

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERS LOJİSTİK SİSTEMLERİNİN STOKASTİK
MODELLEME İLE TASARIMI VE KÂĞIT SEKTÖRÜNDEKİ
UYGULAMASI**

Endüstri Yük. Müh. Selin SONER KARA

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 13.10.2008

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Semih ÖNÜT (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Necati ARAS (BOĞAZİÇİ)

: Y. Doç. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL (YTÜ)

Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL (YTÜ)

Y. Doç. Dr. Bahar SENNAROĞLU (MARMARA)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TERS LOJİSTİK KAVRAMI.....	4
2.1 Ters Lojistik Tanımı ve Kapsamı.....	4
2.2 Ters Lojistik Kavramının Boyutları	5
2.3 Ters Lojistik Akışının Kategorileri	7
2.4 Ters Lojistik ve İyileştirme Ağı Karakteristikleri	11
2.5 Ürün İyileştirme Ağının Sınıflandırılması	12
2.6 Ürün İyileştirme Ağ Tipleri.....	13
2.7 Ters Lojistik Ağının Geleneksel Ağ ile Farkları	14
2.8 Ters Lojistik ve Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Modelleri.....	14
2.9 Kapalı Çevrim Tedarik Zincirinde Stratejik Konular	20
2.10 Ters Lojistik ve Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Sistemlerinin Temel Özellikleri.....	21
2.11 Ters Lojistikte Ürün dönüşleri, Taşıma ve Depolama Konuları	21
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	24
3.1 Deterministik modellerle yapılmış çalışmalar.....	24
3.1.1 Spengler vd. (1997)	24
3.1.2 Barros vd. (1998).....	24
3.1.3 Nema ve Gupta (1999)	26
3.1.4 Krikke vd. (1999)	27
3.1.5 Shih (2001).....	28
3.1.6 Hu vd. (2002)	28
3.1.7 Krikke vd. (2003)	29
3.1.8 Jayaraman vd. (2003)	30
3.1.9 Beamon ve Fernandes (2004).....	31

3.1.10	Blanc vd. (2004).....	32
3.1.11	Min vd. (2006).....	33
3.1.12	Alumur ve Kara (2007)	34
3.1.13	Lu ve Bostel (2007).....	35
3.1.14	Sheu (2007)	35
3.1.15	Lieckens ve Vandaele (2007).....	37
3.1.16	Ko ve Evans (2007).....	37
3.1.17	Lee ve Dong (2008).....	39
3.1.18	Min ve Ko (2008).....	39
3.1.19	Pati vd. (2008).....	41
3.2	Stokastik Programlama ile Yapılmış Çalışmalar	41
3.2.1	Ters Lojistik Alanında yapılmış çalışmalar.....	41
3.2.2	İleri Lojistik Alanında yapılmış çalışmalar.....	47
4.	KULLANILAN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	54
4.1	Stokastik Programlama	54
4.1.1	Temel Kavramlar.....	54
4.1.2	Kararlar ve Aşamalar	55
4.1.3	İki Aşamalı Stokastik Programlama.....	55
4.1.4	Bilginin Değeri ve Stokastik Çözüm.....	57
4.2	Robust Programlama	59
5.	TERS LOJİSTİK AĞ TASARIMI İÇİN ÖNERİLEN MODELİN TANIMI VE FORMÜLASYONU.....	63
5.1	Çalışmada İncelenen Durumlar	63
5.2	Atık Kağıt Ters Lojistik Sisteminin Özellikleri	65
5.3	MODEL 1'in yapısı.....	66
5.3.1	Modelin Bileşenleri	66
5.3.2	Önerilen Model	68
5.4	MODEL 2'nin yapısı.....	71
5.5	MODEL 3'ün yapısı.....	74
5.6	MODEL 4'ün yapısı.....	77
6.	ÖNERİLEN MODELİN KAĞIT SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMASI	80
6.1	Uygulama Yeri Seçimi	80
6.2	Toplama ve İşleme Merkezlerini Kapsayan Ağın İASP ile Tasarımı	82
6.2.1	Çalışmanın Verileri	86
6.2.2	Model Sonuçları	88

6.2.3	Modelin Geçerlilik Analizi.....	90
6.3	İşleme Merkezini Kapsayan Ağın İASP ile Tasarımı	95
6.3.1	Model Sonuçları	96
6.3.2	Modelin Geçerlilik Analizi.....	97
6.4	Toplama ve İşleme Merkezlerini Kapsayan Ağın RP ile Tasarımı.....	102
6.5	İşleme Merkezlerini Kapsayan Ağın RP ile Tasarımı.....	104
7.	SONUÇ	106
KAYNAKLAR.....		109
EKLER		112
Ek 1 Senaryo bazında müşterilerden toplanabilecek ürün miktarları		113
Ek 2 Senaryo bazında müşteri talebi		119
Ek 3 İşleme ve toplama merkezlerinin dâhil olduğu durum için İASP modeli tarafından hesaplanan zf_{kis} , zr_{kis} , h_{iks} ve w_{ijs} değerleri		123
Ek 4 Sadece işleme merkezinin dâhil olduğu durum için İASP modeli tarafından hesaplanan zf_{kis} , zr_{kis} ve h_{iks} değerleri.....		144
ÖZGEÇMİŞ		161

