networks. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 195-208.
- Özkır, V.** (2009). *Kapalı çevrim tedarik zinciri tasarımına yönelik karar destek modeli önerisi*. (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özkır, V. & Başlıgil, H.** (2013). Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment. *Journal of Cleaner Production*, 41, 114-125.
- Paksoy, T., Bektaş, T. & Özceylan, E.** (2011). Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 532-546.
- Pinna, R. & Carrus, P. P.** (2012). *Reverse Logistics and the Role of Fourth Party Logistics Provider*. In A. Groznik (Eds.), Pathways to Supply Chain Excellence, InTech Europe, Croatia.
- Pishvae, M. S. & Torabi, S. A.** (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 161(20), 2668-2683.
- Pokharel, S. & Mutha, A.** (2009). Perspectives in reverse logistics: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(4), 175-182.
- Qin, Z. & Ji, X.** (2010). Logistics network design for product recovery in fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 202(2), 479-490.
- Qu, X. & Williams, J. A. S.** (2008). An analytical model for reverse automotive production planning and pricing. *European Journal of Operational Research*, 190(3), 756-767.
- Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B. & Hejazi, T. H.** (2014). Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, 59, 108-120.
- Ramirez, A. M.** (2012). Product return and logistics knowledge: Influence on performance of the firm. *Transportation Research Part E*, 48, 1137-1151.

- Ravi, V. & Shankar, R.** (2005). Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(8), 1011-1029.
- Realff, M. J., Ammons, J. C. & Newton, D.** (2000). Strategic design of reverse production systems. *Computers & Chemical Engineering*, 24(2-7), 991-996.
- Rezapour, S., Farahani, R. Z., Fahimnia, B., Govindan, K. & Mansouri, Y.** (2015). Competitive closed-loop supply chain network design with price-dependent demands. *Journal of Cleaner Production*, 93, 251-272.
- Rogers, D. S. & Tibben-Lembke, R. S.** (1999). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reverse Logistics Executive Council, Pittsburg, PA, USA.
- Roghanian, E. & Pazhoheshfar, P.** (2014). An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(3), 348-356.
- Ross, T. J.** (1995). *Fuzzy logic with engineering applications*. McGraw-Hill, USA.
- Savaş, H. & Değirmenci, A. M.** (2010). SCOR modeli ve ölçüm değerlerinin belirlenmesi. 10. *Ulusal üretim araştırmaları sempozyumu*, Girne Amerikan Üniversitesi, KKTC: Eylül 16-18.
- Schultmann, F., Zumkeller, M. & Rentz, O.** (2006). Modelling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. *European Journal of Operational Research*, 171, 1033-1050.
- Scottish Border Council Rapport.** (2014). *Establishment of New Kiln Drying Capacity In Scottish Borders Feasibility Assessment*, EnviroCentre, Glasgow.
- Selim, H. & Özkarahan, I.** (2008). A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 401-418.
- Shi, J., Zhang, G. & Sha, J.** (2011a). Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return. *Computers and Operations Research*, 38(3), 641-650.
- Shi, J., Zhang, G. & Sha, J.** (2011b). Optimal production and pricing policy for a closed loop system. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 639-647.
- Shih, L. - H.** (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(1), 55-72.
- Silva, D. A. L., Renó, G. W. S., Sevegnani, G., Sevegnani, T. B. & Truzzi, O. M. S.** (2012). Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 47, 377-387.

- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E.** (2003). *Designing and managing the supply chain : concepts, strategies, and case studies*. Boston : McGraw-Hill/Irwin.
- Srivastava, S. K.** (2008). Network design for reverse logistics. *Omega*, 36, 535-548.
- Stock J. R.** (1992). *Reverse Logistics*. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.
- Tanyaş, M.** (2011). *Lojistik temel kavramlar : lojistiğe giriş*. In. Tanyaş, M., Hazır, K. (Eds.), Mersin: Çağ Üniversitesi Yayınları, no:17.
- Temur, G. T.** (2012). *Tersine lojistik ağlarında sürdürülebilirlik yaklaşımına yönelik çok amaçlı bir model önerisi: Elektronik atık sektöründe bir uygulama*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Temur, G. T., Bolat, B. & Bayraktar, D.** (2010). Yeşil tedarik zinciri yönetimine yönelik başarı faktörlerinin değerlendirilmesi. *10. Ulusal üretim araştırmaları sempozyumu*, Girne Amerikan Üniversitesi, KKTC: Eylül 16-18.
- Teunter, R. & van der Laan, E.** (2002). On the non-optimality of the average cost approach for inventory models with remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 79(1), 67-73.
- Thierry, M. C., Salomon, M., van Nunen, J. & Van Wassenhove, L.** (1995). Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37(2), 114-135.
- Tibben Lembeke, R. S.** (2002). Life after death: reverse logistics and the product life cycle. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(3), 223-244.
- Tiwari, R. N., Dharmar, S. & Rao, J. R.** (1987). Fuzzy goal programming: An additive model. *Fuzzy Set Systems*, 24, 27-34.
- Torabi, S. A. & Hassini, E.** (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems*, 159, 193-214.
- Tuzkaya, G.** (2008). *Tersine lojistik ağlarının stratejik planlamasına yönelik meta-sezgisel bir yaklaşım*. (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Url-1** < <http://www.statista.com/statistics/205966/world-carbon-dioxide-emissionsby-region/>>, alındığı tarih: 15.03.2015.
- Url-2** <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/17143/851260BRI0Live00Box382147B00PUBLIC0.pdf?sequence=1>>, alındığı tarih: 15.03.2015.
- Url-3** <http://www.fhwa.dot.gov/planning/processes/statewide/practices/ghg_emissions/ghg_webinar/index.cfm>, alındığı tarih: 20.03.2015.
- Url-4** <http://ecr-all.org/blog_post.php?blog=ecr_blog&post_id=1585>, alındığı tarih: 01.04.2015.

- Vezzetti, E., Moos, S. & Kretli, S.** (2011). A product lifecycle management methodology for supporting knowledge reuse in the consumer packaged goods domain. *Computer-Aided Design*, 43(12), 1902-1911.
- Wang, H. F. & Gupta, S. M.** (2011). *Green Supply Chain Management: Product Life Cycle Approach*. McGraw Hill Companies Inc., USA.
- Wang, H. - F. & Hsu, H. - W.** (2010). Resolution of an uncertain closed-loop logistics model: An application to fuzzy linear programs with risk analysis. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2148-2162.
- Wei, J. & Zhao, J.** (2013). Reverse channel decisions for a fuzzy closed-loop supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, 37(3), 1502-1513.
- Woolridge, A. C., Ward, G. D., Phillips, P. S., Collins, M. & Gandy, S.** (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 46(1), 94-103.
- Yang, G. - F., Wang, Z. - P. & Li, X. - Q.** (2009). The optimization of the closed-loop supply chain network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1), 16-28.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zeballos, L. J., Gomes, M.I., Barbosa-Povoa, A. P. & Novais, A. Q.** (2012). Addressing the uncertain quality and quantity of returns in closed-loop supply chains. *Computers & Chemical Engineering*, 47, 237-247.
- Zimmermann, H. J.** (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Set and Systems*, 1, 45-55.
- Ziout, A., Azab, A., Altarazi, S. & ElMaraghy, W. H.** (2013). Multi-criteria decision support for sustainability assessment of manufacturing system reuse. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(1), 59-69.

EKLER

EK A : Gerçek Hayat Örneğinin Parametre Değerleri

EK B : Tek hedefli modelin gerçek verilerle GAMS'te yazımı

EK C : Tek hedefli modelin GAMS çözümü

EK D : Bulanık hedef ve bulanık talepli çok amaçlı modelin GAMS'te yazımı

EK E : Bulanık hedef ve bulanık talepli çok amaçlı modelin GAMS çözümü

EK F : Bulanık talep ve bulanık geri dönüşüm oranlı çok amaçlı modelin
GAMS'te yazımı

EK G : Bulanık talep ve bulanık geri dönüşüm oranlı çok amaçlı modelin GAMS
çözümü

EK A : Gerçek Hayat Örneğinin Parametre Değerleri**Çizelge A.1 : Fabrika ile tedarikçi, bölge deposu ve distribütör arasındaki mesafeler.**

Tedarikçi /Bölge deposu/ Distribütörler	Fabrikaya olan mesafe (km)	Tedarikçi /Bölge deposu/ Distribütörler	Fabrikaya olan mesafe (km)
d ₅	200	d ₆	22
df ₁	462	d ₇	18
df ₂	573	d ₈	16
df ₃	943	d ₉	10
d ₁	11	d ₁₀	12
d ₂	7	d ₁₁	34
d ₃	14	d ₁₂	72
d ₄	10	d ₁₃	43
d ₅	17	d ₁₄	32

Çizelge A.2 : Distribütör grupları ve müşteri grupları arasındaki mesafeler.

Müşteri grubu 1							
	m1	m2	m3	m4	m5	m6	
d1	3	4	4.2	6.3	4	7.4	
d2	12	3.3	0.5	3.4	7.6	12.7	
d3	6.8	7.8	9	12	2.3	3	
d4	9.6	6.5	5.6	9.3	5	10	
Müşteri grubu 2							
	m7	m8	m9	m10	m11	m12	
d4	11	9	7.5	10	12	15	
d5	18.3	13	2	5	5	5	
d6	21	8	6.6	7.5	5	4	
Müşteri grubu 3							
m13	m14	m15	m16	m17	m18	m19	m20
6	4.5	4.3	4	19	17	5	4.8
4.7	2	4.7	4	17	13	3.3	3.4
12	8	11	9	12	10	6	10
4.8	2.5	6.7	5	15	11	1	4
20	20	17	18	38	33	22	20
Müşteri grubu 4							
		m21	m22				
	d11	4	13				
Müşteri grubu 5							
	m23	m24	m25	m26	m27	m28	
d12	22	20	32	40	45	50	
d13	12	14	5	12	16	20	
d14	20	23	13	5	7	10	

Çizelge A.3 : Ürün talepleri.

Bölge deposu	min		max		
	Ürün Çeşidi		Ürün Çeşidi		
	u1	u2	u1	u2	
f1	192.000	75.000	240.000	95.000	
f2	72.000	20.000	120.000	60.000	
f3	72.000	20.000	120.000	40.000	
Müşteriler	Ürün Çeşidi		Müşteriler	Ürün Çeşidi	
	u1	u2		u1	u2
m1	30.500	2.500	m15	43.200	3.000
m2	16.600	1.500	m16	28.800	2.000
m3	28.800	2.000	m17	69.200	7.000
m4	14.400	1.000	m18	52.800	4.500
m5	43.200	3.000	m19	86.400	8.000
m6	24.500	1.500	m20	38.400	3.500
m7	57.600	6.000	m21	43.200	6.000
m8	38.400	4.000	m22	28.800	4.000
m9	100.800	12.000	m23	106.000	22.400
m10	67.200	8.000	m24	86.000	16.000
m11	79.200	18.000	m25	79.200	6.000
m12	52.800	12.000	m26	48.000	4.000
m13	100.800	11.500	m27	72.000	18.000
m14	60.000	6.000	m28	81.600	12.000

Çizelge A.4 : Diğer parametre değerleri.

Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer
c_{uat} (TL/adet)	0.004	r_f^{min}	0.65	r_{h2}^{min}	0.03
C (TL/adet)	0.010851	r_f^{max}	0.80	r_{h3}^{mak}	0.03
Ca (TL/adet)	0.013564	r^{max}	0.85	r_e^{mak}	1.0
c_{deg} (TL/adet)	0.019	r^{min}	0.70	r_e^{min}	0.50
c_s (TL/adet)	0.019	r_{h1}	0.0015	A^e	0.30
c_{de} (TL/adet)	0.0347	r_{h2}^{mak}	0.07	A^c	0.40
Kap_{depo} (adet)	25.920.00	r_{h3}^{min}	0.015	K (TL/adet)	0.05
Kap_h (adet)	150.000	t (dk)	0.00112	t_g (dk)	0.0014
Parametre	u=1	u=2	Parametre	u=1	u=2
c_{ud} (TL/adet)	2.85	3.25	$Mins_u$ (adet)	750.000	100.000
G_{us} (TL/adet)	0.315	0.285	$Maxs_u$ (adet)	1.500.000	300.000
G_u (TL/adet)	0.22	0.15	DBS_u (adet)	3.575.000	1.750.000
w_u (kg)	0.845	0.830			

EK B : Tek hedefli modelin gerçek verilerle GAMS'te yazımı

Sets

l distribütör ve müşteriler /f1,f2,f3,d1*d14,m1*m28,d41,d111/
u urun /u1,u2/
dist1(l) /d1,d2,d3,d41/
dist2(l) /d4*d6/
dist3(l) /d7,d8,d9,d10,d111/
dist4(l) /d11/
dist5(l) /d12*d14/
bolge(l) /f1,f2,f3/
MG1(l) /m1*m6/
MG2(l) /m7*m12/
MG3(l) /m13*m20/
MG4(l) /m21,m22/
MG5(l) /m23*m28/
;

Parameters

cud(u) dolum maliyeti

/u1 2.85

u2 3.25 /

cuat Birim ayırma ve temizlik maliyeti

/0.004/

C Birim taşıma maliyeti

/0.010851/

Ca Birim taşıma maliyeti

/0.013564/

cdeg müşteriiden geri gelen ürün birim depolama maliyeti

/0.019/

cs tedarikçiden alınan yeni ürün birim depolama maliyeti

/0.019/

cde distributor-transfer merkezine gonderilecekler birim depolama maliyeti

/0.0347/

KAPdepo Fabrikanin depo kapasitesi

/25920000/

AE Geri toplanmis urunlerin depodaki yuzdesi

/0.30/

AC Musteriye gonderileceklerin depodaki yuzdesi
/0.40/

KAPH Hurdaya gonderilecekler deposunun kapasitesi (adetsise)
/150000/

K Toplanamayan şişe başına ödenen miktar
/0.05/

Mins(u) Tedarikçiden en az siparis verilmesi gereken miktar
/u1 750000
u2 100000 /

Maxs(u) Tedarikçiden en fazla siparis verilmesi gereken miktar
/u1 1500000
u2 300000 /

DBS(u) donem basi stok
/u1 3575000
u2 1750000/

dS Fabrika ile tedarikci arasi mesafe
/200/

Gus(u) Tedarikçiden ürün edinim maliyeti
/u1 0.315
u2 0.285
/

df(bolge) aktarma merkezleri ile fabrika arası mesafe
/
f1 462
f2 573
f3 943
/

dd1(dist1) fabrika ile distributor grubu 1 arası mesafe
/
d1 11
d2 7
d3 14
d41 10
/

dd2(dist2) fabrika ile distributor grubu 2 arası mesafe
/
d4 10
d5 17
d6 22
/

dd3(dist3) fabrika ile distributor grubu 3 arası mesafe

/

d7 18

d8 16

d9 10

d10 12

d111 34

/

dd4 fabrika ile distributor grubu 4 arası mesafe

/34/

Dd5(dist5) fabrika ile distributor grubu 5 arası mesafe

/

d12 72

d13 43

d14 32

/;

table dd1m1(dist1, MG1) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m1	m2	m3	m4	m5	m6
d1	3	4	4.2	6.3	4	7.4
d2	12	3.3	0.5	3.4	7.6	12.7
d3	6.8	7.8	9	12	2.3	3
d41	9.6	6.5	5.6	9.3	5	10

;

table dd2m2(dist2, MG2) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m7	m8	m9	m10	m11	m12
d4	11	9	7.5	10	12	15
d5	18.3	13	2	5	5	5
d6	21	8	6.6	7.5	5	4

;

table dd3m3(dist3, MG3) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m13	m14	m15	m16	m17	m18	m19	m20
d7	6	4.5	4.3	4	19	17	5	4.8
d8	4.7	2	4.7	4	17	13	3.3	3.4
d9	12	8	11	9	12	10	6	10
d10	4.8	2.5	6.7	5	15	11	1	4
d111	20	20	17	18	38	33	22	20

;

Parameter dd4m4(MG4) distributorler ve musteriler arası mesafe

/

m21 4

m22 13

/;

table dd5m5(dist5,MG5) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m23	m24	m25	m26	m27	m28
d12	22	20	32	40	45	50
d13	12	14	5	12	16	20
d14	20	23	13	5	7	10

;

table talepminf(bolge,u)

	u1	u2
f1	192000	75000
f2	72000	20000
f3	72000	20000

;

table talepmax(bolge,u)

	u1	u2
f1	240000	95000
f2	120000	60000
f3	120000	40000

;

table talepMG1(MG1,u) musteriler talepleri 1

	u1	u2
m1	30500	2500
m2	16600	1500
m3	28800	2000
m4	14400	1000
m5	43200	3000
m6	24500	1500

;

table talepMG2(MG2,u) musteriler talepleri 2

	u1	u2
m7	57600	6000
m8	38400	4000
m9	100800	12000
m10	67200	8000
m11	79200	16000
m12	52800	12000

;

table talepMG3(MG3,u) musteriler talepleri 3

	u1	u2
m13	100800	11500
m14	60000	6000
m15	43200	3000
m16	28800	2000
m17	69200	7000
m18	52800	4500
m19	86400	8000
m20	38400	3500 ;

table talepMG4(MG4,u) musteri talepleri 4

	u1	u2
m21	43200	6000
m22	28800	4000

;

table talepMG5(MG5,u) musteri talepleri 5

	u1	u2
m23	106000	22400
m24	86000	16000
m25	79200	6000
m26	48000	4000
m27	72000	18000
m28	81600	12000

;

parameter Gu(u) boslarin edinim fiyati

/

u1	0.22
u2	0.15

/;

parameters rfmin(bolge)

/

f1	0.65
f2	0.65
f3	0.65

/;

parameters rfmax(bolge)

/

f1	0.80
f2	0.80
f3	0.80

/;

parameters r

/0.85/ ;

parameters r1

/0.70/ ;

parameter kap1(dist1)

/

d1	180000
d2	180000
d3	200000
d41	240000

/;

```

parameter kap2(dist2)
/
d4 240000
d5 180000
d6 180000
/ ;

```

```

parameter kap3(dist3)
/
d7 175000
d8 175000
d9 180000
d10 195000
d11 205000
/;

```

```

parameter kap4
/205000/;

```

```

parameter kap5(dist5)
/
d12 360000
d13 240000
d14 312000
/;

```

positive variables

Xus(u)	tedarikçiden yeni alınan ürün miktarı
Xud1(dist1,u)	1. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud1g(dist1,u)	1. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud1k(dist1,u)	1. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud2(dist2,u)	2. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud2g(dist2,u)	2. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud2k(dist2,u)	2. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud3(dist3,u)	3. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud3g(dist3,u)	3. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud3k(dist3,u)	3. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud4(dist4,u)	4. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud4g(dist4,u)	4. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud4k(dist4,u)	4. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud5(dist5,u)	5. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud5g(dist5,u)	5. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud5k(dist5,u)	5. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xuf(bölge,u)	bölge depolarına gönderilenler (ileri akış)
Xufg(bölge,u)	bölge depolarında tersine ürün akışı
Xufk(bölge,u)	bölge depolarındaki kayıp ürün miktarı
Xud1m1(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud1m1g(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud1m1k(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