SİMGE LİSTESİ

ω	Rassal deney sonucu elde edilen çıktılar
Ω	Çıktı Kümesi
ξ	Herhangi bir rassal değişken
$\xi(\omega)$	Rassal deney sonucu bilinen rassal değişken
$\bar{\xi}$	Rassal değişkenin beklenen değeri
x	Stokastik programlamada birinci aşama değişkenleri
$\bar{x}(\xi)$	BG probleminin çözümü
$\bar{x}(\bar{\xi})$	BD probleminin çözümü
$y(\omega)$	Stokastik programlamada ikinci aşama değişkenleri
c^T	Stokastik programlamada birinci aşama değişkenlerinin amaç fonk. katsayı matrisi
$q(\omega)^T$	Stokastik programlamada ikinci aşama değişkenlerinin amaç fonk. katsayı matrisi
$h(\omega)$	Stokastik programlamada ikinci aşama değişkenlerinin sağ taraf kısıt katsayı matrisi
$T(\omega)$	Stokastik programlamada ikinci aşama değişkenlerinin sol taraf kısıt katsayı matrisi
$Q(x)$	Stokastik programlamada beklenen ikinci aşama değer fonksiyonu
s	Senaryo kümesi
p_s	s senaryosunun olasılığı
δ_s	Robust programlamada hata vektörü
$\sigma(.)$	Robust programlamada ölçülen çözüm sağlamlığı
$\rho(.)$	Robust programlamada fizibil ceza fonksiyonu
ξ'	Robust programlamada amaç fonksiyonunun birinci terimi
ξ'_s	Robust programlamada s senaryosunda amaç fonksiyonunun birinci terimi
ω'	Robust programlamada tatmin edilemeyen kısıtlar için ceza ağırlıkları
λ	Robust programlamada amaç fonksiyonunun beklenen değeri ile sapması arasındaki risk dengeleme faktörü
θ_s	Robust programlamada amaç fonksiyonunun beklenen değerinin s senaryosundaki sapma miktarı
Z	Amaç fonksiyonu değeri
i	Müşteri kümesi
j	Toplama merkezi kümesi
k	İşleme merkezi kümesi
a_{is}	i müşterisinden s senaryosunda toplanılabilecek ürün miktarı

B_{min}	Toplama merkezlerinin minimum kapasitesi
B_{max_j}	j 'deki toplama merkezinin maksimum kapasitesi
F_{min}	İşleme merkezlerinin minimum kapasitesi
F_{max_k}	k 'daki işleme merkezinin maksimum kapasitesi
L_{max}	Açılabilecek toplama merkezi adedi için üst sınır
J_{max}	Açılabilecek işleme merkezi adedi için üst sınır
L_{min}	Açılabilecek toplama merkezi adedi için alt sınır
J_{min}	Açılabilecek işleme merkezi adedi için alt sınır
d_{is}	i müşterisinin s senaryosundaki talebi
C_j	j 'deki toplama merkezinin kurulum maliyeti
G_k	k 'daki işleme merkezinin kurulum maliyeti
K^1	Müşteri ile işleme merkezi arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^2	İşleme merkezi ile müşteri arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^3	İşleme merkezi ile atık merkezi arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^4	Müşteri ile toplama merkezi arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^5	Toplama merkezi ile işleme merkezi arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^6	Toplama merkezi ile atık merkezi arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
P	Müşteriden ürün toplanma maliyeti
N	Müşteriden toplanmayan ürünler için ceza maliyeti
S^1	İşleme merkezindeki ayrıştırma maliyeti
S^2	İşleme merkezindeki kötü durumda olan ürünlerin ayrıştırma maliyeti
S^3	Toplama merkezindeki ayrıştırma maliyeti
S^4	Toplama merkezindeki kötü durumda olan ürünlerin ayrıştırma maliyeti
V_f	Yeni hammaddeden üretilen ürün maliyeti
V_r	Geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürün maliyeti
q_{ik}^1	i müşterisinden k 'daki işleme merkezine olan mesafe
q_k^2	k 'daki işleme merkezinden atık merkezine olan mesafe
q_{ij}^3	i müşterisinden j 'deki toplama merkezine olan mesafe

q_{jk}^4	j 'deki toplama merkezinden k işleme merkezine olan mesafe
q_j^5	j 'deki toplama merkezinden atık merkezine olan mesafe
β	Müşteriden toplanmayan maksimum ürün yüzdesi
β_1	İşleme merkezine gelen kötü durumdaki ürün yüzdesi
β_2	Toplama merkezine gelen kötü durumdaki ürün yüzdesi
α	İşleme merkezinde geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünlere atanmış kapasiteyi sınırlandıran oran
Pr	Üretilmiş ürünlerin satış fiyatı
V	Büyük bir sayı
x_j	j 'deki toplama Merkezinin açılıp açılmaması ile ilgili değişken
y_k	k 'daki işleme Merkezinin açılıp açılmaması ile ilgili değişken
e_k	k 'daki işleme Merkezinin ayrıştırma özelliğinin olup olmaması
o_{is}	s senaryosunda i müşterisinden toplanmayan ürün miktarı
w_{ijs}	s senaryosunda i müşterisinden j 'deki toplama merkezine giden ürün miktarı
zr_{kis}	s senaryosunda k 'daki işleme merkezinden i müşterisine giden yeni hammaddeden üretilen ürün miktarı
zf_{kis}	s senaryosunda k 'daki işleme merkezinden i müşterisine giden geri dönüşümden elde edilen hammaddeden üretilen ürün miktarı
h_{iks}	s senaryosunda i müşterisinden k 'daki işleme merkezine giden ürün miktarı
u_{jks}	s senaryosunda j 'deki toplama merkezinden k 'daki işleme merkezine giden ürün miktarı
fj_{js}^1	s senaryosunda j 'deki toplama merkezinden atık merkezine giden atık miktarı
fj_{js}^2	s senaryosunda j 'deki toplama merkezinde kötü durumda olan ve daha fazla maliyetle ayrıştırılan ürün miktarı
fk_{ks}^1	s senaryosunda k 'daki işleme merkezinden atık merkezine giden atık miktarı
fk_{ks}^2	s senaryosunda k 'daki işleme merkezinde kötü durumda olan ve daha fazla maliyetle ayrıştırılan ürün miktarı
δ_{is}^1	s senaryosunda i müşterinden toplanan ürün miktarı için tatminsizlik miktarı
δ_{is}^2	s senaryosunda i müşteri talebi için tatminsizlik miktarı

KISALTMA LİSTESİ

AM	Atık Merkezi
AYM	Ayrıştırma Maliyeti
BD	Beklenen Değer
BDÇBD	BD Çözümünün Beklenen Değeri
BG	Bekle ve Gör
BŞ	Burada ve Şimdi
CM	Ceza Maliyeti
ÇAKTP	Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Programlama
ÇADP	Çok Amaçlı Doğrusal Programlama
İASP	İki Aşamalı Stokastik Programlama
İAASP	İki Aşamalı Aralıklı Stokastik Programlama
İM	İşleme Merkezi
İSM	İşleme Maliyeti
K	Kazanç
KÇTZ	Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri
KM	Kuruluş Maliyeti
KTP	Karma Tamsayılı Programlama
DOKTP	Doğrusal Olmayan Karma Tamsayılı Programlama
MBBD	Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri
OEÜ	Orijinal Ekipman Üreticisi
RP	Robust Programlama
SÇD	Stokastik Çözümün Değeri
SP	Stokastik Programlama
TAM	Taşıma Maliyeti
TL	Ters Lojistik
TM	Toplama Merkezi
TOM	Toplama Maliyeti
TP	Tamsayılı Programlama
ÜASP	Üç Aşamalı Stokastik Programlama
ÜPLŞ	Üçüncü Parti Lojistik Şirketleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Tedarik zincirindeki ters lojistik akışları (Fleischmann, 2001)	7
Şekil 2.2 İyileştirme ağı (Fleischmann, 2001)	11
Şekil 2.3 Bağımsız ters lojistik ağı (Blumberg, 2005)	16
Şekil 2.4 Yüksek teknolojik ürünler için KÇTZ ağı (Blumberg, 2005).....	17
Şekil 2.5 Alternatif zincir (Blumberg, 2005)	18
Şekil 2.6 Tüketici odaklı KÇTZ (Blumberg, 2005)	19
Şekil 5.1 İncelenen durumlar ve önerilen modeller	63
Şekil 5.2 Girdi-çıktı dengesi.....	71
Şekil 6.1 Atık kağıt geri dönüşüm sistemi	80
Şekil 6.2 Önerilen ters lojistik sisteminin kavramsal yapısı (Durum 1)	81
Şekil 6.3 Sistemin yapısı ve boyutu (Durum 1)	82
Şekil 6.4 Birinci müşterinin ürün talebi için senaryo ağacı	83
Şekil 6.5 İASP modelinin süreci	85
Şekil 6.6 Mevcut müşteriler ve atık merkezleri, işleme ve toplama merkezleri için alternatif bölgeler.....	87
Şekil 6.7 Seçilen alternatiflerin yerleri.....	89
Şekil 6.8 Ana model ile farklı sayıda senaryo içeren stokastik model ile arasındaki sapma miktarları-1	95
Şekil 6.9 Sistemin yapısı (Durum 2)	96
Şekil 6.10 Seçilen bölgeler.....	97
Şekil 6.11 Ana model ile farklı sayıda senaryo içeren stokastik model ile arasındaki sapma miktarları-2.....	102
Şekil 6.12 Risk faktör ağırlıkları ile beklenen kazanç arasındaki ilişki-1	103
Şekil 6.13 Risk faktör ağırlıkları ile sapma miktarları arasındaki ilişki-1	103
Şekil 6.14 Risk faktör ağırlıkları ile beklenen kazanç arasındaki ilişki-2.....	105
Şekil 6.15 Risk faktör ağırlıkları ile sapma miktarları arasındaki ilişki-2	105

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Farklı ters lojistik akışlarının detayları (Fleischmann, 2001)	9
Çizelge 2.1 Farklı ters lojistik akışlarının detayları (Fleischmann, 2001)-devamı	10
Çizelge 2.2 İleri ve ters lojistik sisteminin farkları (Tibben-Lembke ve Rogers, 2002).....	15
Çizelge 2.3 Ürün dönüşleri malzeme taşıma ve depolama konuları (Dekker v.d, 2004).....	23
Çizelge 3.1 Literatür çalışmalarının özeti	50
Çizelge 3.1 Literatür çalışmalarının özeti -devamı	51
Çizelge 3.1 Literatür çalışmalarının özeti-devamı	52
Çizelge 3.1 Literatür çalışmalarının özeti-devamı	53
Çizelge 5.1 Model detayları	64
Çizelge 5.2 Modelin indisleri	66
Çizelge 5.3 Modelin parametreleri	67
Çizelge 5.3 Modelin parametreleri-devamı	68
Çizelge 5.4 Modelin değişkenleri.....	68
Çizelge 5.5 Modelin indisleri	71
Çizelge 5.6 Modelin parametreleri	71
Çizelge 5.6 Modelin parametreleri-devamı	72
Çizelge 5.7 Modelin değişkenleri.....	72
Çizelge 5.8 İlave parametre ve değişkenler	74
Çizelge 6.1 Modelin verileri-1	87
Çizelge 6.1 Modelin verileri-1 devamı	88
Çizelge 6.2 Modelin verileri-2	88
Çizelge 6.3 Modelin özeti	89
Çizelge 6.4 Geçerlilik analizi hesaplamaları-1	90
Çizelge 6.5 Toplama ve işleme merkezleri için seçilen alternatifler	92
Çizelge 6.5 Toplama ve işleme merkezleri için seçilen alternatifler-devamı	93
Çizelge 6.6 Geçerlilik analizi hesaplamaları-2	94
Çizelge 6.7 Modelin özeti	96
Çizelge 6.8 Geçerlilik analizi hesaplamaları-3	97
Çizelge 6.8 Geçerlilik analizi hesaplamaları-3 devamı.....	98
Çizelge 6.9 Seçilen alternatifler	99
Çizelge 6.9 Seçilen alternatifler-devamı	100
Çizelge 6.10 Geçerlilik analizi hesaplamaları-4	101
Çizelge 6.11 Hesaplanan beklenen kazançlar, sapma miktarları ve seçilen alternatifler-1 ...	103
Çizelge 6.12 Hesaplanan beklenen kazançlar, sapma miktarları ve seçilen alternatifler-2 ...	104