Xud2m2(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud2m2g(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud2m2k(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud3m3(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud3m3g(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud3m3k(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud4m4(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud4m4g(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud4m4k(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud5m5(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud5m5g(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud5m5k(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xue(u)	fazladan üretilecek urun miktarı
Xuh1(u)	1. tip hurda urun miktarı
Xuh2(u)	2. tip hurda urun miktarı
Xuh3(u)	3. tip hurda urun miktarı
Xuh(u)	u. üründen toplam hurda miktarı
TEM	toplam edinim maliyeti
TDL	toplam dolum maliyeti
TIHM	toplam isleme ve hazırlık maliyeti
TTM	toplam tasima maliyeti
TDM	toplam depolama maliyeti
Cev	kayıp ürün maliyeti
;	

free variables

z toplam maliyet ;

binary variable

y1(dist1,MG1)
y2(dist2,MG2)
y3(dist3,MG3)
y4(dist4,MG4)
y5(dist5,MG5)
y6(dist1)
y7(dist2)
y8(dist3)
y9(dist4)
y10(dist5)
y11(dist1,MG1)
y12(dist2,MG2)
y13(dist3,MG3)
y14(dist4,MG4)
y15(dist5,MG5)
;

equations

Aurun(u)
denge1(bolge,u)
denge2(dist1,u)

denge3(dist2,u)
 denge4(dist3,u)
 denge5(dist4,u)
 denge6(dist5,u)
 denge7(dist1,MG1,u)
 denge8(dist2,MG2,u)
 denge9(dist3,MG3,u)
 denge10(dist4,MG4,u)
 denge11(dist5,MG5,u)
 denge12(dist1,u)
 denge13(dist2,u)
 denge14(dist3,u)
 denge15(dist4,u)
 denge16(dist5,u)
 denge17(dist1,u)
 denge18(dist2,u)
 denge19(dist3,u)
 denge20(dist4,u)
 denge21(dist5,u)
 denge22(dist1,u)
 denge23(dist2,u)
 denge24(dist3,u)
 denge25(dist4,u)
 denge26(dist5,u)
 hurda(u)
 hurda1(u)
 hurdaust2(u)
 hurdaalt3(u)
 hurdaust4(u)
 hurdaalt5(u)
 fazlaurunust(u)
 fazlaurunalt(u)
 yikamak
 geridonen1(bolge,u)
 geridonen12(bolge,u)
 geridonen2(dist1,u)
 geridonen3(dist2,u)
 geridonen4(dist3,u)
 geridonen5(dist4,u)
 geridonen6(dist5,u)
 geridonen7(dist1,MG1,u)
 geridonen8(dist2,MG2,u)
 geridonen9(dist3,MG3,u)
 geridonen10(dist4,MG4,u)
 geridonen11(dist5,MG5,u)
 geridonen121(dist1,u)
 geridonen13(dist2,u)
 geridonen14(dist3,u)
 geridonen15(dist4,u)
 geridonen16(dist5,u)

geridonen17(dist1,MG1,u)
 geridonen18(dist2,MG2,u)
 geridonen19(dist3,MG3,u)
 geridonen20(dist4,MG4,u)
 geridonen21(dist5,MG5,u)
 depo1
 depo2
 depo3
 depo4(u)
 talep1(u)
 talep2
 talep3
 talep4(MG1,u)
 talep5(MG2,u)
 talep6(MG3,u)
 talep7(MG4,u)
 talep8(MG5,u)
 kapasite1(dist1)
 kapasite2(dist2)
 kapasite3(dist3)
 kapasite4(dist4)
 kapasite5(dist5)
 totcost
 kisit5(dist1,MG1)
 kisit6(dist1,MG1)
 kisit7(dist2,MG2)
 kisit8(dist2,MG2)
 kisit9(dist3,MG3)
 kisit10(dist3,MG3)
 kisit11(dist4,MG4)
 kisit12(dist4,MG4)
 kisit13(dist5,MG5)
 kisit14(dist5,MG5)
 kisit15(dist1)
 kisit16(dist1)
 kisit17(dist2)
 kisit18(dist2)
 kisit19(dist3)
 kisit20(dist3)
 kisit21(dist4)
 kisit22(dist4)
 kisit23(dist5)
 kisit24(dist5)
 kisit25(dist1,MG1,u)
 kisit26(dist1)
 kisit27(dist2,MG2,u)
 kisit28(dist2)
 kisit29(dist3,MG3,u)
 kisit30(dist3)
 kisit31(dist4,MG4,u)

kisit32(dist4)
 kisit33(dist5,MG5,u)
 kisit34(dist5)
 kapasited4
 kapasited11
 za
 zb
 zc
 zd
 ze
 zf ;

totcost.. z=e= TEM+TDL+TIHM+TTM+TDM+Cev ;

za.. TEM =e= sum(u,Xus(u)*Gus(u))+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*Gu(u))
 +sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*Gu(u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*Gu(u))
 +sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*Gu(u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*Gu(u))
 +sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*Gu(u)) ;

zb.. TDL =e= sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*cud(u))
 +sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*cud(u))+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*cud(u))
 +sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*cud(u))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*cud(u))
 +sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*cud(u))+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*cud(u))
 +sum((dist1,u),Xud1(dist1,u)*cud(u))+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u)*cud(u))
 +sum((dist3,u),Xud3(dist3,u)*cud(u))+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u)*cud(u))
 +sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)*cud(u))+sum(u,Xue(u)*cud(u)) ;

zc.. TIHM =e= cuat*(sum((bolge,u),Xufg(bolge,u))
 +sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u))
 +sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u))
 +sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u))+sum(u,Xue(u))) ;

zd.. TTM =e= Ca*(sum(u,Xus(u)*dS)+sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*df(bolge))
 +sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*df(bolge))+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*dd1(dist1))
 +sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*dd2(dist2))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*dd3(dist3))
 +sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*dd4)+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*dd5(dist5))
 +sum((dist1,u),Xud1(dist1,u)*dd1(dist1))+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u)*dd2(dist2))
 +sum((dist3,u),Xud3(dist3,u)*dd3(dist3))+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u)*dd4)
 +sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)*dd5(dist5)))
 +C*(sum((dist1,MG1,u),Xud1m1(dist1,MG1,u)*dd1m1(dist1,MG1))
 +sum((dist2,MG2,u),Xud2m2(dist2,MG2,u)*dd2m2(dist2,MG2))
 +sum((dist3,MG3,u),Xud3m3(dist3,MG3,u)*dd3m3(dist3,MG3))
 +sum((dist4,MG4,u),Xud4m4(dist4,MG4,u)*dd4m4(MG4))
 +sum((dist5,MG5,u),Xud5m5(dist5,MG5,u)*dd5m5(dist5,MG5))
 +sum((dist1,MG1,u),Xud1m1g(dist1,MG1,u)*dd1m1(dist1,MG1))
 +sum((dist2,MG2,u),Xud2m2g(dist2,MG2,u)*dd2m2(dist2,MG2))
 +sum((dist3,MG3,u),Xud3m3g(dist3,MG3,u)*dd3m3(dist3,MG3))
 +sum((dist4,MG4,u),Xud4m4g(dist4,MG4,u)*dd4m4(MG4))
 +sum((dist5,MG5,u),Xud5m5g(dist5,MG5,u)*dd5m5(dist5,MG5))) ;

ze.. TDM =e= sum(u, Xus(u))*cs+sum(u,Xue(u))*cde
+sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*CDE)+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*cdeg)
+(sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u))
+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u))
+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)))*cdeg+(sum((dist1,u),Xud1(dist1,u))
+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u))+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u))
+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u))+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)))*cde ;

zf.. Cev =e= (sum((bolge,u),Xufk(bolge,u))+sum((dist1,u),Xud1k(dist1,u))
+sum((dist2,u),Xud2k(dist2,u))+sum((dist3,u),Xud3k(dist3,u))
+sum((dist4,u),Xud4k(dist4,u))+sum((dist5,u),Xud5k(dist5,u)))*K ;

Aurun(u)..Xus(u)+sum(dist1,Xud1g(dist1,u))+sum(dist2,Xud2g(dist2,u))
+sum(dist3,Xud3g(dist3,u))+sum(dist4,Xud4g(dist4,u))+sum(dist5,Xud5g(dist5,u))
+sum(bolge,Xufg(bolge,u))+DBS(u)-Xue(u) =g= sum(bolge,Xuf(bolge,u))
+sum(dist1,Xud1(dist1,u))+sum(dist2,Xud2(dist2,u))+sum(dist3,Xud3(dist3,u))
+sum(dist4,Xud4(dist4,u))+sum(dist5,Xud5(dist5,u))+Xuh(u) ;

kisit5(dist1,MG1).. Xud1m1(dist1,MG1,'u1')- 10000000*y1(dist1,MG1)=l= 0 ;

kisit6(dist1,MG1).. Xud1m1(dist1,MG1,'u2')- 10000000*y1(dist1,MG1)=l= 0 ;

kisit7(dist2,MG2).. Xud2m2(dist2,MG2,'u1')-10000000*y2(dist2,MG2)=l= 0 ;

kisit8(dist2,MG2).. Xud2m2(dist2,MG2,'u2')-10000000*y2(dist2,MG2)=l= 0 ;

kisit9(dist3,MG3).. Xud3m3(dist3,MG3,'u1')-10000000*y3(dist3,MG3)=l= 0 ;

kisit10(dist3,MG3).. Xud3m3(dist3,MG3,'u2')-10000000*y3(dist3,MG3)=l= 0 ;

kisit11(dist4,MG4).. Xud4m4(dist4,MG4,'u1')-10000000*y4(dist4,MG4)=l= 0 ;

kisit12(dist4,MG4).. Xud4m4(dist4,MG4,'u2')-10000000*y4(dist4,MG4)=l= 0 ;

kisit13(dist5,MG5).. Xud5m5(dist5,MG5,'u1')-10000000*y5(dist5,MG5)=l= 0 ;

kisit14(dist5,MG5).. Xud5m5(dist5,MG5,'u2')-10000000*y5(dist5,MG5)=l= 0 ;

kisit15(dist1).. Xud1(dist1,'u1')-1000000*y6(dist1) =l= 0 ;

kisit16(dist1).. Xud1(dist1,'u2')-1000000*y6(dist1) =l= 0 ;

kisit17(dist2).. Xud2(dist2,'u1')-1000000*y7(dist2) =l= 0 ;

kisit18(dist2).. Xud2(dist2,'u1')-1000000*y7(dist2) =l= 0 ;

kisit19(dist3).. Xud3(dist3,'u1')-1000000*y8(dist3) =l= 0 ;

kisit20(dist3).. Xud3(dist3,'u2')-1000000*y8(dist3) =l= 0 ;

kisit21(dist4).. Xud4(dist4,'u1')-1000000*y9(dist4) =l= 0 ;
 kisit22(dist4).. Xud4(dist4,'u2')-1000000*y9(dist4) =l= 0 ;
 kisit23(dist5).. Xud5(dist5,'u1')-1000000*y10(dist5) =l= 0 ;
 kisit24(dist5).. Xud5(dist5,'u2')-1000000*y10(dist5) =l= 0 ;
 kisit25(dist1,MG1,u).. Xud1m1(dist1,MG1,u)- 10000000*y11(dist1,MG1) =l= 0 ;
 kisit26(dist1).. sum(MG1,y11(dist1,MG1)) =l= 2 ;
 kisit27(dist2,MG2,u).. Xud2m2(dist2,MG2,u)- 10000000*y12(dist2,MG2) =l= 0 ;
 kisit28(dist2).. sum(MG2,y12(dist2,MG2)) =l= 2 ;
 kisit29(dist3,MG3,u).. Xud3m3(dist3,MG3,u)- 10000000*y13(dist3,MG3) =l= 0 ;
 kisit30(dist3).. sum(MG3,y13(dist3,MG3)) =l= 2 ;
 kisit31(dist4,MG4,u).. Xud4m4(dist4,MG4,u)- 10000000*y14(dist4,MG4) =l= 0 ;
 kisit32(dist4).. sum(MG4,y14(dist4,MG4)) =l= 2 ;
 kisit33(dist5,MG5,u).. Xud5m5(dist5,MG5,u)- 10000000*y15(dist5,MG5) =l= 0 ;
 kisit34(dist5).. sum(MG5,y15(dist5,MG5)) =l= 2 ;
 denge1(bolge,u).. Xufg(bolge,u)+Xufk(bolge,u) =e= Xuf(bolge,u);
 denge2(dist1,u).. Xud1g(dist1,u)+Xud1k(dist1,u) =e= Xud1(dist1,u);
 denge3(dist2,u).. Xud2g(dist2,u)+Xud2k(dist2,u) =e= Xud2(dist2,u);
 denge4(dist3,u).. Xud3g(dist3,u)+Xud3k(dist3,u) =e= Xud3(dist3,u);
 denge5(dist4,u).. Xud4g(dist4,u)+Xud4k(dist4,u) =e= Xud4(dist4,u);
 denge6(dist5,u).. Xud5g(dist5,u)+Xud5k(dist5,u) =e= Xud5(dist5,u);
 denge7(dist1,MG1,u).. Xud1m1g(dist1,MG1,u)+Xud1m1k(dist1,MG1,u) =e=
 Xud1m1(dist1,MG1,u);
 denge8(dist2,MG2,u).. Xud2m2g(dist2,MG2,u)+Xud2m2k(dist2,MG2,u) =e=
 Xud2m2(dist2,MG2,u);
 denge9(dist3,MG3,u).. Xud3m3g(dist3,MG3,u)+Xud3m3k(dist3,MG3,u) =e=
 Xud3m3(dist3,MG3,u);

denge10(dist4, MG4, u).. $Xud4m4g(dist4, MG4, u) + Xud4m4k(dist4, MG4, u) = e = Xud4m4(dist4, MG4, u);$

denge11(dist5, MG5, u).. $Xud5m5g(dist5, MG5, u) + Xud5m5k(dist5, MG5, u) = e = Xud5m5(dist5, MG5, u);$

denge12(dist1, u).. $Xud1(dist1, u) = e = \text{sum}(MG1, Xud1m1(dist1, MG1, u));$

denge13(dist2, u).. $Xud2(dist2, u) = e = \text{sum}(MG2, Xud2m2(dist2, MG2, u));$

denge14(dist3, u).. $Xud3(dist3, u) = e = \text{sum}(MG3, Xud3m3(dist3, MG3, u));$

denge15(dist4, u).. $Xud4(dist4, u) = e = \text{sum}(MG4, Xud4m4(dist4, MG4, u));$

denge16(dist5, u).. $Xud5(dist5, u) = e = \text{sum}(MG5, Xud5m5(dist5, MG5, u));$

denge17(dist1, u).. $Xud1g(dist1, u) = e = \text{sum}(MG1, Xud1m1g(dist1, MG1, u));$

denge18(dist2, u).. $Xud2g(dist2, u) = e = \text{sum}(MG2, Xud2m2g(dist2, MG2, u));$

denge19(dist3, u).. $Xud3g(dist3, u) = e = \text{sum}(MG3, Xud3m3g(dist3, MG3, u));$

denge20(dist4, u).. $Xud4g(dist4, u) = e = \text{sum}(MG4, Xud4m4g(dist4, MG4, u));$

denge21(dist5, u).. $Xud5g(dist5, u) = e = \text{sum}(MG5, Xud5m5g(dist5, MG5, u));$

denge22(dist1, u).. $Xud1k(dist1, u) = e = \text{sum}(MG1, Xud1m1k(dist1, MG1, u));$

denge23(dist2, u).. $Xud2k(dist2, u) = e = \text{sum}(MG2, Xud2m2k(dist2, MG2, u));$

denge24(dist3, u).. $Xud3k(dist3, u) = e = \text{sum}(MG3, Xud3m3k(dist3, MG3, u));$

denge25(dist4, u).. $Xud4k(dist4, u) = e = \text{sum}(MG4, Xud4m4k(dist4, MG4, u));$

denge26(dist5, u).. $Xud5k(dist5, u) = e = \text{sum}(MG5, Xud5m5k(dist5, MG5, u));$

hurda(u).. $Xuh(u) = e = Xuh1(u) + Xuh2(u) + Xuh3(u) ;$

hurda1(u).. $Xuh1(u) = e = 0.0015 * Xus(u) ;$

hurdaust2(u).. $Xuh2(u) = l = 0.07 * (\text{sum}(\text{bolge}, Xufg(\text{bolge}, u)) + \text{sum}(\text{dist1}, Xud1g(\text{dist1}, u)) + \text{sum}(\text{dist2}, Xud2g(\text{dist2}, u)) + \text{sum}(\text{dist3}, Xud3g(\text{dist3}, u)) + \text{sum}(\text{dist4}, Xud4g(\text{dist4}, u)) + \text{sum}(\text{dist5}, Xud5g(\text{dist5}, u))) ;$

hurdaalt3(u).. $Xuh2(u) = g = 0.03 * (\text{sum}(\text{bolge}, Xufg(\text{bolge}, u)) + \text{sum}(\text{dist1}, Xud1g(\text{dist1}, u)) + \text{sum}(\text{dist2}, Xud2g(\text{dist2}, u)) + \text{sum}(\text{dist3}, Xud3g(\text{dist3}, u)) + \text{sum}(\text{dist4}, Xud4g(\text{dist4}, u)) + \text{sum}(\text{dist5}, Xud5g(\text{dist5}, u))) ;$

hurdaust4(u).. $Xuh3(u) = l = 0.03 * (\text{sum}(\text{bolge}, Xufg(\text{bolge}, u)) + \text{sum}(\text{dist1}, Xud1g(\text{dist1}, u)) + \text{sum}(\text{dist2}, Xud2g(\text{dist2}, u)) + \text{sum}(\text{dist3}, Xud3g(\text{dist3}, u))$

+sum(dist4,Xud4g(dist4,u))+sum(dist5,Xud5g(dist5,u))) ;

hurdaalt5(u).. Xuh3(u)=g= 0.015*(sum(bolge,Xufg(bolge,u))
+sum(dist1,Xud1g(dist1,u))+sum(dist2,Xud2g(dist2,u))+sum(dist3,Xud3g(dist3,u))
+sum(dist4,Xud4g(dist4,u))+sum(dist5,Xud5g(dist5,u))) ;

fazlaurunust(u).. Xue(u) =l= Xus(u)+sum(bolge,Xufg(bolge,u))
+sum(dist1,Xud1g(dist1,u))+sum(dist2,Xud2g(dist2,u))
+sum(dist3,Xud3g(dist3,u))+sum(dist4,Xud4g(dist4,u))+sum(dist5,Xud5g(dist5,u));

fazlaurunalt(u).. Xue(u) =g= 0.5*Xus(u)+ 0.5*(sum(bolge,Xufg(bolge,u))
+sum(dist1,Xud1g(dist1,u))+sum(dist2,Xud2g(dist2,u))
+sum(dist3,Xud3g(dist3,u))+sum(dist4,Xud4g(dist4,u))+sum(dist5,Xud5g(dist5,u)));

yikamak.. 0.00112*sum(u,Xus(u))+0.0014*(sum((bolge,u),Xufg(bolge,u))
+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u))
+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u))
+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u))) =l= 9600 ;

geridonen1(bolge,u).. Xufg(bolge,u) =l= rfmax(bolge)*Xuf(bolge,u) ;

geridonen12(bolge,u).. Xufg(bolge,u) =g= rfmin(bolge)*Xuf(bolge,u) ;

geridonen2(dist1,u).. Xud1g(dist1,u) =l= r*Xud1(dist1,u) ;

geridonen3(dist2,u).. Xud2g(dist2,u) =l= r*Xud2(dist2,u) ;

geridonen4(dist3,u).. Xud3g(dist3,u) =l= r*Xud3(dist3,u) ;

geridonen5(dist4,u).. Xud4g(dist4,u) =l= r*Xud4(dist4,u) ;

geridonen6(dist5,u).. Xud5g(dist5,u) =l= r*Xud5(dist5,u) ;

geridonen7(dist1,MG1,u).. Xud1m1g(dist1,MG1,u) =l= r*Xud1m1(dist1,MG1,u) ;

geridonen8(dist2,MG2,u).. Xud2m2g(dist2,MG2,u) =l= r*Xud2m2(dist2,MG2,u) ;

geridonen9(dist3,MG3,u).. Xud3m3g(dist3,MG3,u) =l= r*Xud3m3(dist3,MG3,u) ;

geridonen10(dist4,MG4,u).. Xud4m4g(dist4,MG4,u) =l= r*Xud4m4(dist4,MG4,u) ;

geridonen11(dist5,MG5,u).. Xud5m5g(dist5,MG5,u) =l= r*Xud5m5(dist5,MG5,u) ;

geridonen121(dist1,u).. Xud1g(dist1,u) =g= r1*Xud1(dist1,u) ;

geridonen13(dist2,u).. Xud2g(dist2,u) =g= r1*Xud2(dist2,u) ;

geridonen14(dist3,u).. Xud3g(dist3,u) =g= r1*Xud3(dist3,u) ;

geridonen15(dist4,u).. Xud4g(dist4,u) =g= r1*Xud4(dist4,u) ;