ÖNSÖZ

Bu çalışma, önemli optimizasyon tekniklerinden olan stokastik programlama tekniğinin somut bir örneğini göstermektedir. Stokastik programlamanın en önemli özelliği, belirsiz parametreleri işin içine katabilmesidir. Bu çalışmada da iki adet parametrenin belirsiz olduğu düşünüldüğünden, ters lojistik ağ sisteminin tasarımı stokastik programlama tekniği ile yapılmıştır. Ayrıca, farklı düğüm sayıları içeren farklı ağ yapılarının tasarlanması da hedeflenmiştir. Bunun yanında, sapma miktarlarını işin içine katan robust programlama ile bu farklı ağ yapıları tasarlanmaya çalışılmış ve bu iki tekniğin sonuçları incelenmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana yol göstererek yardımcı olan başta değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Semih ÖNÜT'e, bilgilerini benden esirgemeyen tez izleme komitemdeki hocalarım Sayın Doç. Dr. Necati ARAS'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL'e, verilerin toplanmasında bana kolaylık sağlayan şirket yöneticilerine, bana desteklerini hep hissettiren önce rahmetli annem Süheyla SONER'e, eşim Barış KARA'ya, babam Kenan SONER'e ve kardeşim Mert SONER'e, ayrıca tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Ağustos, 2008

Endüstri Yüksek Müh. Selin SONER KARA

TERS LOJİSTİK SİSTEMLERİNİN STOKASTİK MODELLEME İLE TASARIMI VE KAĞIT SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMASI

ÖZET

Ekonomik optimizasyon ve çevresel koruma konuları arasındaki ilişki, yakın zamanlı araştırma programları tarafından fazlaca ilgi görmektedir. Üretici sorumluluğu şirketleri; ürünlerini geri alabileceği, işleme, iyileştirme ve geri dönüşüm yapabileceği bir lojistik ağı kurmaya itmektedir. Bu tip ağlar tipik ileri lojistik ağlarından farklıdır. Bu yüzden ilgili konuları hesaba katan özel çalışmalar yapılmalıdır. Atık kâğıt problemi de, geri dönen ürünlerin işleme katılmasından dolayı ters lojistik alanına girmektedir. Bunun yanında belirsizlik, geri dönüşüm ağlarının önemli bir parçasıdır. Özellikle lojistik altyapının stratejik tasarımı için belirsiz bilgiyi hesaba katmak gerekmektedir.

Bu çalışmada ters dağıtım incelenmiş ve bu problemin çözümü için belirsizliği işin içine etkin bir şekilde katan iki aşamalı stokastik model önerilmiştir. Çalışmada iki adet parametre “belirsiz” olarak varsayılmıştır. Bunlar; müşteri talebi ve müşteriden toplanabilecek atık kâğıt miktarıdır. Geçerlilik analizi için her senaryoyu deterministik olarak modele dahil edip *Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri* ve *Stokastik Çözümün Değeri* birimleri hesaplanmış ve incelenmiştir. Ayrıca değişik sayıda senaryo içeren iki aşamalı stokastik modeller çözülmüştür. Son olarak diğer bir teknik olan robust programlama karşılaştırma için kullanılmıştır.

Bu çalışmanın iki amacı vardır; mevcut optimizasyon modellerin incelenip eksiklerin belirlenmesi ve bu eksikleri giderecek bir modelin sunulmasıdır. İkinci amacın hedefi şu sorulara cevap aramaya çalışmaktır: toplama ve işleme merkezlerinin nerede açılacağı ve atık kağıdın müşteriler ve ağın düğümleri arasındaki rotasının ne olacağıdır. Modelin İstanbul Türkiye’deki büyük ölçekli bir uygulaması sunulmuştur. Uygulama, ağ tasarımı için kullanılmak üzere, sunulmuş olan geliştirilmiş formülasyonunun geçerliliği göstermek üzere yapılmıştır. Ayrıca atık kâğıt ağı için elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Sonuçlar, önerilen modelin ters lojistik ağ tasarımı problemleri için kullanışlı bir metot olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ters Lojistik, Ağ tasarımı, Stokastik Programlama, Robust Programlama, Atık Kâğıt

REVERSE LOGISTICS SYSTEMS DESIGN BY STOCHASTIC MODELLING AND A CASE STUDY IN PAPER SECTOR

ABSTRACT

The conflict between economic optimization and environmental protection has received wide attention in recent research programs. The introduction of producer responsibility forces manufacturers to set up a logistics network for take back, processing, recycling and recovery of their products. These kinds of networks differ from typical forward logistics networks. Therefore, specific work considering their issues is necessary. The waste paper problem falls into the field of reverse logistics management since it deals with processing returned goods. Besides, uncertainty is one of the characteristics of recycling networks. In particular the strategic design of their logistic infrastructure has to take uncertain information into account.

In this study we discuss reverse distribution, and propose a two-stage stochastic programming model, which incorporates uncertainty efficiently, for a version of this problem. In this study two parameters assumed uncertain: customer demand and number of waste paper that can be collected from customers. For validity analysis, each scenario value is included in deterministic model and *Expected Value of Perfect Information* and *Value of Stochastic Solution* are calculated and investigated. Also different two-stage stochastic programming models with different scenario values are solved. Lastly, another approach, Robust Programming, is used for comparison.

This study has two objectives; review of existing optimization models for reverse logistics, define shortfalls and present a mathematical model for a reverse system which aims to fill these shortfalls. The aim of the second objective is to answer the following questions: where to open collection and recycling centers, and how to route waste paper between customers and network nodes. A large-scale implementation of the model in Istanbul, Turkey is presented. An illustrative case example is presented to demonstrate the usefulness of the improved formulation as a tool which can be used in network design. Also the results obtained for waste paper network are summarized. Results show that the proposed model is a useful method for reverse logistics network design problems.

Keywords: Reverse Logistics, Network Design, Stochastic Programming, Robust Programming, Waste paper

1. GİRİŞ

Dünyanın kısıtlı kaynakları ve sınırlı elden çıkarma kapasiteleri çerçevesinde kullanılmış ürünlerin ve malzemelerin iyileştirilmesi, artan tüketim seviyesinde büyüyen nüfusun negatif etkisini azaltan önemli bir faktördür. Atık azaltılması endüstriyel ülkelerde önemli bir sorun haline geldiğinden, malzeme geri dönüşümü yavaş yavaş tek yönlü ekonomik algının yerini almaktadır. Bu yüzden müşteriler şirketlerden ürünlerinin ve işlemlerinin çevresel etkilerini azaltıcı önlemler almalarını beklemektedirler. Ayrıca üreticinin sorumluluklarını arttıran yasalar, kamusal çevre politikalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Birçok ülkede, özellikle Avrupa’da, üreticilerin ürettikleri ürünlerin bütün yaşam çevriminden sorumlu olmalarını zorunlu kılan çevresel yasalar çıkartılmıştır. Geri alma ve iyileştirme yükümlülükleri kanunlaştırılmış ve çoğu ülkede elektronik ürünler, otomotiv sektörü ve ambalaj malzemelerinde uygulanmaya başlanılmıştır. Aynı zamanda üreticiler, yasal sorumlulukları yerine getirmenin yanı sıra ters lojistik uygulamalarının maliyet azaltıcı finansal faydalarını da fark etmişlerdir (Fleischmann, 2001).

Ters lojistik kavramının öneminin artmasının bir başka sebebi de büyük şehirlerde artan nüfustur. Endüstriyel devrimle beraber, zararlı atıkların meydana gelmesinden kaynaklanan problemler atık yönetiminin önemini arttırmıştır. Ters lojistik şu ürünleri kapsamaktadır:

- Bozulmuş fakat onarılabılır ve yeniden kullanılabilir ürünler,
- Eskimiş ya da kullanım ömrünün sonuna gelmiş, fakat değeri olan ürünler,
- Satıcı raflarında kalmış, satılmamış ve iade edilen ürünler
- Geri kazanılabilir atıklar (Blumberg, 2005).

Bu akışın yönetimi, geleneksel tedarik zincirine ters olarak, yeni gelişen bir alan olan “Ters Lojistik” kavramı ile ilgilidir. Fakat kullanılmış ürünlerin iyileştirilmesi sadece “diğer yönden gelen” ürünlerin akışının sonucu değildir. Satılmamış ürünlerin toptancılardan geri dönmesi de büyüyen bir önem kazanmaktadır. Ayrıca hatalı ürünlerin veya parçaların tamir için geri dönmesi, ters akışın en eski örneklerinden biridir (Fleischmann, 2001). Bu uygulamaların aynı zamanda markaların toplum gözündeki imajını da yükselttiği fark edilmiştir. Dolayısıyla ters lojistik çalışmaları, hem yasal zorunlulukların yerine getirilmesinde, hem de finansal fayda sağlanmasında önemli bir araçtır.

Stokastik Programlama, belirsizlik içeren optimizasyon problemlerinin modellenmesi için bir yapı sunmaktadır. Deterministik optimizasyon problemleri bilinen parametreler ile modellenirken, çoğunlukla gerçek problemler belirsiz parametreler içerir. Stokastik

programlama, belirsiz verileri olasılık dağılımları ile ifade ederek, rassal parametreler olarak modele dahil edebildiğinden, diğer yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır. Burada amaç, tüm olası veriler için fizibil bir çözüm bulmak ve rassal değişkenlerin beklenen değerini maksimize etmektir. İki aşamalı stokastik programlamanın avantajı ise, karar vericiye belirsiz verilerin olasılık dağılımları ile modellenmesinden hem önce, hem de sonra karar değişkenlerini modele dahil etme serbestliği verebilmesidir.

Bu tez çalışmasının literatüre katkısı şu şekilde sıralanabilir; şimdiye kadar daha çok deterministik olarak çözülmüş ağ tasarımı problemleri için farklı bir bakış açısı geliştirmek ve bazı önemli parametreleri stokastik olarak modele dahil etmeye çalışmaktır. Ayrıca daha önce hesaba katılmamış kısıtlar ve değişkenler modele eklenerek farklı bir çözüm önerisi geliştirilmiştir. Diğer bir farklı konu ise farklı ağ sistemleri için tasarım önerileri sunulmuştur. Bunun sebebi modelin uygulanırlığını pekiştirmektir. Ayrıca bu farklı ağ sistemleri için farklı iki teknik olan stokastik programlama ve robust programlama teknikleri kullanılarak, birbirleri ile karşılaştırmalar yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Üstelik literatüre bakıldığında ters lojistik alanında ağ tasarımı problemleri için uygulanmış olan bir robust programlama modeline rastlanmamaktadır. İncelenen durumlar, hipotetik değil gerçek durumlardır. Ayrıca incelenen durumlar büyük ölçekli problemlerdir.

Bu çalışmanın amacı; literatürde ters lojistik ağ tasarımı problemlerinde uygulanmış olan matematiksel modellerin incelenip irdelenmesi ve belirsizlik ortamında mevcut modellerin eksik noktalarını güçlendirici bir modelin sunulmasıdır.

Tez alıştırmasının ikinci bölümünde problemin kapsamından bahsedilmiştir. İncelenen başlıca konular: Ters lojistiğin tanımı, kapsamı, boyutları, akış kategorileri, karakteristikleri, geleneksel ağ ile farkları; kapalı tedarik zinciri modelleri, sistemin genel özellikleri, kapalı tedarik zincirinde stratejik konulardan oluşmaktadır.

Üçüncü bölümünde, ağ tasarımı ile ilgili yapılmış çalışmalar ile ilgili literatür çalışmaları anlatılmaktadır. Bu bölümde önce, deterministik modeller ile çözülmüş ters lojistik ağ tasarımı problemleri incelenmiştir. Daha sonra sırasıyla ters lojistik ve ileri lojistik ağ tasarımı problemlerinin çözümü için stokastik programlama modellerinin önerildiği çalışmalar incelenmiştir.

Dördüncü bölümde kullanılan çözüm önerilerinden bahsedilmiştir. İki aşamalı stokastik programlama ve robust programlama teknikleri incelenmiştir. Temel kavramlar, kararlar ve aşamalar hakkında bilgi verilmiş, iki aşamalı stokastik programlama ve robust programlama yapısı incelenmiştir.

Beşinci bölümde önerilen modeller sunulmuştur. Çalışmada incelenen durumlar ve atık kağıt ters lojistik sisteminin özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra; toplama ve işleme merkezlerini kapsayan ağın iki aşamalı stokastik programla ile tasarımı, işleme merkezlerini kapsayan ağın iki aşamalı stokastik programla ile tasarımı, toplama ve işleme merkezlerini kapsayan ağın robust programlama ile tasarımı ve işleme merkezlerini kapsayan ağın robust programlama ile tasarımı için önerilen modeller sunulmuştur.