$\text{geridonen16}(\text{dist5},u).. \text{Xud5g}(\text{dist5},u) = g = r1 * \text{Xud5}(\text{dist5},u) ;$
 $\text{geridonen17}(\text{dist1},\text{MG1},u).. \text{Xud1m1g}(\text{dist1},\text{MG1},u) = g = r1 * \text{Xud1m1}(\text{dist1},\text{MG1},u)$
 $;$
 $\text{geridonen18}(\text{dist2},\text{MG2},u).. \text{Xud2m2g}(\text{dist2},\text{MG2},u) = g = r1 * \text{Xud2m2}(\text{dist2},\text{MG2},u)$
 $;$
 $\text{geridonen19}(\text{dist3},\text{MG3},u).. \text{Xud3m3g}(\text{dist3},\text{MG3},u) = g = r1 * \text{Xud3m3}(\text{dist3},\text{MG3},u)$
 $;$
 $\text{geridonen20}(\text{dist4},\text{MG4},u).. \text{Xud4m4g}(\text{dist4},\text{MG4},u) = g = r1 * \text{Xud4m4}(\text{dist4},\text{MG4},u)$
 $;$
 $\text{geridonen21}(\text{dist5},\text{MG5},u).. \text{Xud5m5g}(\text{dist5},\text{MG5},u) = g = r1 * \text{Xud5m5}(\text{dist5},\text{MG5},u)$
 $;$
 $\text{depo1}.. \text{sum}((\text{bolge},u),\text{Xufg}(\text{bolge},u)) + \text{sum}((\text{dist1},u),\text{Xud1g}(\text{dist1},u))$
 $+ \text{sum}((\text{dist2},u),\text{Xud2g}(\text{dist2},u)) + \text{sum}((\text{dist3},u),\text{Xud3g}(\text{dist3},u))$
 $+ \text{sum}((\text{dist4},u),\text{Xud4g}(\text{dist4},u)) + \text{sum}((\text{dist5},u),\text{Xud5g}(\text{dist5},u)) = l = \text{KAPdepo} * \text{AE} ;$
 $\text{depo2}.. (\text{sum}((\text{bolge},u),\text{Xuf}(\text{bolge},u)) + \text{sum}((\text{dist1},u),\text{Xud1}(\text{dist1},u))$
 $+ \text{sum}((\text{dist2},u),\text{Xud2}(\text{dist2},u)) + \text{sum}((\text{dist3},u),\text{Xud3}(\text{dist3},u))$
 $+ \text{sum}((\text{dist4},u),\text{Xud4}(\text{dist4},u)) + \text{sum}((\text{dist5},u),\text{Xud5}(\text{dist5},u))) = l = \text{KAPdepo} * \text{AC} ;$
 $\text{depo3}.. \text{sum}(u,\text{Xuh}(u)) = l = \text{KAPH} ;$
 $\text{depo4}(u).. \text{Xus}(u) = l = \text{Maxs}(u) ;$
 $\text{talep1}(u).. \text{Xus}(u) = g = \text{Mins}(u) ;$
 $\text{talep2}(\text{bolge},u).. \text{Xuf}(\text{bolge},u) = l = \text{talepmax}(\text{bolge},u) ;$
 $\text{talep3}(\text{bolge},u).. \text{Xuf}(\text{bolge},u) = g = \text{talepminf}(\text{bolge},u) ;$
 $\text{talep4}(\text{MG1},u).. \text{sum}(\text{dist1},\text{Xud1m1}(\text{dist1},\text{MG1},u)) = g = \text{talepMG1}(\text{MG1},u) ;$
 $\text{talep5}(\text{MG2},u).. \text{sum}(\text{dist2},\text{Xud2m2}(\text{dist2},\text{MG2},u)) = g = \text{talepMG2}(\text{MG2},u) ;$
 $\text{talep6}(\text{MG3},u).. \text{sum}(\text{dist3},\text{Xud3m3}(\text{dist3},\text{MG3},u)) = g = \text{talepMG3}(\text{MG3},u) ;$
 $\text{talep7}(\text{MG4},u).. \text{sum}(\text{dist4},\text{Xud4m4}(\text{dist4},\text{MG4},u)) = g = \text{talepMG4}(\text{MG4},u) ;$
 $\text{talep8}(\text{MG5},u).. \text{sum}(\text{dist5},\text{Xud5m5}(\text{dist5},\text{MG5},u)) = g = \text{talepMG5}(\text{MG5},u) ;$
 $\text{kapasite1}(\text{dist1}).. \text{sum}((\text{MG1},u),\text{Xud1m1}(\text{dist1},\text{MG1},u)) = l = \text{kap1}(\text{dist1}) ;$
 $\text{kapasite2}(\text{dist2}).. \text{sum}((\text{MG2},u),\text{Xud2m2}(\text{dist2},\text{MG2},u)) = l = \text{kap2}(\text{dist2}) ;$
 $\text{kapasite3}(\text{dist3}).. \text{sum}((\text{MG3},u),\text{Xud3m3}(\text{dist3},\text{MG3},u)) = l = \text{kap3}(\text{dist3}) ;$

kapasite4(dist4).. sum((MG4,u),Xud4m4(dist4,MG4,u))=l=kap4 ;

kapasite5(dist5).. sum((MG5,u),Xud5m5(dist5,MG5,u))=l=kap5(dist5) ;

kapasited4.. sum((MG1,u),Xud1m1('d41',MG1,u))
+sum((MG2,u),Xud2m2('d4',MG2,u))=l= 230000 ;

kapasited11.. sum((MG3,u),Xud3m3('d111',MG3,u))
+sum((MG4,u),Xud4m4('d11',MG4,u))=l= 205000 ;

model reverse /all/ ;

OPTION optcr=0;

OPTION limrow=50;

solve reverse using mip minimizing z;

display z.l,Xus.l,TEM.l, TDL.l, TTM.l, TIHM.l, TDM.l, Cev.l,Xuf.l,Xud1.l,Xud2.l,
Xud3.l, Xud4.l, Xud5.l,Xud1m1.l,Xud2m2.l,Xud3m3.l,Xud4m4.l,Xud5m5.l,Xufg.l,
Xud1g.l,Xud2g.l, Xud3g.l, Xud4g.l, Xud5g.l,Xud1m1g.l,Xud2m2g.l,Xud3m3g.l,
Xud4m4g.l,Xud5m5g.l,Xufk.l,Xud1k.l,Xud2k.l,Xud3k.l, Xud4k.l,Xud5k.l,
Xud1m1k.l, Xud2m2k.l,Xud3m3k.l,Xud4m4k.l,Xud5m5k.l,Xuh.l,Xue.l, Xuh1.l,
Xuh2.l, Xuh3.l ;

EK C : Tek hedefli modelin GAMS çözümü

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 240 WEX-VS8 24.0.2 x86/MS Windows 05/18/15 21:50:31
Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution

---- 755 VARIABLE z.L = 2.288094E+7 toplam maliyet

---- 755 VARIABLE Xus.L tedarikçiden yeni alınan ürün miktarı
u1 750000.000, u2 100000.000

---- 758 VARIABLE TEM.L = 588441.100 toplam edinim maliyeti
 VARIABLE TDL.L = 1.443762E+7 toplam dolum maliyeti
 VARIABLE TTM.L = 9489216.887 toplam tasima maliyeti
 VARIABLE TIHM.L = 10942.460 toplam isleme ve hazirlik maliyeti
 VARIABLE TDM.L = 164369.563 toplam depolama maliyeti
 VARIABLE Cev.L = 34619.500 kayıp ürün maliyeti

---- 755 VARIABLE Xuf.L bölge depolarına gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2

f1 192000.000 75000.000
f2 72000.000 20000.000
f3 72000.000 20000.000

---- 755 VARIABLE Xud1.L 1. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2

d1 47100.000 4000.000
d2 43200.000 3000.000
d3 24500.000 1500.000
d41 43200.000 3000.000

---- 755 VARIABLE Xud2.L 2. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2

d4 158400.000 18000.000
d5 146400.000 24000.000
d6 91200.000 16000.000

---- 755 VARIABLE Xud3.L 3. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2

d7 72000.000 5000.000
d8 139200.000 15000.000
d9 122000.000 11500.000

d10 146400.000 14000.000

---- 755 VARIABLE Xud4.L 4. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d11	72000.000	10000.000

---- 755 VARIABLE Xud5.L 5. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d12	134000.000	20000.000
d13	185200.000	28400.000
d14	153600.000	30000.000

---- 755 VARIABLE Xud1m1.L M1 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d1 .m1	30500.000	2500.000
d1 .m2	16600.000	1500.000
d2 .m3	28800.000	2000.000
d2 .m4	14400.000	1000.000
d3 .m6	24500.000	1500.000
d41.m5	43200.000	3000.000

---- 755 VARIABLE Xud2m2.L M2 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d4.m7	57600.000	6000.000
d4.m9	100800.000	12000.000
d5.m10	67200.000	8000.000
d5.m11	79200.000	16000.000
d6.m8	38400.000	4000.000
d6.m12	52800.000	12000.000

---- 755 VARIABLE Xud3m3.L M3 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d7 .m15	43200.000	3000.000
d7 .m16	28800.000	2000.000
d8 .m13	100800.000	11500.000
d8 .m20	38400.000	3500.000
d9 .m17	69200.000	7000.000
d9 .m18	52800.000	4500.000
d10 .m14	60000.000	6000.000
d10 .m19	86400.000	8000.000

---- 755 VARIABLE Xud4m4.L M4 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d11.m21	43200.000	6000.000
d11.m22	28800.000	4000.000

---- 755 VARIABLE Xud5m5.L M5 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d12.m24	86000.000	16000.000
d12.m26	48000.000	4000.000
d13.m23	106000.000	22400.000
d13.m25	79200.000	6000.000
d14.m27	72000.000	18000.000
d14.m28	81600.000	12000.000

---- 755 VARIABLE Xufg.L bölge depolarında tersine ürün akışı

	u1	u2
f1	124800.000	48750.000
f2	46800.000	13000.000
f3	46800.000	13000.000

---- 755 VARIABLE Xud1g.L 1. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d1	32970.000	2800.000
d2	30240.000	2100.000
d3	17150.000	1050.000
d41	30240.000	2100.000

---- 755 VARIABLE Xud2g.L 2. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d4	110880.000	12600.000
d5	102480.000	16800.000
d6	63840.000	11200.000

---- 755 VARIABLE Xud3g.L 3. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d7	50400.000	3500.000
d8	97440.000	10500.000
d9	85400.000	8050.000
d10	102480.000	9800.000

---- 755 VARIABLE Xud4g.L 4. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d11	50400.000	7000.000

---- 755 VARIABLE Xud5g.L 5. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d12	93800.000	14000.000
d13	129640.000	19880.000
d14	107520.000	21000.000

---- 755 VARIABLE Xud1m1g.L M1 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d1 .m1	21350.000	1750.000
d1 .m2	11620.000	1050.000

d2 .m3	20160.000	1400.000
d2 .m4	10080.000	700.000
d3 .m6	17150.000	1050.000
d41.m5	30240.000	2100.000

---- 755 VARIABLE Xud2m2g.L M2 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d4.m7	40320.000	4200.000
d4.m9	70560.000	8400.000
d5.m10	47040.000	5600.000
d5.m11	55440.000	11200.000
d6.m8	26880.000	2800.000
d6.m12	36960.000	8400.000

---- 755 VARIABLE Xud3m3g.L M3 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d7 .m15	30240.000	2100.000
d7 .m16	20160.000	1400.000
d8 .m13	70560.000	8050.000
d8 .m20	26880.000	2450.000
d9 .m17	48440.000	4900.000
d9 .m18	36960.000	3150.000
d10 .m14	42000.000	4200.000
d10 .m19	60480.000	5600.000

---- 755 VARIABLE Xud4m4g.L M4 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d11.m21	30240.000	4200.000
d11.m22	20160.000	2800.000

---- 755 VARIABLE Xud5m5g.L M5 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d12.m24	60200.000	11200.000
d12.m26	33600.000	2800.000
d13.m23	74200.000	15680.000
d13.m25	55440.000	4200.000
d14.m27	50400.000	12600.000
d14.m28	57120.000	8400.000

---- 755 VARIABLE Xufk.L bölge depolarındaki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
f1	67200.000	26250.000
f2	25200.000	7000.000
f3	25200.000	7000.000

---- 755 VARIABLE Xud1k.L 1. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d1	14130.000	1200.000
d2	12960.000	900.000
d3	7350.000	450.000

d41 12960.000 900.000

---- 755 VARIABLE Xud2k.L 2. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

u1 u2

d4 47520.000 5400.000

d5 43920.000 7200.000

d6 27360.000 4800.000

---- 755 VARIABLE Xud3k.L 3. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

u1 u2

d7 21600.000 1500.000

d8 41760.000 4500.000

d9 36600.000 3450.000

d10 43920.000 4200.000

---- 755 VARIABLE Xud4k.L 4. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

u1 u2

d11 21600.000 3000.000

---- 755 VARIABLE Xud5k.L 5. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

u1 u2

d12 40200.000 6000.000

d13 55560.000 8520.000

d14 46080.000 9000.000

---- 755 VARIABLE Xud1m1k.L M1 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

u1 u2

d1 .m1 9150.000 750.000

d1 .m2 4980.000 450.000

d2 .m3 8640.000 600.000

d2 .m4 4320.000 300.000

d3 .m6 7350.000 450.000

d41.m5 12960.000 900.000

---- 755 VARIABLE Xud2m2k.L M2 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

u1 u2

d4.m7 17280.000 1800.000

d4.m9 30240.000 3600.000

d5.m10 20160.000 2400.000

d5.m11 23760.000 4800.000

d6.m8 11520.000 1200.000

d6.m12 15840.000 3600.000

---- 755 VARIABLE Xud3m3k.L M3 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

u1 u2

d7 .m15 12960.000 900.000

d7 .m16	8640.000	600.000
d8 .m13	30240.000	3450.000
d8 .m20	11520.000	1050.000
d9 .m17	20760.000	2100.000
d9 .m18	15840.000	1350.000
d10 .m14	18000.000	1800.000
d10 .m19	25920.000	2400.000

---- 755 VARIABLE Xud4m4k.L M4 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d11.m21	12960.000	1800.000
d11.m22	8640.000	1200.000

---- 755 VARIABLE Xud5m5k.L M5 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d12.m24	25800.000	4800.000
d12.m26	14400.000	1200.000
d13.m23	31800.000	6720.000
d13.m25	23760.000	1800.000
d14.m27	21600.000	5400.000
d14.m28	24480.000	3600.000

---- 755 VARIABLE Xuh.L u. üründen toplam hurda miktarı
u1 60672.600, u2 9920.850

---- 755 VARIABLE Xue.L fazladan üretilecek urun miktarı
u1 1036640.000, u2 158565.000

---- 755 VARIABLE Xuh1.L 1. tip hurda urun miktarı
u1 1125.000, u2 150.000

---- 755 VARIABLE Xuh2.L 2. tip hurda urun miktarı
u1 39698.400, u2 6513.900

---- 755 VARIABLE Xuh3.L 3. tip hurda urun miktarı
u1 19849.200, u2 3256.950

EXECUTION TIME = 0.016 SECONDS

EK D : Bulanık hedef ve bulanık talepli çok amaçlı modelin GAMS'te yazımı

Sets

l distribütör ve müşteriler /f1,f2,f3,d1*d14,m1*m28,d41,d111/
u urun /u1,u2/
dist1(l) /d1,d2,d3,d41/
dist2(l) /d4*d6/
dist3(l) /d7,d8,d9,d10,d111/
dist4(l) /d11/
dist5(l) /d12*d14/
bolge(l) /f1,f2,f3/
MG1(l) /m1*m6/
MG2(l) /m7*m12/
MG3(l) /m13*m20/
MG4(l) /m21,m22/
MG5(l) /m23*m28/
;

set h amac fonksiyonları /amac1TM,amac2COe,amac3TK/ ;

set a uyelik fonksiyonları /min,max/;

Set pheader / amac1TM, amac2COe, amac3TK / ;

Table pdata(h,a)

	min	max
amac1TM	2.472521E+7	5.459752E+7
amac2COe	4.937298E+7	9.293747E+7
amac3TK	357470.000	1136850.000

;

Parameters

cud(u) dolum maliyeti

/u1 2.85

u2 3.25 /

cuat Birim ayırma ve temizlik maliyeti

/0.004/

C Birim taşıma maliyeti

/0.010851/

Ca Birim taşıma maliyeti

/0.013564/

cdeg müşteri den geri gelen ürün birim depolama maliyeti

/0.019/

cs tedarikçiden alınan yeni ürün birim depolama maliyeti

/0.019/

cde distributor-transfer merkezine gonderilecekler birim depolama maliyeti
/0.0347/

KAPdepo Fabrikanin depo kapasitesi
/25920000/

AE Geri toplanmis urunlerin depodaki yuzdesi
/0.30/

AC Musteriye gonderileceklerin depodaki yuzdesi
/0.40/

KAPH Hurdaya gonderilecekler deposunun kapasitesi (adetsise)
/150000/

K Toplanamayan şişe başına ödenen miktar
/0.05/

Mins(u) Tedarikçiden en az siparis verilmesi gereken miktar
/u1 750000
u2 100000 /

Maxs(u) Tedarikçiden en fazla siparis verilmesi gereken miktar
/u1 1500000
u2 300000 /

DBS(u) donem basi stok
/u1 3575000
u2 1750000/

dS Fabrika ile tedarikci arasi mesafe
/200/

Gus(u) Tedarikçiden ürün edinim maliyeti
/u1 0.315
u2 0.285
/

df(bolge) aktarma merkezleri ile fabrika arası mesafe
/
f1 462
f2 573
f3 943
/

dd1(dist1) fabrika ile distributor grubu 1 arası mesafe
/
d1 11

d2 7
d3 14
d41 10
/

dd2(dist2) fabrika ile distributor grubu 2 arası mesafe
/
d4 10
d5 17
d6 22
/

dd3(dist3) fabrika ile distributor grubu 3 arası mesafe
/
d7 18
d8 16
d9 10
d10 12
d111 34
/

dd4 fabrika ile distributor grubu 4 arası mesafe
/34/

Dd5(dist5) fabrika ile distributor grubu 5 arası mesafe
/
d12 72
d13 43
d14 32
/;

table dd1m1(dist1, MG1) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m1	m2	m3	m4	m5	m6
d1	3	4	4.2	6.3	4	7.4
d2	12	3.3	0.5	3.4	7.6	12.7
d3	6.8	7.8	9	12	2.3	3
d41	9.6	6.5	5.6	9.3	5	10

;

table dd2m2(dist2, MG2) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m7	m8	m9	m10	m11	m12
d4	11	9	7.5	10	12	15
d5	18.3	13	2	5	5	5
d6	21	8	6.6	7.5	5	4

;

```

table dd3m3(dist3,MG3)  distributorler ve musteriler arası mesafe
      m13  m14  m15  m16  m17  m18  m19  m20
d7      6    4.5  4.3   4   19   17   5    4.8
d8     4.7    2   4.7   4   17   13   3.3   3.4
d9     12    8   11    9   12   10    6    10
d10    4.8   2.5  6.7   5   15   11    1     4
d111   20    20   17   18   38   33   22    20
;

```

```

Parameter dd4m4(MG4)  distributorler ve musteriler arası mesafe
/
m21    4
m22   13
/;

```

```

table dd5m5(dist5,MG5)  distributorler ve musteriler arası mesafe
      m23  m24  m25  m26  m27  m28
d12   22   20   32   40   45   50
d13   12   14    5   12   16   20
d14   20   23   13    5    7   10
;

```

```

table talepminf(bolge,u)
      u1      u2
f1  192000    75000
f2   72000    20000
f3   72000    20000
;

```

```

table talepmax(bolge,u)
      u1      u2
f1  240000    95000
f2  120000    60000
f3  120000    40000
;

```

```

table talepMG1(MG1,u)  musteriler talepleri 1
      u1      u2
m1    30500    2500
m2    16600    1500
m3    28800    2000
m4    14400    1000
m5    43200    3000
m6    24500    1500
;

```

```

table talepMG2(MG2,u)  musteriler talepleri 2
      u1      u2
m7    57600    6000
m8    38400    4000
m9   100800   12000

```

m10	67200	8000
m11	79200	16000
m12	52800	12000

;

table talepMG3(MG3,u) musteri talepleri 3

	u1	u2
m13	100800	11500
m14	60000	6000
m15	43200	3000
m16	28800	2000
m17	69200	7000
m18	52800	4500
m19	86400	8000
m20	38400	3500

;

table talepMG4(MG4,u) musteri talepleri 4

	u1	u2
m21	43200	6000
m22	28800	4000

;

table talepMG5(MG5,u) musteri talepleri 5

	u1	u2
m23	106000	22400
m24	86000	16000
m25	79200	6000
m26	48000	4000
m27	72000	18000
m28	81600	12000

;

parameter Gu(u) boslarin edinim fiyatı

/

u1 0.22

u2 0.15

/;

parameters rfmin(bolge)

/

f1 0.65

f2 0.65

f3 0.65

/;

parameters rfmax(bolge)

/

f1 0.80

f2 0.80

f3 0.80/;

```
parameters r  
/0.85/ ;
```

```
parameters r1  
/0.70/ ;
```

```
parameter kap1(dist1)  
/ d1 180000  
d2 180000  
d3 200000  
d41 240000  
/;
```

```
parameter kap2(dist2)  
/  
d4 240000  
d5 180000  
d6 180000  
/ ;
```

```
parameter kap3(dist3)  
/  
d7 175000  
d8 175000  
d9 180000  
d10 195000  
d111 205000  
/;
```

```
parameter kap4  
/205000/;
```

```
parameter kap5(dist5)  
/  
d12 360000  
d13 240000  
d14 312000  
/;
```

```
parameter w(u) Agirlik (kg)  
/u1 0.845  
u2 0.830  
/  
;
```

positive variables

Xus(u)	tedarikçiden yeni alınan ürün miktarı
Xud1(dist1,u)	1. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud1g(dist1,u)	1. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud1k(dist1,u)	1. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

Xud2(dist2,u)	2. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud2g(dist2,u)	2. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud2k(dist2,u)	2. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud3(dist3,u)	3. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud3g(dist3,u)	3. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud3k(dist3,u)	3. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud4(dist4,u)	4. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud4g(dist4,u)	4. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud4k(dist4,u)	4. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud5(dist5,u)	5. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud5g(dist5,u)	5. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud5k(dist5,u)	5. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xuf(bolge,u)	bölge depolarına gönderilenler (ileri akış)
Xufg(bolge,u)	bölge depolarında tersine ürün akışı
Xufk(bolge,u)	bölge depolarındaki kayıp ürün miktarı
Xud1m1(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud1m1g(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud1m1k(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud2m2(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud2m2g(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud2m2k(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud3m3(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud3m3g(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud3m3k(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud4m4(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud4m4g(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud4m4k(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud5m5(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud5m5g(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud5m5k(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xue(u)	fazladan üretilecek urun miktarı
Xuh1(u)	1. tip hurda urun miktarı
Xuh2(u)	2. tip hurda urun miktarı
Xuh3(u)	3. tip hurda urun miktarı
Xuh(u)	u. üründen toplam hurda miktarı
TEM	toplam edinim maliyeti
TDL	toplam dolum maliyeti
TIHM	toplam isleme ve hazirlik maliyeti
TTM	toplam tasima maliyeti
TDM	toplam depolama maliyeti
Cev	kayıp ürün maliyeti
lambda1	
lambda2	
lambda3	
lambda4	
lambda5	
lambda6	
;	
free variables	
z(h)	toplam maliyet

t ;

binary variable

y1(dist1,MG1)

y2(dist2,MG2)

y3(dist3,MG3)

y4(dist4,MG4)

y5(dist5,MG5)

y6(dist1)

y7(dist2)

y8(dist3)

y9(dist4)

y10(dist5)

y11(dist1,MG1)

y12(dist2,MG2)

y13(dist3,MG3)

y14(dist4,MG4)

y15(dist5,MG5)

;

equations

amac

totcost

totCOe

totkayip

Aurun(u)

denge1(bolge,u)

denge2(dist1,u)

denge3(dist2,u)

denge4(dist3,u)

denge5(dist4,u)

denge6(dist5,u)

denge7(dist1,MG1,u)

denge8(dist2,MG2,u)

denge9(dist3,MG3,u)

denge10(dist4,MG4,u)

denge11(dist5,MG5,u)

denge12(dist1,u)

denge13(dist2,u)

denge14(dist3,u)

denge15(dist4,u)

denge16(dist5,u)

denge17(dist1,u)

denge18(dist2,u)

denge19(dist3,u)

denge20(dist4,u)

denge21(dist5,u)

denge22(dist1,u)

denge23(dist2,u)

denge24(dist3,u)

denge25(dist4,u)
denge26(dist5,u)
hurda(u)
hurda1(u)
hurdaust2(u)
hurdaalt3(u)
hurdaust4(u)
hurdaalt5(u)
fazlaurunust(u)
fazlaurunalt(u)
yikamak
geridonen1(bolge,u)
geridonen12(bolge,u)
geridonen2(dist1,u)
geridonen3(dist2,u)
geridonen4(dist3,u)
geridonen5(dist4,u)
geridonen6(dist5,u)
geridonen7(dist1,MG1,u)
geridonen8(dist2,MG2,u)
geridonen9(dist3,MG3,u)
geridonen10(dist4,MG4,u)
geridonen11(dist5,MG5,u)
geridonen121(dist1,u)
geridonen13(dist2,u)
geridonen14(dist3,u)
geridonen15(dist4,u)
geridonen16(dist5,u)
geridonen17(dist1,MG1,u)
geridonen18(dist2,MG2,u)
geridonen19(dist3,MG3,u)
geridonen20(dist4,MG4,u)
geridonen21(dist5,MG5,u)
depo1
depo2
depo3
depo4(u)
talep1(u)
talep2
talep3
talep4(MG1,u)
talep5(MG2,u)
talep6(MG3,u)
talep7(MG4,u)
talep8(MG5,u)
kapasite1(dist1)
kapasite2(dist2)
kapasite3(dist3)
kapasite4(dist4)
kapasite5(dist5)

totcost
kisit5(dist1,MG1)
kisit6(dist1,MG1)
kisit7(dist2,MG2)
kisit8(dist2,MG2)
kisit9(dist3,MG3)
kisit10(dist3,MG3)
kisit11(dist4,MG4)
kisit12(dist4,MG4)
kisit13(dist5,MG5)
kisit14(dist5,MG5)
kisit15(dist1)
kisit16(dist1)
kisit17(dist2)
kisit18(dist2)
kisit19(dist3)
kisit20(dist3)
kisit21(dist4)
kisit22(dist4)
kisit23(dist5)
kisit24(dist5)
kisit25(dist1,MG1,u)
kisit26(dist1)
kisit27(dist2,MG2,u)
kisit28(dist2)
kisit29(dist3,MG3,u)
kisit30(dist3)
kisit31(dist4,MG4,u)
kisit32(dist4)
kisit33(dist5,MG5,u)
kisit34(dist5)
kapasited4
kapasited11
uyelik1
uyelik2
uyelik3
uyelik6(bolge,u)
uyelik7(bolge,u)
uyelik10(bolge,u)
uyelik11(bolge,u)
uyelik14(bolge,u)
uyelik15(bolge,u)
kisit1
kisit2
kisit3
kisit41
kisit51
kisit61
za
zb

zc
zd
ze
zf
;

amac.. t=e=0.35*lambda1+0.20*lambda2+0.15*lambda3+0.10*lambda4
+0.10*lambda5+0.10*lambda6 ;

totcost.. z('amac1TM') =e= TEM+TDL+TIHM+TTM+TDM+Cev ;

totCOe.. z('amac2COe') =e= 84*0.001*(sum(u,Xus(u)*w(u)*dS)+sum((bolge,u),
Xuf(bolge,u)*w(u)*df(bolge))+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*w(u)*df(bolge))
+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*w(u)*dd1(dist1))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*w(u)
*dd2(dist2))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*w(u)*dd3(dist3))+sum((dist4,u),
Xud4g(dist4,u)*w(u)*dd4)+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*w(u)*dd5(dist5))
+sum((dist1,u),Xud1(dist1,u)*w(u)*dd1(dist1))+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u)*w(u)*
dd2(dist2))+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u)*w(u)*dd3(dist3))+sum((dist4,u),
Xud4(dist4,u)*w(u)*dd4)+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)*w(u)*dd5(dist5)))
+62*0.001*(sum((dist1,MG1,u),Xud1m1(dist1,MG1,u)*w(u)*dd1m1(dist1,MG1))
+sum((dist2,MG2,u),Xud2m2(dist2,MG2,u)*w(u)*dd2m2(dist2,MG2))
+sum((dist3,MG3,u),Xud3m3(dist3,MG3,u)*w(u)*dd3m3(dist3,MG3))
+sum((dist4,MG4,u),Xud4m4(dist4,MG4,u)*w(u)*dd4m4(MG4))
+sum((dist5,MG5,u),Xud5m5(dist5,MG5,u)*w(u)*dd5m5(dist5,MG5))
+sum((dist1,MG1,u),Xud1m1g(dist1,MG1,u)*w(u)*dd1m1(dist1,MG1))
+sum((dist2,MG2,u),Xud2m2g(dist2,MG2,u)*w(u)*dd2m2(dist2,MG2))
+sum((dist3,MG3,u),Xud3m3g(dist3,MG3,u)*w(u)*dd3m3(dist3,MG3))
+sum((dist4,MG4,u),Xud4m4g(dist4,MG4,u)*w(u)*dd4m4(MG4))
+sum((dist5,MG5,u),Xud5m5g(dist5,MG5,u)*w(u)*dd5m5(dist5,MG5)))
;

totkayip..z('amac3TK')=e= sum((bolge,u),Xufk(bolge,u))
+sum((dist1,u),Xud1k(dist1,u))+sum((dist2,u),Xud2k(dist2,u))
+sum((dist3,u),Xud3k(dist3,u))+sum((dist4,u),Xud4k(dist4,u))
+sum((dist5,u),Xud5k(dist5,u)) ;

za.. TEM =e= sum(u,Xus(u)*Gus(u))+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*Gu(u))
+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*Gu(u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*Gu(u))
+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*Gu(u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*Gu(u))
+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*Gu(u)) ;

zb.. TDL =e= sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*cud(u))
+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*cud(u))+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*cud(u))
+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*cud(u))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*cud(u))
+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*cud(u))+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*cud(u))
+sum((dist1,u),Xud1(dist1,u)*cud(u))+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u)*cud(u))
+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u)*cud(u))+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u)*cud(u))
+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)*cud(u))+sum(u,Xue(u)*cud(u)) ;

zc.. TIHM =e= cuat*(sum((bolge,u),Xufg(bolge,u))
+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u))

+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u))
+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u))+sum(u,Xue(u))) ;

zd.. TTM =e= Ca*(sum(u,Xus(u)*dS)+sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*df(bolge))
+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*df(bolge))+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*dd1(dist1))
+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*dd2(dist2))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*dd3(dist3))
)+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*dd4)+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*dd5(dist5))
+sum((dist1,u),Xud1(dist1,u)*dd1(dist1))+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u)*dd2(dist2))
+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u)*dd3(dist3))+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u)*dd4)
+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)*dd5(dist5)))
+C*(sum((dist1,MG1,u),Xud1m1(dist1,MG1,u)*dd1m1(dist1,MG1))
+sum((dist2,MG2,u),Xud2m2(dist2,MG2,u)*dd2m2(dist2,MG2))
+sum((dist3,MG3,u),Xud3m3(dist3,MG3,u)*dd3m3(dist3,MG3))
+sum((dist4,MG4,u),Xud4m4(dist4,MG4,u)*dd4m4(MG4))
+sum((dist5,MG5,u),Xud5m5(dist5,MG5,u)*dd5m5(dist5,MG5))
+sum((dist1,MG1,u),Xud1m1g(dist1,MG1,u)*dd1m1(dist1,MG1))
+sum((dist2,MG2,u),Xud2m2g(dist2,MG2,u)*dd2m2(dist2,MG2))
+sum((dist3,MG3,u),Xud3m3g(dist3,MG3,u)*dd3m3(dist3,MG3))
+sum((dist4,MG4,u),Xud4m4g(dist4,MG4,u)*dd4m4(MG4))
+sum((dist5,MG5,u),Xud5m5g(dist5,MG5,u)*dd5m5(dist5,MG5))) ;

ze.. TDM =e= sum(u, Xus(u))*cs+sum(u,Xue(u))*cde
+sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*CDE)+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*cdeg)
+(sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u))
+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u))
+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)))*cdeg+(sum((dist1,u),Xud1(dist1,u))
+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u))+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u))
+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u))+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)))*cde ;

zf.. Cev =e= (sum((bolge,u),Xufk(bolge,u))+sum((dist1,u),Xud1k(dist1,u))
+sum((dist2,u),Xud2k(dist2,u))+sum((dist3,u),Xud3k(dist3,u))
+sum((dist4,u),Xud4k(dist4,u))+sum((dist5,u),Xud5k(dist5,u)))*K ;

Aurun(u)..Xus(u)+sum(dist1,Xud1g(dist1,u))+sum(dist2,Xud2g(dist2,u))
+sum(dist3,Xud3g(dist3,u))+sum(dist4,Xud4g(dist4,u))+sum(dist5,Xud5g(dist5,u))
+sum(bolge,Xufg(bolge,u))+DBS(u)-Xue(u) =g= sum(bolge,Xuf(bolge,u))
+sum(dist1,Xud1(dist1,u))+sum(dist2,Xud2(dist2,u))+sum(dist3,Xud3(dist3,u))
+sum(dist4,Xud4(dist4,u))+sum(dist5,Xud5(dist5,u))+Xuh(u) ;

kisit5(dist1,MG1).. Xud1m1(dist1,MG1,'u1')- 10000000*y1(dist1,MG1)=l= 0 ;

kisit6(dist1,MG1).. Xud1m1(dist1,MG1,'u2')- 10000000*y1(dist1,MG1)=l= 0 ;

kisit7(dist2,MG2).. Xud2m2(dist2,MG2,'u1')-10000000*y2(dist2,MG2)=l= 0 ;

kisit8(dist2,MG2).. Xud2m2(dist2,MG2,'u2')-10000000*y2(dist2,MG2)=l= 0 ;

kisit9(dist3,MG3).. Xud3m3(dist3,MG3,'u1')-10000000*y3(dist3,MG3)=l= 0 ;

kisit10(dist3,MG3).. Xud3m3(dist3,MG3,'u2')-10000000*y3(dist3,MG3)=l= 0 ;

kisit11(dist4,MG4).. Xud4m4(dist4,MG4,'u1')-10000000*y4(dist4,MG4)=l= 0 ;
 kisit12(dist4,MG4).. Xud4m4(dist4,MG4,'u2')-10000000*y4(dist4,MG4)=l= 0 ;
 kisit13(dist5,MG5).. Xud5m5(dist5,MG5,'u1')-10000000*y5(dist5,MG5)=l= 0 ;
 kisit14(dist5,MG5).. Xud5m5(dist5,MG5,'u2')-10000000*y5(dist5,MG5)=l= 0 ;
 kisit15(dist1).. Xud1(dist1,'u1')-1000000*y6(dist1) =l= 0 ;
 kisit16(dist1).. Xud1(dist1,'u2')-1000000*y6(dist1) =l= 0 ;
 kisit17(dist2).. Xud2(dist2,'u1')-1000000*y7(dist2) =l= 0 ;
 kisit18(dist2).. Xud2(dist2,'u1')-1000000*y7(dist2) =l= 0 ;
 kisit19(dist3).. Xud3(dist3,'u1')-1000000*y8(dist3) =l= 0 ;
 kisit20(dist3).. Xud3(dist3,'u2')-1000000*y8(dist3) =l= 0 ;
 kisit21(dist4).. Xud4(dist4,'u1')-1000000*y9(dist4) =l= 0 ;
 kisit22(dist4).. Xud4(dist4,'u2')-1000000*y9(dist4) =l= 0 ;
 kisit23(dist5).. Xud5(dist5,'u1')-1000000*y10(dist5) =l= 0 ;
 kisit24(dist5).. Xud5(dist5,'u2')-1000000*y10(dist5) =l= 0 ;
 kisit25(dist1,MG1,u).. Xud1m1(dist1,MG1,u)- 10000000*y11(dist1,MG1) =l= 0 ;
 kisit26(dist1).. sum(MG1,y11(dist1,MG1)) =l= 2 ;
 kisit27(dist2,MG2,u).. Xud2m2(dist2,MG2,u)- 10000000*y12(dist2,MG2) =l= 0 ;
 kisit28(dist2).. sum(MG2,y12(dist2,MG2)) =l= 2 ;
 kisit29(dist3,MG3,u).. Xud3m3(dist3,MG3,u)- 10000000*y13(dist3,MG3) =l= 0 ;
 kisit30(dist3).. sum(MG3,y13(dist3,MG3)) =l= 2 ;
 kisit31(dist4,MG4,u).. Xud4m4(dist4,MG4,u)- 10000000*y14(dist4,MG4) =l= 0 ;
 kisit32(dist4).. sum(MG4,y14(dist4,MG4)) =l= 2 ;
 kisit33(dist5,MG5,u).. Xud5m5(dist5,MG5,u)- 10000000*y15(dist5,MG5) =l= 0 ;
 kisit34(dist5).. sum(MG5,y15(dist5,MG5)) =l= 2 ;
 denge1(bolge,u).. Xufg(bolge,u)+Xufk(bolge,u) =e= Xuf(bolge,u);