Bu bölümü takiben uygulama kısmında ters lojistik sisteminin tasarlanması aşamasına geçilmiştir. Öncelikle uygulama yeri seçimi, önerilen modellerin uygulanabilirliğinin ölçülmesi için kağıt sektöründe bir uygulama yapılmış, modellerin geçerlilik analizleri yapıp incelenmiş ve sonuçlar hakkında yorumda bulunulmuştur.

Son bölümde ise sonuç ve değerlendirmeler bulunmaktadır.

2. TERS LOJİSTİK KAVRAMI

Ürünlerin ve malzemelerin yeniden kullanımı yeni bir olgu değildir. Metallerin geri dönüşümü ve depozitolu içecek kutuları uzun zamandır uygulamada olan örneklerdir. Bu durumlarda kullanılmış ürünlerin iyileştirilmesi atılmasından daha ekonomik olmaktadır. Yakın zamanda çevreye olan duyarlılık arttığından “yeniden kullanım” dikkat çekmiştir. Atık azaltma çabaları, tek yönlü ekonomi yerine malzeme geri dönüşümünün değerini arttırmıştır.

Ters lojistik (TL) geniş bir aktivite grubunu içermektedir. Bu aktiviteler ters akışın son kullanıcıdan veya satıcı ya da dağıtım merkezi gibi farklı bir dağıtım kanalı üyesinden gelmesine göre ya da gelenin ürün veya ambalaj ürünü olmasına göre sınıflandırılabilir. Bu iki faktör TL aktivitelerinin karakterize edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Tibben-Lembke ve Rogers, 1998).

TL yeni bir kavram olduğundan diğer kavramlarla karıştırılmamalıdır. TL, yeni ürün olarak kullanılamayacak olan atıkların toplanıp işlenmesini kapsayan atık yönetiminden farklı algılanmalıdır. Eksik olan nokta atığın tanımından kaynaklanmaktadır. TL, iyileştirilebilecek bir değere sahip olan ürünlerle ilgilenmekte ve onları yeni bir tedarik zincirine katmayı hedeflemektedir. Ayrıca TL'nin tek hedefi çevresel yapıyı korumak olmadığından “yeşil lojistik” kavramından da farklılık göstermektedir (Dekker v.d., 2004).

TL sistemlerinin incelenmesi için bir çok motivasyon bulunmaktadır:

- Yükselen müşteri bilinci, ürünlerin güvenli geri dönmesi ve çevre dostu ürünler tasarlanması için yapılan yasal düzenlemeler
- Gelişmiş müşteri servisi konusunda artan müşteri talepleri
- Üreticinin maliyeti azaltma isteği
- Garanti dönüşleri, kısa ve orta dönemli kiralık dönüşler, ürün geri çekilmesi gibi birçok farklı geri dönüş seçeneklerinin mevcut olması
- Müşterinin satın alma sisteminin e-ticarete kayması
- Ürün eskime süresinin kısalması (Blumberg, 2005)

2.1 Ters Lojistik Tanımı ve Kapsamı

Literatüre bakıldığında TL için yapılmış farklı tanımlar bulunmaktadır. Lojistik Yönetimi Konseyi'nin yayınladığı bir çalışmada TL şu şekilde tanımlanmıştır:

“Geri dönüşüm, atıkların elden çıkartılması, zararlı malzemelerin yönetimindeki lojistiğin rolünü işaret etmek için kullanılan; kaynak tasarrufu, geri dönüşüm, yerine koyma,

malzemelerin yeniden kullanımı ve elden çıkarma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ile ilgili lojistik aktivitelerini kapsayan geniş bir perspektiftir.” (Stock, 1992).

Diğer bir çalışmada ise şöyle bir tanım yapılmıştır:

“Dağıtım kanalında ürünlerin tüketiciden üreticiye doğru olan hareketidir” (Pohlen ve Farris, 1992)

Yakın zamanda ise Rogers ve Tibben-Lembke (1998) Lojistik Yönetimi Konseyi tarafından yapılan tanımı destekleyen bir tanım yapmıştır:

“Yeniden değer elde etmek veya uygun şekilde bertaraf etmek için malzemelerin, ürünlerin, envanterlerin ve ilgili bilginin tüketim noktasından başlangıç noktasına olan etkin akışının sağlanabilmesi için planlama, uygulama ve kontrol faaliyetlerinin yürütülmesidir.”

Görüldüğü gibi her tanım TL ile ilgili farklı bir kriterin altını çizmiştir. Stock vd. (1992) atık tasarrufunun altını çizerek TL’yi çevresel yönetimin bir konusu haline getirmiştir. Tam tersi Pohlen ve Farris (1992) akışın yönünden bahsetmiş, yollayıcı ve alıcının tedarik zincirindeki pozisyonu ile ilgilenmiştir. Son tanımda ise kapalı çevrim tedarik zincirinde ürün akışının yönetimi incelenmiştir. Bu üç tanımın ilgi alanları önemli bir noktada birleşmiştir. Aslında bu üç tanım da üreticiye dönmüş kullanılmış ürünlerin akışı ile ilgilenmiştir. Fakat belirtilmelidir ki, tanımlar özdeş değildir ve birbirlerini ima etmemektedirler. Mesela ilk tanım, ikinci tanımla ters olmakla beraber, ticari sebeplerle geri dönen yeni ürünlerden bahsetmemektedir. Diğer bir yandan ikinci tanım üreticiden ziyade diğer birimlere dönen ürünleri kapsamazken diğeri bu konuyu kapsar. Son olarak son tanım, kullanılmış ürünleri iyileştiren bağımsız yeniden üretim şirketleri gibi şirketleri kapsam dışı bırakmıştır, fakat diğerleri bu konuyu kapsamaktadır (Fleischmann, 2001).

2.2 Ters Lojistik Kavramının Boyutları

TL kavramını çeşitli şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bu doğrultuda yürütücüler, hazırlama seçenekleri, aktörler ve çevrim zamanı önemli birer perspektif oluşturmaktadır.

Ters Lojistik Yürütücüleri

Ekonomiklik, pazarlama, yasal düzenlemeler ve kaynak korunması şirketleri, TL aktivitelerine yöneltmiştir. Ters akışlar, kullanılmış ya da geri dönen ürünlerin değerleri iyileştirildiğinde ucuz kaynak haline geldiğinden, ekonomik olarak çekici olabilmektedir. İyileştirme genellikle yeniden üretmekten daha ucuzdur. Düşük hammadde fiyatlarının elde edilmesi, saf malzemelerin iyileştirilmesinden ziyade üretim değeri eklenmiş olanların iyileştirilmesi yoluyla sağlanmaktadır.

TL aktivitelerinin, şirketlerin pazardaki pozisyonunu güçlendirmede önemli rolü vardır. Diğer bir yandan büyüyen rekabet ortamı, üreticileri müşterilerinden fazla ürünleri geri alma ve para iadesi yapmaya zorlamaktadır. Ayrıca kullanılmış ürünlerin geri alınması ve iyileştirilmesi şirketlerin fazlasıyla önem verdiği “yeşil profil” çizmek açısından önemlidir. Bugün çoğu şirket çevresel raporlarda yaptıkları geri dönüşüm ve yeniden kullanım aktivitelerinden bahsetmektedir. Son olarak kullanılmış ürünlerin geri alınması, müşterilerinin atık ürünlerini elden çıkarma ihtiyaçlarını dikkate alan bir servis olarak da düşünülebilir.

TL aktivitelerine önem verilmesinin başka bir sebebi de yasal düzenlemelerdir. Birçok ülkede genişletilmiş üretici sorumluluğu kamusal çevre politikalarının temelini oluşturmaktadır. Buna göre üreticiler atık miktarlarının azaltılması için ürettikleri ürünleri geri alma ve iyileştirme yapmak zorundadır. Bu yasal düzenlemeler daha çok Avrupa’da ve Batı Asya’da uygulamaya konmuş olsa da günümüzün global pazarında tüm dünyayı etkileyecektir. Ürünlerin toplanması için son yürütücü ise kaynak korunmasıdır. Böylece şirketler faydalı bileşenlerini ikincil pazarlara veya başka şirketlere geçmeden elde etmiş olurlar.

Hazırlama Seçenekleri

Toplanan ürünlerin sürece yeniden dâhil olduğu yere göre çeşitli değerlendirme seçenekleri vardır. Öncelikle ürün temizlik ve küçük bir tamir dışında büyük bir işleme tabi olmadan doğrudan tekrar kullanılabilir. Alternatif olarak yeniden üretim, ürünün özelliğini korur ve gerekli demontaj, onarım ve yenisiyle değiştirme işlemlerini yaparak ürünü “neredeyse yeni” duruma getirir, tam tersi tamir ise hatalı ürünlerin belli bir kalite kaybıyla eski haline getirilmesidir. Geri dönüşüm, ürünün yapısını korumadan yapılan malzeme iyileştirilmesidir. Son olarak da bazı geri dönen ürünler kullanılmaz haldedir, bu yüzden şirket bu mamulleri toprağa gömerek ya da yakarak elden çıkartır.

Aktörler

Geri dönen ürünlerle ilgili yapılabilecek en belirgin ayrım, ürünlerin üreticisine orijinal tedarik zinciri ile mi yoksa alternatif bir zincirden mi geldiğidir. TL aktörlerinin konfigürasyonu “ileri” ve “ters” lojistik faaliyetlerin birleştirilmesi için önemli kısıtlar oluşturmaktadırlar.

Çevrim Zamanı

Ürünün “ters” akışa katılmadan önce sahibinde kaldığı süre önemlidir. TL’nin değişik tiplerinin çevrim zamanları farklılık göstermektedir, tekrar kullanılabilen ambalaj paketleri bir iki gün sürerken, uzun süre kullanılabilen ürünlerin olduğu durumlar yıllar sürmektedir. Çevrim zamanının uygun hazırlama seçeneklerinin belirlenmesinde önemli bir etkisi vardır.

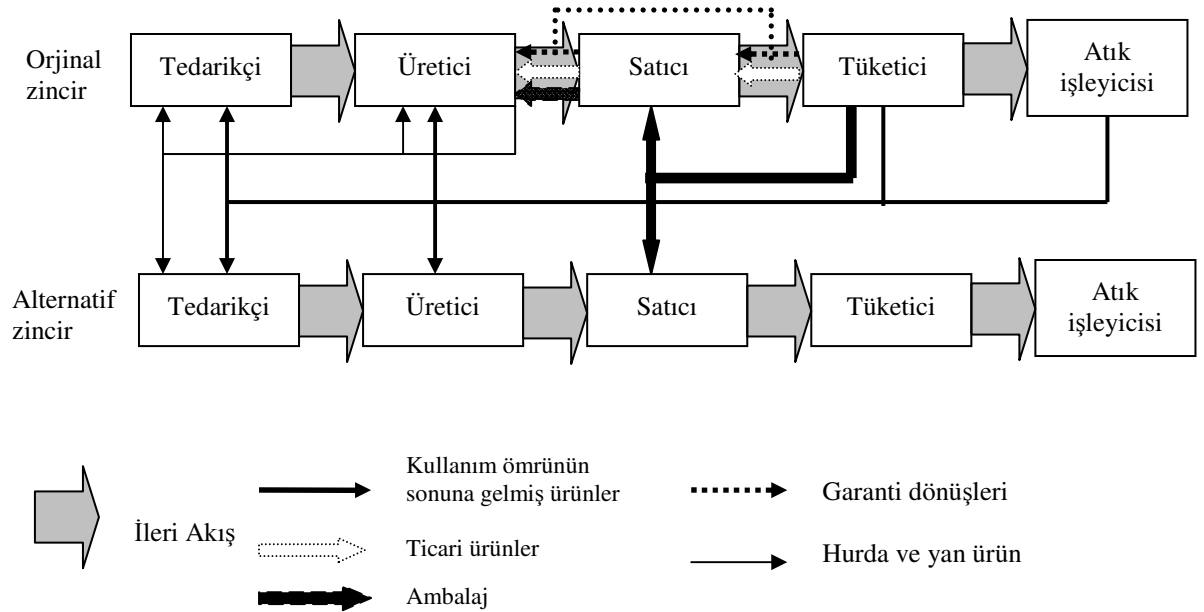
Çoğu durumda çabuk dönen bir ürünün ekonomik değerinin, pazarda uzun süre kalmış bir ürününkinden daha fazla olması beklenir. Ayrıca çevrim zamanı, lojistik planlamasında, uygun tahmin metotlarının seçilmesinde, “ileri” ve “ters” akışların entegrasyonunda önemli bir etkiye sahiptir (Fleischmann,2001).