$\text{denge2}(\text{dist1}, u) \dots \text{Xud1g}(\text{dist1}, u) + \text{Xud1k}(\text{dist1}, u) = \text{Xud1}(\text{dist1}, u);$
 $\text{denge3}(\text{dist2}, u) \dots \text{Xud2g}(\text{dist2}, u) + \text{Xud2k}(\text{dist2}, u) = \text{Xud2}(\text{dist2}, u);$
 $\text{denge4}(\text{dist3}, u) \dots \text{Xud3g}(\text{dist3}, u) + \text{Xud3k}(\text{dist3}, u) = \text{Xud3}(\text{dist3}, u);$
 $\text{denge5}(\text{dist4}, u) \dots \text{Xud4g}(\text{dist4}, u) + \text{Xud4k}(\text{dist4}, u) = \text{Xud4}(\text{dist4}, u);$
 $\text{denge6}(\text{dist5}, u) \dots \text{Xud5g}(\text{dist5}, u) + \text{Xud5k}(\text{dist5}, u) = \text{Xud5}(\text{dist5}, u);$
 $\text{denge7}(\text{dist1}, \text{MG1}, u) \dots \text{Xud1m1g}(\text{dist1}, \text{MG1}, u) + \text{Xud1m1k}(\text{dist1}, \text{MG1}, u) = \text{Xud1m1}(\text{dist1}, \text{MG1}, u);$
 $\text{denge8}(\text{dist2}, \text{MG2}, u) \dots \text{Xud2m2g}(\text{dist2}, \text{MG2}, u) + \text{Xud2m2k}(\text{dist2}, \text{MG2}, u) = \text{Xud2m2}(\text{dist2}, \text{MG2}, u);$
 $\text{denge9}(\text{dist3}, \text{MG3}, u) \dots \text{Xud3m3g}(\text{dist3}, \text{MG3}, u) + \text{Xud3m3k}(\text{dist3}, \text{MG3}, u) = \text{Xud3m3}(\text{dist3}, \text{MG3}, u);$
 $\text{denge10}(\text{dist4}, \text{MG4}, u) \dots \text{Xud4m4g}(\text{dist4}, \text{MG4}, u) + \text{Xud4m4k}(\text{dist4}, \text{MG4}, u) = \text{Xud4m4}(\text{dist4}, \text{MG4}, u);$
 $\text{denge11}(\text{dist5}, \text{MG5}, u) \dots \text{Xud5m5g}(\text{dist5}, \text{MG5}, u) + \text{Xud5m5k}(\text{dist5}, \text{MG5}, u) = \text{Xud5m5}(\text{dist5}, \text{MG5}, u);$
 $\text{denge12}(\text{dist1}, u) \dots \text{Xud1}(\text{dist1}, u) = \text{sum}(\text{MG1}, \text{Xud1m1}(\text{dist1}, \text{MG1}, u));$
 $\text{denge13}(\text{dist2}, u) \dots \text{Xud2}(\text{dist2}, u) = \text{sum}(\text{MG2}, \text{Xud2m2}(\text{dist2}, \text{MG2}, u));$
 $\text{denge14}(\text{dist3}, u) \dots \text{Xud3}(\text{dist3}, u) = \text{sum}(\text{MG3}, \text{Xud3m3}(\text{dist3}, \text{MG3}, u));$
 $\text{denge15}(\text{dist4}, u) \dots \text{Xud4}(\text{dist4}, u) = \text{sum}(\text{MG4}, \text{Xud4m4}(\text{dist4}, \text{MG4}, u));$
 $\text{denge16}(\text{dist5}, u) \dots \text{Xud5}(\text{dist5}, u) = \text{sum}(\text{MG5}, \text{Xud5m5}(\text{dist5}, \text{MG5}, u));$
 $\text{denge17}(\text{dist1}, u) \dots \text{Xud1g}(\text{dist1}, u) = \text{sum}(\text{MG1}, \text{Xud1m1g}(\text{dist1}, \text{MG1}, u));$
 $\text{denge18}(\text{dist2}, u) \dots \text{Xud2g}(\text{dist2}, u) = \text{sum}(\text{MG2}, \text{Xud2m2g}(\text{dist2}, \text{MG2}, u));$
 $\text{denge19}(\text{dist3}, u) \dots \text{Xud3g}(\text{dist3}, u) = \text{sum}(\text{MG3}, \text{Xud3m3g}(\text{dist3}, \text{MG3}, u));$
 $\text{denge20}(\text{dist4}, u) \dots \text{Xud4g}(\text{dist4}, u) = \text{sum}(\text{MG4}, \text{Xud4m4g}(\text{dist4}, \text{MG4}, u));$
 $\text{denge21}(\text{dist5}, u) \dots \text{Xud5g}(\text{dist5}, u) = \text{sum}(\text{MG5}, \text{Xud5m5g}(\text{dist5}, \text{MG5}, u));$
 $\text{denge22}(\text{dist1}, u) \dots \text{Xud1k}(\text{dist1}, u) = \text{sum}(\text{MG1}, \text{Xud1m1k}(\text{dist1}, \text{MG1}, u));$
 $\text{denge23}(\text{dist2}, u) \dots \text{Xud2k}(\text{dist2}, u) = \text{sum}(\text{MG2}, \text{Xud2m2k}(\text{dist2}, \text{MG2}, u));$
 $\text{denge24}(\text{dist3}, u) \dots \text{Xud3k}(\text{dist3}, u) = \text{sum}(\text{MG3}, \text{Xud3m3k}(\text{dist3}, \text{MG3}, u));$

$\text{denge25}(\text{dist4},u) \dots \text{Xud4k}(\text{dist4},u) = e = \text{sum}(\text{MG4}, \text{Xud4m4k}(\text{dist4},\text{MG4},u));$
 $\text{denge26}(\text{dist5},u) \dots \text{Xud5k}(\text{dist5},u) = e = \text{sum}(\text{MG5}, \text{Xud5m5k}(\text{dist5},\text{MG5},u));$
 $\text{hurda}(u) \dots \text{Xuh}(u) = e = \text{Xuh1}(u) + \text{Xuh2}(u) + \text{Xuh3}(u) ;$
 $\text{hurda1}(u) \dots \text{Xuh1}(u) = e = 0.0015 * \text{Xus}(u) ;$
 $\text{hurdaust2}(u) \dots \text{Xuh2}(u) = l = 0.07 * (\text{sum}(\text{bolge}, \text{Xufg}(\text{bolge},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist1}, \text{Xud1g}(\text{dist1},u)) + \text{sum}(\text{dist2}, \text{Xud2g}(\text{dist2},u)) + \text{sum}(\text{dist3}, \text{Xud3g}(\text{dist3},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist4}, \text{Xud4g}(\text{dist4},u)) + \text{sum}(\text{dist5}, \text{Xud5g}(\text{dist5},u))) ;$
 $\text{hurdaalt3}(u) \dots \text{Xuh2}(u) = g = 0.03 * (\text{sum}(\text{bolge}, \text{Xufg}(\text{bolge},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist1}, \text{Xud1g}(\text{dist1},u)) + \text{sum}(\text{dist2}, \text{Xud2g}(\text{dist2},u)) + \text{sum}(\text{dist3}, \text{Xud3g}(\text{dist3},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist4}, \text{Xud4g}(\text{dist4},u)) + \text{sum}(\text{dist5}, \text{Xud5g}(\text{dist5},u))) ;$
 $\text{hurdaust4}(u) \dots \text{Xuh3}(u) = l = 0.03 * (\text{sum}(\text{bolge}, \text{Xufg}(\text{bolge},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist1}, \text{Xud1g}(\text{dist1},u)) + \text{sum}(\text{dist2}, \text{Xud2g}(\text{dist2},u)) + \text{sum}(\text{dist3}, \text{Xud3g}(\text{dist3},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist4}, \text{Xud4g}(\text{dist4},u)) + \text{sum}(\text{dist5}, \text{Xud5g}(\text{dist5},u))) ;$
 $\text{hurdaalt5}(u) \dots \text{Xuh3}(u) = g = 0.015 * (\text{sum}(\text{bolge}, \text{Xufg}(\text{bolge},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist1}, \text{Xud1g}(\text{dist1},u)) + \text{sum}(\text{dist2}, \text{Xud2g}(\text{dist2},u)) + \text{sum}(\text{dist3}, \text{Xud3g}(\text{dist3},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist4}, \text{Xud4g}(\text{dist4},u)) + \text{sum}(\text{dist5}, \text{Xud5g}(\text{dist5},u))) ;$
 $\text{fazlaurunust}(u) \dots \text{Xue}(u) = l = \text{Xus}(u) + \text{sum}(\text{bolge}, \text{Xufg}(\text{bolge},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist1}, \text{Xud1g}(\text{dist1},u)) + \text{sum}(\text{dist2}, \text{Xud2g}(\text{dist2},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist3}, \text{Xud3g}(\text{dist3},u)) + \text{sum}(\text{dist4}, \text{Xud4g}(\text{dist4},u)) + \text{sum}(\text{dist5}, \text{Xud5g}(\text{dist5},u));$
 $\text{fazlaurunalt}(u) \dots \text{Xue}(u) = g = 0.5 * \text{Xus}(u) + 0.5 * (\text{sum}(\text{bolge}, \text{Xufg}(\text{bolge},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist1}, \text{Xud1g}(\text{dist1},u)) + \text{sum}(\text{dist2}, \text{Xud2g}(\text{dist2},u))$
 $+ \text{sum}(\text{dist3}, \text{Xud3g}(\text{dist3},u)) + \text{sum}(\text{dist4}, \text{Xud4g}(\text{dist4},u)) + \text{sum}(\text{dist5}, \text{Xud5g}(\text{dist5},u)));$
 $\text{yikamak} \dots 0.00112 * \text{sum}(u, \text{Xus}(u)) + 0.0014 * (\text{sum}((\text{bolge},u), \text{Xufg}(\text{bolge},u))$
 $+ \text{sum}((\text{dist1},u), \text{Xud1g}(\text{dist1},u)) + \text{sum}((\text{dist2},u), \text{Xud2g}(\text{dist2},u))$
 $+ \text{sum}((\text{dist3},u), \text{Xud3g}(\text{dist3},u)) + \text{sum}((\text{dist4},u), \text{Xud4g}(\text{dist4},u))$
 $+ \text{sum}((\text{dist5},u), \text{Xud5g}(\text{dist5},u))) = l = 9600 ;$
 $\text{geridonen1}(\text{bolge},u) \dots \text{Xufg}(\text{bolge},u) = l = \text{rfmax}(\text{bolge}) * \text{Xuf}(\text{bolge},u) ;$
 $\text{geridonen12}(\text{bolge},u) \dots \text{Xufg}(\text{bolge},u) = g = \text{rfmin}(\text{bolge}) * \text{Xuf}(\text{bolge},u) ;$
 $\text{geridonen2}(\text{dist1},u) \dots \text{Xud1g}(\text{dist1},u) = l = r * \text{Xud1}(\text{dist1},u) ;$
 $\text{geridonen3}(\text{dist2},u) \dots \text{Xud2g}(\text{dist2},u) = l = r * \text{Xud2}(\text{dist2},u) ;$
 $\text{geridonen4}(\text{dist3},u) \dots \text{Xud3g}(\text{dist3},u) = l = r * \text{Xud3}(\text{dist3},u) ;$
 $\text{geridonen5}(\text{dist4},u) \dots \text{Xud4g}(\text{dist4},u) = l = r * \text{Xud4}(\text{dist4},u) ;$

$\text{geridonen6}(\text{dist5},u).. \text{Xud5g}(\text{dist5},u) =l= r*\text{Xud5}(\text{dist5},u) \ ;$
 $\text{geridonen7}(\text{dist1},\text{MG1},u).. \text{Xud1m1g}(\text{dist1},\text{MG1},u) =l= r*\text{Xud1m1}(\text{dist1},\text{MG1},u) \ ;$
 $\text{geridonen8}(\text{dist2},\text{MG2},u).. \text{Xud2m2g}(\text{dist2},\text{MG2},u) =l= r*\text{Xud2m2}(\text{dist2},\text{MG2},u) \ ;$
 $\text{geridonen9}(\text{dist3},\text{MG3},u).. \text{Xud3m3g}(\text{dist3},\text{MG3},u) =l= r*\text{Xud3m3}(\text{dist3},\text{MG3},u) \ ;$
 $\text{geridonen10}(\text{dist4},\text{MG4},u).. \text{Xud4m4g}(\text{dist4},\text{MG4},u) =l= r*\text{Xud4m4}(\text{dist4},\text{MG4},u) \ ;$
 $\text{geridonen11}(\text{dist5},\text{MG5},u).. \text{Xud5m5g}(\text{dist5},\text{MG5},u) =l= r*\text{Xud5m5}(\text{dist5},\text{MG5},u) \ ;$
 $\text{geridonen121}(\text{dist1},u).. \text{Xud1g}(\text{dist1},u) =g= r1*\text{Xud1}(\text{dist1},u) \ ;$
 $\text{geridonen13}(\text{dist2},u).. \text{Xud2g}(\text{dist2},u) =g= r1*\text{Xud2}(\text{dist2},u) \ ;$
 $\text{geridonen14}(\text{dist3},u).. \text{Xud3g}(\text{dist3},u) =g= r1*\text{Xud3}(\text{dist3},u) \ ;$
 $\text{geridonen15}(\text{dist4},u).. \text{Xud4g}(\text{dist4},u) =g= r1*\text{Xud4}(\text{dist4},u) \ ;$
 $\text{geridonen16}(\text{dist5},u).. \text{Xud5g}(\text{dist5},u) =g= r1*\text{Xud5}(\text{dist5},u) \ ;$
 $\text{geridonen17}(\text{dist1},\text{MG1},u).. \text{Xud1m1g}(\text{dist1},\text{MG1},u) =g= r1*\text{Xud1m1}(\text{dist1},\text{MG1},u);$
 $\text{geridonen18}(\text{dist2},\text{MG2},u).. \text{Xud2m2g}(\text{dist2},\text{MG2},u) =g= r1*\text{Xud2m2}(\text{dist2},\text{MG2},u);$
 $\text{geridonen19}(\text{dist3},\text{MG3},u).. \text{Xud3m3g}(\text{dist3},\text{MG3},u) =g= r1*\text{Xud3m3}(\text{dist3},\text{MG3},u);$
 $\text{geridonen20}(\text{dist4},\text{MG4},u).. \text{Xud4m4g}(\text{dist4},\text{MG4},u) =g= r1*\text{Xud4m4}(\text{dist4},\text{MG4},u);$
 $\text{geridonen21}(\text{dist5},\text{MG5},u).. \text{Xud5m5g}(\text{dist5},\text{MG5},u) =g= r1*\text{Xud5m5}(\text{dist5},\text{MG5},u);$
 $\text{depo1}.. \text{sum}((\text{bolge},u),\text{Xufg}(\text{bolge},u))+\text{sum}((\text{dist1},u),\text{Xud1g}(\text{dist1},u))$
 $+\text{sum}((\text{dist2},u),\text{Xud2g}(\text{dist2},u))+\text{sum}((\text{dist3},u),\text{Xud3g}(\text{dist3},u))$
 $+\text{sum}((\text{dist4},u),\text{Xud4g}(\text{dist4},u))+\text{sum}((\text{dist5},u),\text{Xud5g}(\text{dist5},u)) =l= \text{KAPdepo}*AE \ ;$
 $\text{depo2}.. (\text{sum}((\text{bolge},u),\text{Xuf}(\text{bolge},u))+\text{sum}((\text{dist1},u),\text{Xud1}(\text{dist1},u))$
 $+\text{sum}((\text{dist2},u),\text{Xud2}(\text{dist2},u))+\text{sum}((\text{dist3},u),\text{Xud3}(\text{dist3},u))$
 $+\text{sum}((\text{dist4},u),\text{Xud4}(\text{dist4},u))+\text{sum}((\text{dist5},u),\text{Xud5}(\text{dist5},u))) =l= \text{KAPdepo}*AC \ ;$
 $\text{depo3}.. \text{sum}(u,\text{Xuh}(u)) =l= \text{KAPH} \ ;$
 $\text{depo4}(u).. \text{Xus}(u) =l= \text{Maxs}(u) \ ;$
 $\text{talep1}(u).. \text{Xus}(u)=g= \text{Mins}(u) \ ;$
 $\text{talep2}(\text{bolge},u).. \text{Xuf}(\text{bolge},u1')=l= \text{talepmax}(\text{bolge},u1') \ ;$
 $\text{talep3}(\text{bolge},u).. \text{Xuf}(\text{bolge},u1')=g= \text{talepminf}(\text{bolge},u1') \ ;$

$\text{talep4}(\text{MG1},u) \dots \text{sum}(\text{dist1}, \text{Xud1m1}(\text{dist1}, \text{MG1},u)) = g = \text{talepMG1}(\text{MG1},u) ;$
 $\text{talep5}(\text{MG2},u) \dots \text{sum}(\text{dist2}, \text{Xud2m2}(\text{dist2}, \text{MG2},u)) = g = \text{talepMG2}(\text{MG2},u) ;$
 $\text{talep6}(\text{MG3},u) \dots \text{sum}(\text{dist3}, \text{Xud3m3}(\text{dist3}, \text{MG3},u)) = g = \text{talepMG3}(\text{MG3},u) ;$
 $\text{talep7}(\text{MG4},u) \dots \text{sum}(\text{dist4}, \text{Xud4m4}(\text{dist4}, \text{MG4},u)) = g = \text{talepMG4}(\text{MG4},u) ;$
 $\text{talep8}(\text{MG5},u) \dots \text{sum}(\text{dist5}, \text{Xud5m5}(\text{dist5}, \text{MG5},u)) = g = \text{talepMG5}(\text{MG5},u) ;$
 $\text{kapasite1}(\text{dist1}) \dots \text{sum}((\text{MG1},u), \text{Xud1m1}(\text{dist1}, \text{MG1},u)) = l = \text{kap1}(\text{dist1}) ;$
 $\text{kapasite2}(\text{dist2}) \dots \text{sum}((\text{MG2},u), \text{Xud2m2}(\text{dist2}, \text{MG2},u)) = l = \text{kap2}(\text{dist2}) ;$
 $\text{kapasite3}(\text{dist3}) \dots \text{sum}((\text{MG3},u), \text{Xud3m3}(\text{dist3}, \text{MG3},u)) = l = \text{kap3}(\text{dist3}) ;$
 $\text{kapasite4}(\text{dist4}) \dots \text{sum}((\text{MG4},u), \text{Xud4m4}(\text{dist4}, \text{MG4},u)) = l = \text{kap4} ;$
 $\text{kapasite5}(\text{dist5}) \dots \text{sum}((\text{MG5},u), \text{Xud5m5}(\text{dist5}, \text{MG5},u)) = l = \text{kap5}(\text{dist5}) ;$
 $\text{kapasited4} \dots \text{sum}((\text{MG1},u), \text{Xud1m1}('d41', \text{MG1},u)) + \text{sum}((\text{MG2},u), \text{Xud2m2}('d4', \text{MG2},u)) = l = 240000 ;$
 $\text{kapasited11} \dots \text{sum}((\text{MG3},u), \text{Xud3m3}('d111', \text{MG3},u)) + \text{sum}((\text{MG4},u), \text{Xud4m4}('d11', \text{MG4},u)) = l = 205000 ;$
 $\text{uyelik1} \dots z('amac1\text{TM}') = l = \text{pdata}('amac1\text{TM}', 'max') - \lambda_1 * (\text{pdata}('amac1\text{TM}', 'max') - \text{pdata}('amac1\text{TM}', 'min')) ;$
 $\text{uyelik2} \dots z('amac2\text{COe}') = l = \text{pdata}('amac2\text{COe}', 'max') - \lambda_2 * (\text{pdata}('amac2\text{COe}', 'max') - \text{pdata}('amac2\text{COe}', 'min')) ;$
 $\text{uyelik3} \dots z('amac3\text{TK}') = l = \text{pdata}('amac3\text{TK}', 'max') - \lambda_3 * (\text{pdata}('amac3\text{TK}', 'max') - \text{pdata}('amac3\text{TK}', 'min')) ;$
 $\text{uyelik6}(\text{bolge},u) \dots \text{Xuf}('f1', 'u2') - (\text{talepmax}('f1', 'u2') - 80000) * \lambda_4 = l = \text{talepmax}('f1', 'u2') ;$
 $\text{uyelik7}(\text{bolge},u) \dots \text{Xuf}('f1', 'u2') = g = \text{talepminf}('f1', 'u2') + (80000 - \text{talepminf}('f1', 'u2')) * \lambda_4 ;$
 $\text{uyelik10}(\text{bolge},u) \dots \text{Xuf}('f2', 'u2') - (\text{talepmax}('f2', 'u2') - 40000) * \lambda_5 = l = \text{talepmax}('f2', 'u2') ;$
 $\text{uyelik11}(\text{bolge},u) \dots \text{Xuf}('f2', 'u2') = g = \text{talepminf}('f2', 'u2') + (40000 - \text{talepminf}('f2', 'u2')) * \lambda_5 ;$
 $\text{uyelik14}(\text{bolge},u) \dots \text{Xuf}('f3', 'u2') - (\text{talepmax}('f3', 'u2') - 28000) * \lambda_6 = l = \text{talepmax}('f3', 'u2') ;$

```
uyelik15(bolge,u).. Xuf('f3','u2') =g= talepminf('f3','u2')+(28000-  
talepminf('f3','u2'))*lambda6 ;
```

```
kisit1..lambda1 =l= 1 ;
```

```
kisit2..lambda2 =l= 1 ;
```

```
kisit3..lambda3 =l= 1 ;
```

```
kisit41.. lambda4 =l= 1 ;
```

```
kisit51.. lambda5 =l= 1 ;
```

```
kisit61.. lambda6 =l= 1 ;
```

```
model reverse /all/ ;
```

```
OPTION optcr=0;
```

```
OPTION limrow=50;
```

```
solve reverse using mip maximizing t;
```

```
display t.l, z.l, TEM.l, TTM.l, Cev.l, TIHM.l, TDM.l, TDL.l,  
Xus.l,Xuf.l,Xud1.l,Xud2.l, Xud3.l, Xud4.l, Xud5.l,Xud1m1.l,Xud2m2.l,  
Xud3m3.l,Xud4m4.l,Xud5m5.l,Xufg.l,Xud1g.l,Xud2g.l, Xud3g.l, Xud4g.l, Xud5g.l,  
Xud1m1g.l,Xud2m2g.l,Xud3m3g.l,Xud4m4g.l,Xud5m5g.l,Xufk.l,Xud1k.l,Xud2k.l,  
Xud3k.l, Xud4k.l,Xud5k.l,Xud1m1k.l,Xud2m2k.l,Xud3m3k.l,Xud4m4k.l,  
Xud5m5k.l,Xuh.l, Xue.l,lambda1.l,lambda2.l,lambda3.l,lambda4.l,lambda5.l,  
lambda6.l, Xuh1.l, Xuh2.l, Xuh3.l ;
```


EK E : Bulanık hedef ve bulanık talepli çok amaçlı modelin GAMS Çözümü

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 240 WEX-VS8 24.0.2 x86/MS Windows 07/06/15 00:04:25
Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution

---- 860 VARIABLE t.L = 0.902

---- 860 VARIABLE z.L toplam maliyet
amac1TM 2.624152E+7, amac2COe 5.473349E+7, amac3TK 647660.000

---- 860 VARIABLE TEM.L = 603704.200 toplam edinim maliyeti
 VARIABLE TTM.L = 1.053277E+7 toplam tasima maliyeti
 VARIABLE Cev.L = 32383.000 kayıp ürün maliyeti
 VARIABLE TIHM.L = 11408.840 toplam isleme ve hazirlik maliyeti
 VARIABLE TDM.L = 168340.149 toplam depolama maliyeti
 VARIABLE TDL.L = 1.489292E+7 toplam dolum maliyeti

---- 860 VARIABLE Xus.L tedarikçiden yeni alınan urun miktarı
u1 750000.000, u2 100000.000

---- 860 VARIABLE Xuf.L bölge depolarına gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2
f1 192000.000 80000.000
f2 72000.000 40000.000
f3 72000.000 28000.000

---- 860 VARIABLE Xud1.L 1. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2
d1 47100.000 4000.000
d2 43200.000 3000.000
d3 24500.000 1500.000
d41 43200.000 3000.000

---- 860 VARIABLE Xud2.L 2. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2
d4 139200.000 16000.000
d5 136800.000 22000.000
d6 120000.000 20000.000

---- 860 VARIABLE Xud3.L 3. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2
d7 122000.000 11500.000
d8 144000.000 14500.000
d9 28800.000 2000.000

d10 86400.000 8000.000
d111 98400.000 9500.000

---- 860 VARIABLE Xud4.L 4. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
u1 u2
d11 72000.000 10000.000

---- 860 VARIABLE Xud5.L 5. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
u1 u2
d12 158000.000 34000.000
d13 187600.000 34400.000
d14 127200.000 10000.000

---- 860 VARIABLE Xud1m1.L M1 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
u1 u2
d1 .m1 30500.000 2500.000
d1 .m2 16600.000 1500.000
d2 .m3 28800.000 2000.000
d2 .m4 14400.000 1000.000
d3 .m6 24500.000 1500.000
d41.m5 43200.000 3000.000

---- 860 VARIABLE Xud2m2.L M2 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
u1 u2
d4.m8 38400.000 4000.000
d4.m9 100800.000 12000.000
d5.m7 57600.000 6000.000
d5.m11 79200.000 16000.000
d6.m10 67200.000 8000.000
d6.m12 52800.000 12000.000

---- 860 VARIABLE Xud3m3.L M3 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
u1 u2
d7 .m17 69200.000 7000.000
d7 .m18 52800.000 4500.000
d8 .m13 100800.000 11500.000
d8 .m15 43200.000 3000.000
d9 .m16 28800.000 2000.000
d10 .m19 86400.000 8000.000
d111.m14 60000.000 6000.000
d111.m20 38400.000 3500.000

---- 860 VARIABLE Xud4m4.L M4 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
u1 u2
d11.m21 43200.000 6000.000
d11.m22 28800.000 4000.000

---- 860 VARIABLE Xud5m5.L M5 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d12.m24	86000.000	16000.000
d12.m27	72000.000	18000.000
d13.m23	106000.000	22400.000
d13.m28	81600.000	12000.000
d14.m25	79200.000	6000.000
d14.m26	48000.000	4000.000

---- 860 VARIABLE Xufg.L bölge depolarında tersine ürün akışı

	u1	u2
f1	153600.000	52000.000
f2	46800.000	26000.000
f3	57600.000	18200.000

---- 860 VARIABLE Xud1g.L 1. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d1	32970.000	2800.000
d2	30240.000	2100.000
d3	17150.000	1050.000
d41	30240.000	2100.000

---- 860 VARIABLE Xud2g.L 2. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d4	97440.000	13000.000
d5	95760.000	15400.000
d6	84000.000	15200.000

---- 860 VARIABLE Xud3g.L 3. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d7	85400.000	8050.000
d8	100800.000	10150.000
d9	20160.000	1400.000
d10	60480.000	5600.000
d111	68880.000	6650.000

---- 860 VARIABLE Xud4g.L 4. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d11	50400.000	7000.000

---- 860 VARIABLE Xud5g.L 5. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d12	110600.000	23800.000
d13	131320.000	25880.000
d14	100920.000	7000.000

---- 860 VARIABLE Xud1m1g.L M1 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d1 .m1	21350.000	1750.000
d1 .m2	11620.000	1050.000
d2 .m3	20160.000	1400.000
d2 .m4	10080.000	700.000
d3 .m6	17150.000	1050.000
d41.m5	30240.000	2100.000

---- 860 VARIABLE Xud2m2g.L M2 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d4.m8	26880.000	2800.000
d4.m9	70560.000	10200.000
d5.m7	40320.000	4200.000
d5.m11	55440.000	11200.000
d6.m10	47040.000	6800.000
d6.m12	36960.000	8400.000

---- 860 VARIABLE Xud3m3g.L M3 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d7 .m17	48440.000	4900.000
d7 .m18	36960.000	3150.000
d8 .m13	70560.000	8050.000
d8 .m15	30240.000	2100.000
d9 .m16	20160.000	1400.000
d10 .m19	60480.000	5600.000
d111.m14	42000.000	4200.000
d111.m20	26880.000	2450.000

---- 860 VARIABLE Xud4m4g.L M4 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d11.m21	30240.000	4200.000
d11.m22	20160.000	2800.000

---- 860 VARIABLE Xud5m5g.L M5 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d12.m24	60200.000	11200.000
d12.m27	50400.000	12600.000
d13.m23	74200.000	15680.000
d13.m28	57120.000	10200.000
d14.m25	67320.000	4200.000
d14.m26	33600.000	2800.000

---- 860 VARIABLE Xufk.L bölge depolarındaki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
f1	38400.000	28000.000
f2	25200.000	14000.000
f3	14400.000	9800.000

---- 860 VARIABLE Xud1k.L 1. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d1	14130.000	1200.000
d2	12960.000	900.000
d3	7350.000	450.000
d41	12960.000	900.000

---- 860 VARIABLE Xud2k.L 2. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d4	41760.000	3000.000
d5	41040.000	6600.000
d6	36000.000	4800.000

---- 860 VARIABLE Xud3k.L 3. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d7	36600.000	3450.000
d8	43200.000	4350.000
d9	8640.000	600.000
d10	25920.000	2400.000
d111	29520.000	2850.000

---- 860 VARIABLE Xud4k.L 4. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d11	21600.000	3000.000

---- 860 VARIABLE Xud5k.L 5. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d12	47400.000	10200.000
d13	56280.000	8520.000
d14	26280.000	3000.000

---- 860 VARIABLE Xud1m1k.L M1 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d1 .m1	9150.000	750.000
d1 .m2	4980.000	450.000
d2 .m3	8640.000	600.000
d2 .m4	4320.000	300.000
d3 .m6	7350.000	450.000
d41.m5	12960.000	900.000

---- 860 VARIABLE Xud2m2k.L M2 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d4.m8	11520.000	1200.000
d4.m9	30240.000	1800.000
d5.m7	17280.000	1800.000
d5.m11	23760.000	4800.000
d6.m10	20160.000	1200.000
d6.m12	15840.000	3600.000

---- 860 VARIABLE Xud3m3k.L M3 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d7 .m17	20760.000	2100.000
d7 .m18	15840.000	1350.000
d8 .m13	30240.000	3450.000
d8 .m15	12960.000	900.000
d9 .m16	8640.000	600.000
d10 .m19	25920.000	2400.000
d111.m14	18000.000	1800.000
d111.m20	11520.000	1050.000

---- 860 VARIABLE Xud4m4k.L M4 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d11.m21	12960.000	1800.000
d11.m22	8640.000	1200.000

---- 860 VARIABLE Xud5m5k.L M5 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d12.m24	25800.000	4800.000
d12.m27	21600.000	5400.000
d13.m23	31800.000	6720.000
d13.m28	24480.000	1800.000
d14.m25	11880.000	1800.000
d14.m26	14400.000	1200.000

---- 860 VARIABLE Xuh.L u. üründen toplam hurda miktarı
u1 62989.200, u2 11102.100

---- 860 VARIABLE Xue.L fazladan üretilecek urun miktarı
u1 1062380.000, u2 171690.000

---- 860 VARIABLE lambda1.L	=	0.949
VARIABLE lambda2.L	=	0.877
VARIABLE lambda3.L	=	0.628
VARIABLE lambda4.L	=	1.000
VARIABLE lambda5.L	=	1.000
VARIABLE lambda6.L	=	1.000

---- 860 VARIABLE Xuh1.L 1. tip hurda urun miktarı
u1 1125.000, u2 150.000

---- 860 VARIABLE Xuh2.L 2. tip hurda urun miktarı
u1 41242.800, u2 7301.400

---- 860 VARIABLE Xuh3.L 3. tip hurda urun miktarı
u1 20621.400, u2 3650.700

EXECUTION TIME = 0.032 SECONDS

EK F : Bulanık talep ve bulanık geri dönüşüm oranlı çok amaçlı modelin GAMS’te yazımı

Sets

l distribütör ve müşteriler /f1,f2,f3,d1*d14,m1*m28,d41,d111/
u urun /u1,u2/
dist1(l) /d1,d2,d3,d41/
dist2(l) /d4*d6/
dist3(l) /d7,d8,d9,d10,d111/
dist4(l) /d11/
dist5(l) /d12*d14/
bolge(l) /f1,f2,f3/
MG1(l) /m1*m6/
MG2(l) /m7*m12/
MG3(l) /m13*m20/
MG4(l) /m21,m22/
MG5(l) /m23*m28/
;

set h amac fonksiyonları /amac1TM,amac2COe,amac3TK/ ;
set a uyelik fonksiyonları /min,max/;

Set pheader / amac1TM, amac2COe, amac3TK / ;

Parameters

cud(u) dolum maliyeti
/u1 2.85
u2 3.25 /

cuat Birim ayırma ve temizlik maliyeti
/0.004/

C Birim taşıma maliyeti
/0.010851/

Ca Birim taşıma maliyeti
/0.013564/

cdeg müşteri den geri gelen ürün birim depolama maliyeti
/0.019/

cs tedarikçi den alınan yeni ürün birim depolama maliyeti
/0.019/

cde distributor-transfer merkezine gonderilecekler birim depolama maliyeti
/0.0347/

KAPdepo Fabrikanin depo kapasitesi
/25920000/

AE Geri toplanmis urunlerin depodaki yuzdesi
/0.30/

AC Musteriye gonderileceklerin depodaki yuzdesi
/0.40/

KAPH Hurdaya gonderilecekler deposunun kapasitesi (adetsise)
/150000/

K Toplanamayan şişe başına ödenen miktar
/0.05/

Mins(u) Tedarikçiden en az siparis verilmesi gereken miktar
/u1 750000
u2 100000 /

Maxs(u) Tedarikçiden en fazla siparis verilmesi gereken miktar
/u1 1500000
u2 300000 /

DBS(u) donem basi stok
/u1 3575000
u2 1750000/

dS Fabrika ile tedarikci arasi mesafe
/200/

Gus(u) Tedarikçiden ürün edinim maliyeti
/u1 0.315
u2 0.285
/

df(bolge) aktarma merkezleri ile fabrika arası mesafe
/
f1 462
f2 573
f3 943
/

dd1(dist1) fabrika ile distributor grubu 1 arası mesafe
/
d1 11
d2 7
d3 14
d41 10
/

dd2(dist2) fabrika ile distributor grubu 2 arası mesafe
/
d4 10
d5 17
d6 22
/

dd3(dist3) fabrika ile distributor grubu 3 arası mesafe
/
d7 18
d8 16
d9 10
d10 12
d11 34
/

dd4 fabrika ile distributor grubu 4 arası mesafe
/34/

Dd5(dist5) fabrika ile distributor grubu 5 arası mesafe
/
d12 72
d13 43
d14 32
/;

table dd1m1(dist1, MG1) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m1	m2	m3	m4	m5	m6
d1	3	4	4.2	6.3	4	7.4
d2	12	3.3	0.5	3.4	7.6	12.7
d3	6.8	7.8	9	12	2.3	3
d41	9.6	6.5	5.6	9.3	5	10

;

table dd2m2(dist2, MG2) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m7	m8	m9	m10	m11	m12
d4	11	9	7.5	10	12	15
d5	18.3	13	2	5	5	5
d6	21	8	6.6	7.5	5	4

;

table dd3m3(dist3, MG3) distributorler ve musteriler arası mesafe

	m13	m14	m15	m16	m17	m18	m19	m20
d7	6	4.5	4.3	4	19	17	5	4.8
d8	4.7	2	4.7	4	17	13	3.3	3.4
d9	12	8	11	9	12	10	6	10
d10	4.8	2.5	6.7	5	15	11	1	4
d111	20	20	17	18	38	33	22	20

;

Parameter dd4m4(MG4) distributorler ve musteriler arası mesafe
/
m21 4
m22 13
/;

table dd5m5(dist5,MG5) distributorler ve musteriler arası mesafe
m23 m24 m25 m26 m27 m28
d12 22 20 32 40 45 50
d13 12 14 5 12 16 20
d14 20 23 13 5 7 10
;

table talepminf(bolge,u)
u1 u2
f1 192000 75000
f2 72000 20000
f3 72000 20000
;

table talepmax(bolge,u)
u1 u2
f1 240000 95000
f2 120000 60000
f3 120000 40000
;

table talepMG1(MG1,u) musteriler talepleri 1
u1 u2
m1 30500 2500
m2 16600 1500
m3 28800 2000
m4 14400 1000
m5 43200 3000
m6 24500 1500
;

table talepMG2(MG2,u) musteriler talepleri 2
u1 u2
m7 57600 6000
m8 38400 4000
m9 100800 12000
m10 67200 8000
m11 79200 16000
m12 52800 12000
;

table talepMG3(MG3,u) musteriler talepleri 3
u1 u2
m13 100800 11500
m14 60000 6000

m15	43200	3000
m16	28800	2000
m17	69200	7000
m18	52800	4500
m19	86400	8000
m20	38400	3500 ;

table talepMG4(MG4,u) musteri talepleri 4

	u1	u2
m21	43200	6000
m22	28800	4000

;

table talepMG5(MG5,u) musteri talepleri 5

	u1	u2
m23	106000	22400
m24	86000	16000
m25	79200	6000
m26	48000	4000
m27	72000	18000
m28	81600	12000

;

parameter Gu(u) boslarin edinim fiyati

/

u1	0.22
u2	0.15

/;

parameters rfmin(bolge)

/

f1	0.65
f2	0.65
f3	0.65

/;

parameters rfmax(bolge)

/

f1	0.80
f2	0.80
f3	0.80

/;

parameters r

/0.85/ ;

parameters r1

/0.70/ ;

```

parameter kap1(dist1)
/ d1 180000
  d2 180000
  d3 200000
  d41 240000
/;

```

```

parameter kap2(dist2)
/
d4 240000
d5 180000
d6 180000
/ ;

```

```

parameter kap3(dist3)
/
d7 175000
d8 175000
d9 180000
d10 195000
d111 205000
/;

```

```

parameter kap4
/205000/;

```

```

parameter kap5(dist5)
/
d12 360000
d13 240000
d14 312000
/;

```

```

parameter w(u) Agirlik (kg)
/u1 0.845
  u2 0.830
/
;

```

positive variables

Xus(u)	tedarikçiden yeni alınan urun miktarı
Xud1(dist1,u)	1. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud1g(dist1,u)	1. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud1k(dist1,u)	1. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud2(dist2,u)	2. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud2g(dist2,u)	2. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud2k(dist2,u)	2. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud3(dist3,u)	3. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud3g(dist3,u)	3. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud3k(dist3,u)	3. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

Xud4(dist4,u)	4. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud4g(dist4,u)	4. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud4k(dist4,u)	4. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xud5(dist5,u)	5. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
Xud5g(dist5,u)	5. distribütör grubu tersine ürün akışı
Xud5k(dist5,u)	5. distribütör grubu kayıp ürün miktarı
Xuf(bolge,u)	bölge depolarına gönderilenler (ileri akış)
Xufg(bolge,u)	bölge depolarında tersine ürün akışı
Xufk(bolge,u)	bölge depolarındaki kayıp ürün miktarı
Xud1m1(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud1m1g(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud1m1k(dist1,MG1,u)	M1 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud2m2(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud2m2g(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud2m2k(dist2,MG2,u)	M2 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud3m3(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud3m3g(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud3m3k(dist3,MG3,u)	M3 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud4m4(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud4m4g(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud4m4k(dist4,MG4,u)	M4 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xud5m5(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)
Xud5m5g(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı
Xud5m5k(dist5,MG5,u)	M5 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı
Xue(u)	fazladan üretilecek urun miktarı
Xuh1(u)	1. tip hurda urun miktarı
Xuh2(u)	2. tip hurda urun miktarı
Xuh3(u)	3. tip hurda urun miktarı
Xuh(u)	u. üründen toplam hurda miktarı
TEM	toplam edinim maliyeti
TDL	toplam dolum maliyeti
TIHM	toplam isleme ve hazirlik maliyeti
TTM	toplam tasima maliyeti
TDM	toplam depolama maliyeti
Cev	kayıp ürün maliyeti
lambda	

;

free variables

z(h) hedefler

t

;

binary variable

y1(dist1,MG1)

y2(dist2,MG2)

y3(dist3,MG3)

y4(dist4,MG4)

y5(dist5,MG5)

y6(dist1)

```

y7(dist2)
y8(dist3)
y9(dist4)
y10(dist5)
y11(dist1, MG1)
y12(dist2, MG2)
y13(dist3, MG3)
y14(dist4, MG4)
y15(dist5, MG5)
;

```

```

equations
Aurun(u)
denge1(bolge,u)
denge2(dist1,u)
denge3(dist2,u)
denge4(dist3,u)
denge5(dist4,u)
denge6(dist5,u)
denge7(dist1, MG1,u)
denge8(dist2, MG2,u)
denge9(dist3, MG3,u)
denge10(dist4, MG4,u)
denge11(dist5, MG5,u)
denge12(dist1,u)
denge13(dist2,u)
denge14(dist3,u)
denge15(dist4,u)
denge16(dist5,u)
denge17(dist1,u)
denge18(dist2,u)
denge19(dist3,u)
denge20(dist4,u)
denge21(dist5,u)
denge22(dist1,u)
denge23(dist2,u)
denge24(dist3,u)
denge25(dist4,u)
denge26(dist5,u)
hurda(u)
hurda1(u)
hurdaust2(u)
hurdaalt3(u)
hurdaust4(u)
hurdaalt5(u)
fazlaurunust(u)
fazlaurunalt(u)
yikamak
geridonen1(bolge,u)
geridonen12(bolge,u)

```

geridonen121(dist1,u)
 geridonen13(dist2,u)
 geridonen14(dist3,u)
 geridonen15(dist4,u)
 geridonen16(dist5,u)
 geridonen17(dist1,MG1,u)
 geridonen18(dist2,MG2,u)
 geridonen19(dist3,MG3,u)
 geridonen20(dist4,MG4,u)
 geridonen21(dist5,MG5,u)
 bulanikkisit1(bolge,u)
 bulanikkisit2(dist1,u)
 bulanikkisit3(dist2,u)
 bulanikkisit4(dist3,u)
 bulanikkisit5(dist4,u)
 bulanikkisit6(dist5,u)
 bulanikkisit7(dist1,MG1,u)
 bulanikkisit8(dist2,MG2,u)
 bulanikkisit9(dist3,MG3,u)
 bulanikkisit10(dist4,MG4,u)
 bulanikkisit11(dist5,MG5,u)
 depo1
 depo2
 depo3
 depo4(u)
 talep1(u)
 talep2(bolge,u)
 talep3(bolge,u)
 talep21(bolge,u)
 talep4(MG1,u)
 talep5(MG2,u)
 talep6(MG3,u)
 talep7(MG4,u)
 talep8(MG5,u)
 kapasite1(dist1)
 kapasite2(dist2)
 kapasite3(dist3)
 kapasite4(dist4)
 kapasite5(dist5)
 kisit5(dist1,MG1)
 kisit6(dist1,MG1)
 kisit7(dist2,MG2)
 kisit8(dist2,MG2)
 kisit9(dist3,MG3)
 kisit10(dist3,MG3)
 kisit11(dist4,MG4)
 kisit12(dist4,MG4)
 kisit13(dist5,MG5)
 kisit14(dist5,MG5)
 kisit15(dist1)

kisit16(dist1)
 kisit17(dist2)
 kisit18(dist2)
 kisit19(dist3)
 kisit20(dist3)
 kisit21(dist4)
 kisit22(dist4)
 kisit23(dist5)
 kisit24(dist5)
 kisit25(dist1,MG1,u)
 kisit26(dist1)
 kisit27(dist2,MG2,u)
 kisit28(dist2)
 kisit29(dist3,MG3,u)
 kisit30(dist3)
 kisit31(dist4,MG4,u)
 kisit32(dist4)
 kisit33(dist5,MG5,u)
 kisit34(dist5)
 kapasited4
 kapasited11
 amac
 totcost
 totCOe
 totkayip
 lambda1
 lambda2
 lambda3
 kisit
 za
 zb
 zc
 zd
 ze
 zf
 ;

amac.. t =e= lambda ;

totcost.. z('amac1TM') =e= TEM+TDL+TIHM+TTM+TDM+Cev ;

lambda1.. lambda*(25228730-24725210)-z('amac1TM')+24725210 =l= 0 ;

totCOe.. z('amac2COe') =e=84*0.001*(sum(u,Xus(u)*w(u)*dS
 +sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*w(u)*df(bolge))+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*w(u)*d
 f(bolge))+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*w(u)*dd1(dist1))+sum((dist2,u),Xud2g(dist
 2,u)*w(u)*dd2(dist2))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*w(u)*dd3(dist3))+sum((dist4,u
),Xud4g(dist4,u)*w(u)*dd4)+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*w(u)*dd5(dist5))+sum((
 dist1,u),Xud1(dist1,u)*w(u)*dd1(dist1))+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u)*w(u)*dd2(dist
 2))+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u)*w(u)*dd3(dist3))+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u)*w(u)

)*dd4)+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)*w(u)*dd5(dist5)))+62*0.001*(sum((dist1,MG1,u),Xud1m1(dist1,MG1,u)*w(u)*dd1m1(dist1,MG1))+sum((dist2,MG2,u),Xud2m2(dist2,MG2,u)*w(u)*dd2m2(dist2,MG2))+sum((dist3,MG3,u),Xud3m3(dist3,MG3,u)*w(u)*dd3m3(dist3,MG3))+sum((dist4,MG4,u),Xud4m4(dist4,MG4,u)*w(u)*dd4m4(MG4))+sum((dist5,MG5,u),Xud5m5(dist5,MG5,u)*w(u)*dd5m5(dist5,MG5))+sum((dist1,MG1,u),Xud1m1g(dist1,MG1,u)*w(u)*dd1m1(dist1,MG1))+sum((dist2,MG2,u),Xud2m2g(dist2,MG2,u)*w(u)*dd2m2(dist2,MG2))+sum((dist3,MG3,u),Xud3m3g(dist3,MG3,u)*w(u)*dd3m3(dist3,MG3))+sum((dist4,MG4,u),Xud4m4g(dist4,MG4,u)*w(u)*dd4m4(MG4))+sum((dist5,MG5,u),Xud5m5g(dist5,MG5,u)*w(u)*dd5m5(dist5,MG5))) ;

lambda2.. lambda*(51209790-4937298)-z('amac2COe')+4937298 != 0 ;

totkayip..z('amac3TK')=e= sum((bolge,u),Xufk(bolge,u))
+sum((dist1,u),Xud1k(dist1,u))+sum((dist2,u),Xud2k(dist2,u))
+sum((dist3,u),Xud3k(dist3,u))+sum((dist4,u),Xud4k(dist4,u))
+sum((dist5,u),Xud5k(dist5,u)) ;

lambda3.. lambda*(451360-357470)-z('amac3TK')+357470 != 0 ;

za.. TEM =e= sum(u,Xus(u)*Gus(u))+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*Gu(u))
+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*Gu(u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*Gu(u))
+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*Gu(u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*Gu(u))
+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*Gu(u)) ;

zb.. TDL =e= sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*cud(u))
+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*cud(u))+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*cud(u))
+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*cud(u))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*cud(u))
+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*cud(u))+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*cud(u))
+sum((dist1,u),Xud1(dist1,u)*cud(u))+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u)*cud(u))
+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u)*cud(u))+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u)*cud(u))
+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)*cud(u))+sum(u,Xue(u)*cud(u)) ;

zc.. TIHM =e= cuat*(sum((bolge,u),Xufg(bolge,u))
+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u))+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u))
+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u))+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u))
+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u))+sum(u,Xue(u))) ;

zd.. TTM =e= Ca*(sum(u,Xus(u)*dS)+sum((bolge,u),Xuf(bolge,u)*df(bolge))
+sum((bolge,u),Xufg(bolge,u)*df(bolge))+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u)*dd1(dist1))
+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u)*dd2(dist2))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u)*dd3(dist3))
+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u)*dd4)+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)*dd5(dist5))
+sum((dist1,u),Xud1(dist1,u)*dd1(dist1))+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u)*dd2(dist2))
+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u)*dd3(dist3))+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u)*dd4)
+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u)*dd5(dist5)))
+C*(sum((dist1,MG1,u),Xud1m1(dist1,MG1,u)*dd1m1(dist1,MG1))
+sum((dist2,MG2,u),Xud2m2(dist2,MG2,u)*dd2m2(dist2,MG2))
+sum((dist3,MG3,u),Xud3m3(dist3,MG3,u)*dd3m3(dist3,MG3))
+sum((dist4,MG4,u),Xud4m4(dist4,MG4,u)*dd4m4(MG4))

$+sum((dist5, MG5, u), Xud5m5(dist5, MG5, u) * dd5m5(dist5, MG5))$
 $+sum((dist1, MG1, u), Xud1m1g(dist1, MG1, u) * dd1m1(dist1, MG1))$
 $+sum((dist2, MG2, u), Xud2m2g(dist2, MG2, u) * dd2m2(dist2, MG2))$
 $+sum((dist3, MG3, u), Xud3m3g(dist3, MG3, u) * dd3m3(dist3, MG3))$
 $+sum((dist4, MG4, u), Xud4m4g(dist4, MG4, u) * dd4m4(MG4))$
 $+sum((dist5, MG5, u), Xud5m5g(dist5, MG5, u) * dd5m5(dist5, MG5)))$;

$ze.. TDM = e = sum(u, Xus(u)) * cs + sum(u, Xue(u)) * cde$
 $+sum((bolge, u), Xuf(bolge, u) * CDE) + sum((bolge, u), Xufg(bolge, u) * cdeg)$
 $+ (sum((dist1, u), Xud1g(dist1, u)) + sum((dist2, u), Xud2g(dist2, u))$
 $+ sum((dist3, u), Xud3g(dist3, u)) + sum((dist4, u), Xud4g(dist4, u))$
 $+ sum((dist5, u), Xud5g(dist5, u))) * cdeg + (sum((dist1, u), Xud1(dist1, u))$
 $+ sum((dist2, u), Xud2(dist2, u)) + sum((dist3, u), Xud3(dist3, u))$
 $+ sum((dist4, u), Xud4(dist4, u)) + sum((dist5, u), Xud5(dist5, u))) * cde$;

$zf.. Cev = e = (sum((bolge, u), Xufk(bolge, u)) + sum((dist1, u), Xud1k(dist1, u))$
 $+ sum((dist2, u), Xud2k(dist2, u)) + sum((dist3, u), Xud3k(dist3, u))$
 $+ sum((dist4, u), Xud4k(dist4, u)) + sum((dist5, u), Xud5k(dist5, u))) * K$;

$Aurun(u) .. Xus(u) + sum(dist1, Xud1g(dist1, u)) + sum(dist2, Xud2g(dist2, u))$
 $+ sum(dist3, Xud3g(dist3, u)) + sum(dist4, Xud4g(dist4, u)) + sum(dist5, Xud5g(dist5, u))$
 $+ sum(bolge, Xufg(bolge, u)) + DBS(u) - Xue(u) = g = sum(bolge, Xuf(bolge, u))$
 $+ sum(dist1, Xud1(dist1, u)) + sum(dist2, Xud2(dist2, u)) + sum(dist3, Xud3(dist3, u))$
 $+ sum(dist4, Xud4(dist4, u)) + sum(dist5, Xud5(dist5, u)) + Xuh(u)$;

$kisit5(dist1, MG1) .. Xud1m1(dist1, MG1, 'u1') - 10000000 * y1(dist1, MG1) = l = 0$;

$kisit6(dist1, MG1) .. Xud1m1(dist1, MG1, 'u2') - 10000000 * y1(dist1, MG1) = l = 0$;

$kisit7(dist2, MG2) .. Xud2m2(dist2, MG2, 'u1') - 10000000 * y2(dist2, MG2) = l = 0$;

$kisit8(dist2, MG2) .. Xud2m2(dist2, MG2, 'u2') - 10000000 * y2(dist2, MG2) = l = 0$;

$kisit9(dist3, MG3) .. Xud3m3(dist3, MG3, 'u1') - 10000000 * y3(dist3, MG3) = l = 0$;

$kisit10(dist3, MG3) .. Xud3m3(dist3, MG3, 'u2') - 10000000 * y3(dist3, MG3) = l = 0$;

$kisit11(dist4, MG4) .. Xud4m4(dist4, MG4, 'u1') - 10000000 * y4(dist4, MG4) = l = 0$;

$kisit12(dist4, MG4) .. Xud4m4(dist4, MG4, 'u2') - 10000000 * y4(dist4, MG4) = l = 0$;

$kisit13(dist5, MG5) .. Xud5m5(dist5, MG5, 'u1') - 10000000 * y5(dist5, MG5) = l = 0$;

$kisit14(dist5, MG5) .. Xud5m5(dist5, MG5, 'u2') - 10000000 * y5(dist5, MG5) = l = 0$;

$kisit15(dist1) .. Xud1(dist1, 'u1') - 1000000 * y6(dist1) = l = 0$;

$kisit16(dist1) .. Xud1(dist1, 'u2') - 1000000 * y6(dist1) = l = 0$;

$kisit17(dist2) .. Xud2(dist2, 'u1') - 1000000 * y7(dist2) = l = 0$;

kisit18(dist2).. Xud2(dist2,'u1')-1000000*y7(dist2) =l= 0 ;
 kisit19(dist3).. Xud3(dist3,'u1')-1000000*y8(dist3) =l= 0 ;
 kisit20(dist3).. Xud3(dist3,'u2')-1000000*y8(dist3) =l= 0 ;
 kisit21(dist4).. Xud4(dist4,'u1')-1000000*y9(dist4) =l= 0 ;
 kisit22(dist4).. Xud4(dist4,'u2')-1000000*y9(dist4) =l= 0 ;
 kisit23(dist5).. Xud5(dist5,'u1')-1000000*y10(dist5) =l= 0 ;
 kisit24(dist5).. Xud5(dist5,'u2')-1000000*y10(dist5) =l= 0 ;
 kisit25(dist1,MG1,u).. Xud1m1(dist1,MG1,u)- 10000000*y11(dist1,MG1) =l= 0 ;
 kisit26(dist1).. sum(MG1,y11(dist1,MG1)) =l= 2 ;
 kisit27(dist2,MG2,u).. Xud2m2(dist2,MG2,u)- 10000000*y12(dist2,MG2) =l= 0 ;
 kisit28(dist2).. sum(MG2,y12(dist2,MG2)) =l= 2 ;
 kisit29(dist3,MG3,u).. Xud3m3(dist3,MG3,u)- 10000000*y13(dist3,MG3) =l= 0 ;
 kisit30(dist3).. sum(MG3,y13(dist3,MG3)) =l= 2 ;
 kisit31(dist4,MG4,u).. Xud4m4(dist4,MG4,u)- 10000000*y14(dist4,MG4) =l= 0 ;
 kisit32(dist4).. sum(MG4,y14(dist4,MG4)) =l= 2 ;
 kisit33(dist5,MG5,u).. Xud5m5(dist5,MG5,u)- 10000000*y15(dist5,MG5) =l= 0 ;
 kisit34(dist5).. sum(MG5,y15(dist5,MG5)) =l= 2 ;
 denge1(bolge,u).. Xufig(bolge,u)+Xufk(bolge,u) =e= Xuf(bolge,u);
 denge2(dist1,u).. Xud1g(dist1,u)+Xud1k(dist1,u) =e= Xud1(dist1,u);
 denge3(dist2,u).. Xud2g(dist2,u)+Xud2k(dist2,u) =e= Xud2(dist2,u);
 denge4(dist3,u).. Xud3g(dist3,u)+Xud3k(dist3,u) =e= Xud3(dist3,u);
 denge5(dist4,u).. Xud4g(dist4,u)+Xud4k(dist4,u) =e= Xud4(dist4,u);
 denge6(dist5,u).. Xud5g(dist5,u)+Xud5k(dist5,u) =e= Xud5(dist5,u);
 denge7(dist1,MG1,u).. Xud1m1g(dist1,MG1,u)+Xud1m1k(dist1,MG1,u) =e=
 Xud1m1(dist1,MG1,u);

denge8(dist2,MG2,u).. Xud2m2g(dist2,MG2,u)+Xud2m2k(dist2,MG2,u) =e=
Xud2m2(dist2,MG2,u);

denge9(dist3,MG3,u).. Xud3m3g(dist3,MG3,u)+Xud3m3k(dist3,MG3,u) =e=
Xud3m3(dist3,MG3,u);

denge10(dist4,MG4,u).. Xud4m4g(dist4,MG4,u)+Xud4m4k(dist4,MG4,u) =e=
Xud4m4(dist4,MG4,u);

denge11(dist5,MG5,u).. Xud5m5g(dist5,MG5,u)+Xud5m5k(dist5,MG5,u) =e=
Xud5m5(dist5,MG5,u);

denge12(dist1,u).. Xud1(dist1,u) =e= sum(MG1, Xud1m1(dist1,MG1,u));

denge13(dist2,u).. Xud2(dist2,u) =e= sum(MG2, Xud2m2(dist2,MG2,u));

denge14(dist3,u).. Xud3(dist3,u) =e= sum(MG3, Xud3m3(dist3,MG3,u));

denge15(dist4,u).. Xud4(dist4,u) =e= sum(MG4, Xud4m4(dist4,MG4,u));

denge16(dist5,u).. Xud5(dist5,u) =e= sum(MG5, Xud5m5(dist5,MG5,u));

denge17(dist1,u).. Xud1g(dist1,u) =e= sum(MG1, Xud1m1g(dist1,MG1,u));

denge18(dist2,u).. Xud2g(dist2,u) =e= sum(MG2, Xud2m2g(dist2,MG2,u));

denge19(dist3,u).. Xud3g(dist3,u) =e= sum(MG3, Xud3m3g(dist3,MG3,u));

denge20(dist4,u).. Xud4g(dist4,u) =e= sum(MG4, Xud4m4g(dist4,MG4,u));

denge21(dist5,u).. Xud5g(dist5,u) =e= sum(MG5, Xud5m5g(dist5,MG5,u));

denge22(dist1,u).. Xud1k(dist1,u) =e= sum(MG1, Xud1m1k(dist1,MG1,u));

denge23(dist2,u).. Xud2k(dist2,u) =e= sum(MG2, Xud2m2k(dist2,MG2,u));

denge24(dist3,u).. Xud3k(dist3,u) =e= sum(MG3, Xud3m3k(dist3,MG3,u));

denge25(dist4,u).. Xud4k(dist4,u) =e= sum(MG4, Xud4m4k(dist4,MG4,u));

denge26(dist5,u).. Xud5k(dist5,u) =e= sum(MG5, Xud5m5k(dist5,MG5,u));

hurda(u).. Xuh(u)=e= Xuh1(u)+Xuh2(u)+Xuh3(u) ;

hurda1(u).. Xuh1(u)=e= 0.0015*Xus(u) ;

hurdaust2(u).. Xuh2(u)= 0.07*(sum(bolge,Xufg(bolge,u))
+sum(dist1,Xud1g(dist1,u))+sum(dist2,Xud2g(dist2,u))+sum(dist3,Xud3g(dist3,u))
+sum(dist4,Xud4g(dist4,u))+sum(dist5,Xud5g(dist5,u))) ;

hurdaalt3(u).. $X_{uh2}(u) = g = 0.03 * (\text{sum}(\text{bolge}, X_{ufg}(\text{bolge}, u)) + \text{sum}(\text{dist1}, X_{ud1g}(\text{dist1}, u)) + \text{sum}(\text{dist2}, X_{ud2g}(\text{dist2}, u)) + \text{sum}(\text{dist3}, X_{ud3g}(\text{dist3}, u)) + \text{sum}(\text{dist4}, X_{ud4g}(\text{dist4}, u)) + \text{sum}(\text{dist5}, X_{ud5g}(\text{dist5}, u)))$;

hurdaust4(u).. $X_{uh3}(u) = l = 0.03 * (\text{sum}(\text{bolge}, X_{ufg}(\text{bolge}, u)) + \text{sum}(\text{dist1}, X_{ud1g}(\text{dist1}, u)) + \text{sum}(\text{dist2}, X_{ud2g}(\text{dist2}, u)) + \text{sum}(\text{dist3}, X_{ud3g}(\text{dist3}, u)) + \text{sum}(\text{dist4}, X_{ud4g}(\text{dist4}, u)) + \text{sum}(\text{dist5}, X_{ud5g}(\text{dist5}, u)))$;

hurdaalt5(u).. $X_{uh3}(u) = g = 0.015 * (\text{sum}(\text{bolge}, X_{ufg}(\text{bolge}, u)) + \text{sum}(\text{dist1}, X_{ud1g}(\text{dist1}, u)) + \text{sum}(\text{dist2}, X_{ud2g}(\text{dist2}, u)) + \text{sum}(\text{dist3}, X_{ud3g}(\text{dist3}, u)) + \text{sum}(\text{dist4}, X_{ud4g}(\text{dist4}, u)) + \text{sum}(\text{dist5}, X_{ud5g}(\text{dist5}, u)))$;

fazlaurunust(u).. $X_{ue}(u) = l = X_{us}(u) + \text{sum}(\text{bolge}, X_{ufg}(\text{bolge}, u)) + \text{sum}(\text{dist1}, X_{ud1g}(\text{dist1}, u)) + \text{sum}(\text{dist2}, X_{ud2g}(\text{dist2}, u)) + \text{sum}(\text{dist3}, X_{ud3g}(\text{dist3}, u)) + \text{sum}(\text{dist4}, X_{ud4g}(\text{dist4}, u)) + \text{sum}(\text{dist5}, X_{ud5g}(\text{dist5}, u))$;

fazlaurunalt(u).. $X_{ue}(u) = g = 0.5 * X_{us}(u) + 0.5 * (\text{sum}(\text{bolge}, X_{ufg}(\text{bolge}, u)) + \text{sum}(\text{dist1}, X_{ud1g}(\text{dist1}, u)) + \text{sum}(\text{dist2}, X_{ud2g}(\text{dist2}, u)) + \text{sum}(\text{dist3}, X_{ud3g}(\text{dist3}, u)) + \text{sum}(\text{dist4}, X_{ud4g}(\text{dist4}, u)) + \text{sum}(\text{dist5}, X_{ud5g}(\text{dist5}, u)))$;

yikamak.. $0.00112 * \text{sum}(u, X_{us}(u)) + 0.0014 * (\text{sum}((\text{bolge}, u), X_{ufg}(\text{bolge}, u)) + \text{sum}((\text{dist1}, u), X_{ud1g}(\text{dist1}, u)) + \text{sum}((\text{dist2}, u), X_{ud2g}(\text{dist2}, u)) + \text{sum}((\text{dist3}, u), X_{ud3g}(\text{dist3}, u)) + \text{sum}((\text{dist4}, u), X_{ud4g}(\text{dist4}, u)) + \text{sum}((\text{dist5}, u), X_{ud5g}(\text{dist5}, u))) = l = 9600$;

geridonen1(bolge,u).. $X_{ufg}(\text{bolge}, u) = l = \text{rfmax}(\text{bolge}) * X_{uf}(\text{bolge}, u)$;

geridonen12(bolge,u).. $X_{ufg}(\text{bolge}, u) = g = \text{rfmin}(\text{bolge}) * X_{uf}(\text{bolge}, u)$;

geridonen121(dist1,u).. $X_{ud1g}(\text{dist1}, u) = g = r1 * X_{ud1}(\text{dist1}, u)$;

geridonen13(dist2,u).. $X_{ud2g}(\text{dist2}, u) = g = r1 * X_{ud2}(\text{dist2}, u)$;

geridonen14(dist3,u).. $X_{ud3g}(\text{dist3}, u) = g = r1 * X_{ud3}(\text{dist3}, u)$;

geridonen15(dist4,u).. $X_{ud4g}(\text{dist4}, u) = g = r1 * X_{ud4}(\text{dist4}, u)$;

geridonen16(dist5,u).. $X_{ud5g}(\text{dist5}, u) = g = r1 * X_{ud5}(\text{dist5}, u)$;

geridonen17(dist1, MG1, u).. $X_{ud1m1g}(\text{dist1}, \text{MG1}, u) = g = r1 * X_{ud1m1}(\text{dist1}, \text{MG1}, u)$;

geridonen18(dist2, MG2, u).. $X_{ud2m2g}(\text{dist2}, \text{MG2}, u) = g = r1 * X_{ud2m2}(\text{dist2}, \text{MG2}, u)$;

geridonen19(dist3, MG3, u).. $X_{ud3m3g}(\text{dist3}, \text{MG3}, u) = g = r1 * X_{ud3m3}(\text{dist3}, \text{MG3}, u)$;

geridonen20(dist4, MG4, u).. $X_{ud4m4g}(\text{dist4}, \text{MG4}, u) = g = r1 * X_{ud4m4}(\text{dist4}, \text{MG4}, u)$;

geridonen21(dist5,MG5,u).. Xud5m5g(dist5,MG5,u) =g= r1*Xud5m5(dist5,MG5,u)
;

bulanikkisit2(dist1,u).. Xud1g(dist1,u)-(0.85-0.05*lambda)*Xud1(dist1,u) =l= 0 ;

bulanikkisit3(dist2,u).. Xud2g(dist2,u)-(0.85-0.05*lambda)*Xud2(dist2,u) =l= 0 ;

bulanikkisit4(dist3,u).. Xud3g(dist3,u)-(0.85-0.05*lambda)*Xud3(dist3,u) =l= 0 ;

bulanikkisit5(dist4,u).. Xud4g(dist4,u)-(0.85-0.05*lambda)*Xud4(dist4,u) =l= 0 ;

bulanikkisit6(dist5,u).. Xud5g(dist5,u)-(0.85-0.05*lambda)*Xud5(dist5,u) =l= 0 ;

bulanikkisit7(dist1,MG1,u).. Xud1m1g(dist1,MG1,u)-(0.85-
0.05*lambda)*Xud1m1(dist1,MG1,u) =l= 0 ;

bulanikkisit8(dist2,MG2,u).. Xud2m2g(dist2,MG2,u)-(0.85-
0.05*lambda)*Xud2m2(dist2,MG2,u) =l= 0 ;

bulanikkisit9(dist3,MG3,u).. Xud3m3g(dist3,MG3,u)-(0.85-
0.05*lambda)*Xud3m3(dist3,MG3,u) =l= 0 ;

bulanikkisit10(dist4,MG4,u).. Xud4m4g(dist4,MG4,u)-(0.85-
0.05*lambda)*Xud4m4(dist4,MG4,u) =l= 0 ;

bulanikkisit11(dist5,MG5,u).. Xud5m5g(dist5,MG5,u)-(0.85-
0.05*lambda)*Xud5m5(dist5,MG5,u) =l= 0 ;

depo1.. sum((bolge,u),Xufg(bolge,u))+sum((dist1,u),Xud1g(dist1,u))
+sum((dist2,u),Xud2g(dist2,u))+sum((dist3,u),Xud3g(dist3,u))
+sum((dist4,u),Xud4g(dist4,u))+sum((dist5,u),Xud5g(dist5,u)) =l= KAPdepo*AE ;

depo2.. (sum((bolge,u),Xuf(bolge,u))+sum((dist1,u),Xud1(dist1,u))
+sum((dist2,u),Xud2(dist2,u))+sum((dist3,u),Xud3(dist3,u))
+sum((dist4,u),Xud4(dist4,u))+sum((dist5,u),Xud5(dist5,u))) =l= KAPdepo*AC ;

depo3.. sum(u,Xuh(u)) =l= KAPH ;

depo4(u).. Xus(u) =l= Maxs(u) ;

talep1(u).. Xus(u)=g= Mins(u) ;

talep2(bolge,u).. Xuf(bolge,'u1')=l= talepmax(bolge,'u1') ;

talep3(bolge,u).. Xuf(bolge,'u1')=g= talepminf(bolge,'u1') ;

talep21(bolge,u).. Xuf(bolge,'u2') =l= talepmax(bolge,'u2') ;

bulanikkisit1(bolge,u).. Xuf(bolge,'u2') =g= talepminf(bolge,'u2')+4000*lambda ;

```

talep4(MG1,u).. sum(dist1,Xud1m1(dist1,MG1,u)) =g= talepMG1(MG1,u) ;
talep5(MG2,u).. sum(dist2,Xud2m2(dist2,MG2,u)) =g= talepMG2(MG2,u) ;
talep6(MG3,u).. sum(dist3,Xud3m3(dist3,MG3,u)) =g= talepMG3(MG3,u) ;
talep7(MG4,u).. sum(dist4,Xud4m4(dist4,MG4,u)) =g= talepMG4(MG4,u) ;
talep8(MG5,u).. sum(dist5,Xud5m5(dist5,MG5,u)) =g= talepMG5(MG5,u) ;

kapasite1(dist1).. sum((MG1,u),Xud1m1(dist1,MG1,u))=l=kap1(dist1) ;
kapasite2(dist2).. sum((MG2,u),Xud2m2(dist2,MG2,u))=l=kap2(dist2) ;
kapasite3(dist3).. sum((MG3,u),Xud3m3(dist3,MG3,u))=l=kap3(dist3) ;
kapasite4(dist4).. sum((MG4,u),Xud4m4(dist4,MG4,u))=l=kap4 ;
kapasite5(dist5).. sum((MG5,u),Xud5m5(dist5,MG5,u))=l=kap5(dist5) ;

kapasited4..
sum((MG1,u),Xud1m1('d41',MG1,u))+sum((MG2,u),Xud2m2('d4',MG2,u))=l=
230000 ;

kapasited11..
sum((MG3,u),Xud3m3('d111',MG3,u))+sum((MG4,u),Xud4m4('d11',MG4,u))=l=
205000 ;

kisit.. lambda =l= 1 ;

model reverse /all/ ;

OPTION optcr=0;
OPTION limrow=50;

solve reverse using MINLP maximizing t ;

display t.l,z.l, lambda.l, TEM.l, TDL.l, TTM.l, TIHM.l,TDM.l, Cev.l, Xus.l,
Xuf.l,Xud1.l,Xud2.l,Xud3.l, Xud4.l,Xud5.l,Xud1m1.l, Xud2m2.l,
Xud3m3.l,Xud4m4.l,Xud5m5.l,Xufg.l,Xud1g.l,Xud2g.l, Xud3g.l, Xud4g.l,Xud5g.l,
Xud1m1g.l,Xud2m2g.l,Xud3m3g.l,Xud4m4g.l,Xud5m5g.l,Xufk.l,Xud1k.l,Xud2k.l,
Xud3k.l, Xud4k.l,Xud5k.l,Xud1m1k.l,Xud2m2k.l,Xud3m3k.l,Xud4m4k.l,
Xud5m5k.l,Xuh.l,Xue.l, Xuh1.l, Xuh2.l,Xuh3.l ;

```


EK G : Bulanık talep ve bulanık geri dönüşüm oranlı çok amaçlı modelin GAMS çözümü

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED
 0 ERRORS

GAMS Rev 240 WEX-VS8 24.0.2 x86/MS Windows 07/06/15 00:30:56
Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution

---- 821 VARIABLE t.L = 1.000

---- 821 VARIABLE z.L hedefler
amac1TM 2.800954E+7, amac2COe 5.986597E+7, amac3TK 694170.000

---- 821 VARIABLE lambda.L = 1.000
 VARIABLE TEM.L = 605923.500 toplam edinim maliyeti
 VARIABLE TDL.L = 1.566749E+7 toplam dolum maliyeti
 VARIABLE TTM.L = 1.151250E+7 toplam tasima maliyeti
 VARIABLE TIHM.L = 12168.440 toplam isleme ve hazirlik maliyeti
 VARIABLE TDM.L = 176754.286 toplam depolama maliyeti
 VARIABLE Cev.L = 34708.500 kayıp ürün maliyeti

---- 821 VARIABLE Xus.L tedarikçiden yeni alınan urun miktarı
u1 750000.000, u2 100000.000

---- 821 VARIABLE Xuf.L bölge depolarına gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2
f1 192000.000 79000.000
f2 72000.000 24000.000
f3 120000.000 40000.000

---- 821 VARIABLE Xud1.L 1. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2
d1 43200.000 3000.000
d2 30500.000 2500.000
d3 53300.000 3500.000
d41 31000.000 2500.000

---- 821 VARIABLE Xud2.L 2. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)
 u1 u2
d4 168000.000 20000.000
d5 132000.000 28000.000
d6 96000.000 10000.000

---- 821 VARIABLE Xud3.L 3. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d7	161000.000	14000.000
d8	91200.000	8000.000
d10	170000.000	18500.000
d111	72000.000	5000.000

---- 821 VARIABLE Xud4.L 4. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d11	72000.000	10000.000

---- 821 VARIABLE Xud5.L 5. distribütör grubundan gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d12	165200.000	22000.000
d13	178000.000	40400.000
d14	129600.000	16000.000

---- 821 VARIABLE Xud1m1.L M1 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d1 .m5	43200.000	3000.000
d2 .m1	30500.000	2500.000
d3 .m3	28800.000	2000.000
d3 .m6	24500.000	1500.000
d41.m2	16600.000	1500.000
d41.m4	14400.000	1000.000

---- 821 VARIABLE Xud2m2.L M2 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d4.m9	100800.000	12000.000
d4.m10	67200.000	8000.000
d5.m11	79200.000	16000.000
d5.m12	52800.000	12000.000
d6.m7	57600.000	6000.000
d6.m8	38400.000	4000.000

---- 821 VARIABLE Xud3m3.L M3 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d7 .m14	60000.000	6000.000
d7 .m19	101000.000	8000.000
d8 .m18	52800.000	4500.000
d8 .m20	38400.000	3500.000
d10 .m13	100800.000	11500.000
d10 .m17	69200.000	7000.000
d111.m15	43200.000	3000.000
d111.m16	28800.000	2000.000

---- 821 VARIABLE Xud4m4.L M4 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d11.m21	43200.000	6000.000
d11.m22	28800.000	4000.000

---- 821 VARIABLE Xud5m5.L M5 grubundaki müşterilere gönderilenler (ileri akış)

	u1	u2
d12.m24	86000.000	16000.000
d12.m25	79200.000	6000.000
d13.m23	106000.000	22400.000
d13.m27	72000.000	18000.000
d14.m26	48000.000	4000.000
d14.m28	81600.000	12000.000

---- 821 VARIABLE Xufg.L bölge depolarında tersine ürün akışı

	u1	u2
f1	124800.000	51350.000
f2	46800.000	15600.000
f3	96000.000	32000.000

---- 821 VARIABLE Xud1g.L 1. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d1	30240.000	2100.000
d2	21350.000	1750.000
d3	37310.000	2450.000
d41	21700.000	1750.000

---- 821 VARIABLE Xud2g.L 2. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d4	117600.000	14000.000
d5	92400.000	19600.000
d6	67200.000	7000.000

---- 821 VARIABLE Xud3g.L 3. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d7	112700.000	10600.000
d8	63840.000	5600.000
d10	119000.000	12950.000
d111	50400.000	3500.000

---- 821 VARIABLE Xud4g.L 4. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d11	50400.000	7400.000

---- 821 VARIABLE Xud5g.L 5. distribütör grubu tersine ürün akışı

	u1	u2
d12	115640.000	17600.000
d13	124600.000	30080.000

d14 90720.000 11200.000

---- 821 VARIABLE Xud1m1g.L M1 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d1 .m5	30240.000	2100.000
d2 .m1	21350.000	1750.000
d3 .m3	20160.000	1400.000
d3 .m6	17150.000	1050.000
d41.m2	11620.000	1050.000
d41.m4	10080.000	700.000

---- 821 VARIABLE Xud2m2g.L M2 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d4.m9	70560.000	8400.000
d4.m10	47040.000	5600.000
d5.m11	55440.000	11200.000
d5.m12	36960.000	8400.000
d6.m7	40320.000	4200.000
d6.m8	26880.000	2800.000

---- 821 VARIABLE Xud3m3g.L M3 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d7 .m14	42000.000	4200.000
d7 .m19	70700.000	6400.000
d8 .m18	36960.000	3150.000
d8 .m20	26880.000	2450.000
d10 .m13	70560.000	8050.000
d10 .m17	48440.000	4900.000
d111.m15	30240.000	2100.000
d111.m16	20160.000	1400.000

---- 821 VARIABLE Xud4m4g.L M4 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d11.m21	30240.000	4200.000
d11.m22	20160.000	3200.000

---- 821 VARIABLE Xud5m5g.L M5 grubundaki müşterilerdeki tersine ürün akışı

	u1	u2
d12.m24	60200.000	12800.000
d12.m25	55440.000	4800.000
d13.m23	74200.000	15680.000
d13.m27	50400.000	14400.000
d14.m26	33600.000	2800.000
d14.m28	57120.000	8400.000

---- 821 VARIABLE Xufk.L bölge depolarındaki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
f1	67200.000	27650.000
f2	25200.000	8400.000
f3	24000.000	8000.000

---- 821 VARIABLE Xud1k.L 1. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d1	12960.000	900.000
d2	9150.000	750.000
d3	15990.000	1050.000
d41	9300.000	750.000

---- 821 VARIABLE Xud2k.L 2. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d4	50400.000	6000.000
d5	39600.000	8400.000
d6	28800.000	3000.000

---- 821 VARIABLE Xud3k.L 3. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d7	48300.000	3400.000
d8	27360.000	2400.000
d10	51000.000	5550.000
d111	21600.000	1500.000

---- 821 VARIABLE Xud4k.L 4. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d11	21600.000	2600.000

---- 821 VARIABLE Xud5k.L 5. distribütör grubu kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d12	49560.000	4400.000
d13	53400.000	10320.000
d14	38880.000	4800.000

---- 821 VARIABLE Xud1m1k.L M1 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d1 .m5	12960.000	900.000
d2 .m1	9150.000	750.000
d3 .m3	8640.000	600.000
d3 .m6	7350.000	450.000
d41.m2	4980.000	450.000
d41.m4	4320.000	300.000

---- 821 VARIABLE Xud2m2k.L M2 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d4.m9	30240.000	3600.000
d4.m10	20160.000	2400.000
d5.m11	23760.000	4800.000
d5.m12	15840.000	3600.000
d6.m7	17280.000	1800.000
d6.m8	11520.000	1200.000

---- 821 VARIABLE Xud3m3k.L M3 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d7 .m14	18000.000	1800.000
d7 .m19	30300.000	1600.000
d8 .m18	15840.000	1350.000
d8 .m20	11520.000	1050.000
d10 .m13	30240.000	3450.000
d10 .m17	20760.000	2100.000
d111.m15	12960.000	900.000
d111.m16	8640.000	600.000

---- 821 VARIABLE Xud4m4k.L M4 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d11.m21	12960.000	1800.000
d11.m22	8640.000	800.000

---- 821 VARIABLE Xud5m5k.L M5 grubundaki müşterilerdeki kayıp ürün miktarı

	u1	u2
d12.m24	25800.000	3200.000
d12.m25	23760.000	1200.000
d13.m23	31800.000	6720.000
d13.m27	21600.000	3600.000
d14.m26	14400.000	1200.000
d14.m28	24480.000	3600.000

---- 821 VARIABLE Xuh.L u. üründen toplam hurda miktarı
u1 63346.500, u2 11243.850

---- 821 VARIABLE Xue.L fazladan üretilecek urun miktarı
u1 1066350.000, u2 346530.000

---- 821 VARIABLE Xuh1.L 1. tip hurda urun miktarı
u1 1125.000, u2 150.000

---- 821 VARIABLE Xuh2.L 2. tip hurda urun miktarı
u1 41481.000, u2 7395.900

---- 821 VARIABLE Xuh3.L 3. tip hurda urun miktarı
u1 20740.500, u2 3697.950

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İrem OTAY
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 13.08.1984
E-Posta: iremotay@gmail.com
Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans: Bahçeşehir Üniversitesi- İşletme (MBA)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Asistan; Nisan 2008 – Şubat 2011, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.

Yayın ve Patent Listesi:

- Çebi F., ve **Otay İ.** (2012). An Integrated Approach to Supplier Selection and Order Allocation Problem: A Case Study in a Hospital. *Pre-prints of 17th International Working Seminar on Production Economics*, **3**, 49-60.
- **Otay İ.** ve Çebi F. (2012). An Integrated Multi-Criteria Decision Making Methodology for Facility Location Selection Problem under Fuzzy Environment: Application in Cement Sector. *Precedings of the 10th International FLINS Conference*, **7**, 279-284.
- **Otay, İ.**, Çebi, F. ve Bolat, B. (2014). Evaluating Recovery Options by a Mathematical Model Integrated with Fuzzy Multimooora Method. *Proceedings of CIE44 & IMSS'14*, 86-100.
- Bolat, B., Çebi, F., Temur, G.T. ve **Otay, İ.** (2014). A Fuzzy Integrated Approach for Project Selection. *Journal of Enterprise Information Management*, **27**, 247-260.
- Çebi F. ve **Otay İ.** (2015). Multi-Criteria and Multi-Stage Facility Location Selection under Interval Type-2 Fuzzy Environment: A Case Study for a Cement Factory. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, **2**, 330-344.

- Çebi F. ve **Otay İ.** (2015). A Fuzzy Multi-Objective Model For Solving Project Network Problem with Bonus And Incremental Penalty Cost. *Computers & Industrial Engineering*, **82**, 143-150.
- **Otay, İ.** ve Kahraman, C. (2015). Multicriteria bottle design in the beverage industry using interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing* (Kabul aldı)
- Çebi, F., **Otay, İ.** ve Çelebi, D. (2014). *Fuzzy MCDM Approach for Make or Buy Decision Problem*, Encyclopedia of Business Analytics and Optimization. Ed.: John Wang,. 90. Bölüm, Sf. 978-995, USA.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Otay, İ.** ve Çebi, F. (2015). Multiobjective Fuzzy Mathematical Model for a Supply Chain Problem With Forward and Reverse Flows. *International Journal of Information and Decision Sciences (IJIDS)* (Basım aşamasında)
- **Otay, İ.** ve Çebi, F. (2015). Close-Loop Supply Chain Model with Multiple Objectives for Reusable Products Under Fuzzy Environment. *Applied Soft Computing* (Değerlendirme Aşamasında)
- **Otay, İ.** ve Çebi, F. (2015). Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Üretim ve Dağıtım Planlama Probleminin Bulanık Çok Amaçlı Model İle Çözümü. 15. Uluslararası Katılımlı Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Ege Üniversitesi- İzmir.