2.3 Ters Lojistik Akışının Kategorileri

TL akış kategorileri şu şekildedir:

- Kullanım ömrünün sonuna gelmiş ürün dönüşleri
- Ticari dönüşler
- Garanti dönüşleri
- Hurda ve yan ürün dönüşleri
- Ambalaj

Şekil 2.1 farklı “ters” akışları ve onların tedarik zincirindeki yerlerini vurgulamaktadır.



Şekil 2.1 Tedarik zincirindeki ters lojistik akışları (Fleischmann, 2001)

Kullanım ömrünün sonuna gelmiş ürün dönüşleri

Büyük olasılıkla en belirgin TL akış kategorisi kullanım ömrünün sonuna gelmiş ürün akışlarıdır. Bu gruba son yıllarda büyüyen bir ilgi oluşmuştur. Kullanım ömrünün sonuna gelmiş ürün, kullanımı tamamlandıktan sonra elden çıkartılan ürünleri kapsamaktadır. Bu grup kendi içinde çeşitlilik göstermektedir ve geniş çapta örnekleri bulunmaktadır. Daha geniş bir perspektifte bahsedilmek istenen, teknik ve ekonomik yaşam sürelerinin sonuna gelmemiş ürünlerin dönüşüdür. Kullanım ömrünün sonuna gelmiş ürünler genellikle tüketicide veya atık

işleyicisinde oluşmaktadır. Ayrıca orijinal siparişe geri dönüş arasındaki zaman uzundur. Çoğu durumda ürünün toplanıp doğrudan kullanımı uygun değildir, yeniden üretim ya da geri dönüşüm bu kategori için en uygun iyileştirme faaliyetlerindendir. Bu grup, ekonomik faydasından dolayı hem orijinal üreticiler hem de uzmanlaşmış iyileştirme şirketleri için çekici olmaktadır. TL çalışmaları genellikle kullanım ömrünün sonuna gelmiş ürünlerle ilgilenmektedir.

Ticari Dönüşler

Diğer bir önemli TL akışı, bir önceki ticari işlemi yapılmamış ürünlerden oluşan dönüşlerden meydana gelmektedir. Bu durumda tüketici ürünü orijinal yollayıcıya geri ödeme karşılığı yollar. Prensip olarak ticari dönüşler, tedarik zincirinde birbirleri ile doğrudan ilişkisi bulunan gruplar arasında yaşanır. Çoğu dönüş satıcıdan üreticiye ya da tüketiciden satıcıya doğru olur. Ticari dönüşler, farklı grupların kanaldaki güçlerine bağlıdır ve finansal riski alıcıdan satıcıya iletir. Sezonluk ürünler ve ürün yaşam süresi kısa olan ürünler bu kategoriye örnektir. Bu ürünler kullanılmadığından genellikle hiçbir işleme tutulmadan ikincil pazara yollar.

Garanti Dönüşleri

Garanti dönüşleri, geleneksel tedarik zinciri akışına ters olarak dönen ikincil ürünleri kapsamaktadır. Orijinal yollayıcıya dönen hatalı ürünlerden oluşmaktadır. Bu hatalar, ürünün taşınması sırasında ya da kullanımı esnasında meydana gelen hatalardır. Tamir bu kategorideki ürünler için uygun hazırlama faaliyetidir.

Hurda ve Yan ürün Dönüşleri

Üretim aşamasında oluşan fazla malzemenin tekrar üretim aşamasına katılmasıdır. Benzer şekilde standart dışı ürünler tekrar işlenerek kalite hedeflerine ulaşılabilir. Kaynak koruması yapıldığı gibi “dahili dönüş” ekonomik olarak da faydalıdır. Yan ürünler genellikle alternatif tedarik zincirine gönderilir.

Ambalaj

Tekrardan kullanılabilen kutular, şişeler, karton kutular ve paletler bu kategoriye giren en bilinen örneklerdir. Bu ürünler genellikle temizleme dışında herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğrudan kullanılabilindiğinden ekonomik olarak çekicidir. Ayrıca, sadece taşıma esnasında kullanıldığından geri dönüş süresi oldukça kısadır. Ambalaj miktarının fazla olmasından dolayı çevresel düzenlemelerin de hedefi haline gelmiştir. Çizelge 2.1 bu kategorilerin detaylarını özetlemektedir (Fleischmann, 2001).

Çizelge 2.1 Farklı ters lojistik akışlarının detayları (Fleischmann, 2001)

Tanım	Çevrim zamanı	Yürütücüler	Hazırlanma	Aktörler	Örnekler
1. Kul. ömrünün sonuna gelmiş ürünler					
Kullanımı tamamlandıktan sonra elden çıkartılan ürünler	Uzun	Ekonomik Pazarlama	Yeniden üretim, Geri dönüşüm	Orijinal zincir Alternatif zincir	Elektronik ürünlerin yeniden üretimi, Halı geri dönüşümü Lastik yenilenmesi
		Yasal düzenleme	Geri dönüşüm	Orijinal zincir	
		Kaynak korunması	Yeniden üretim, Geri dönüşüm Elden çıkarma	Orijinal zincir	Kartuşların toplanması, Bilgisayar parçaları
2. Ticari dönüşler					
Geri ödeme karşılığında yollanan kullanılmamış ürünler	Kısa, orta	Pazarlama	Yeniden kullanım Yeniden üretim, Geri dönüşüm Elden çıkarma	Orijinal zincir	Bilgisayarlarda oluşan fazla stok Moda olan kıyafet ve kozmetikler

Çizelge 2.1 Farklı ters lojistik akışlarının detayları (Fleischmann, 2001)-devamı

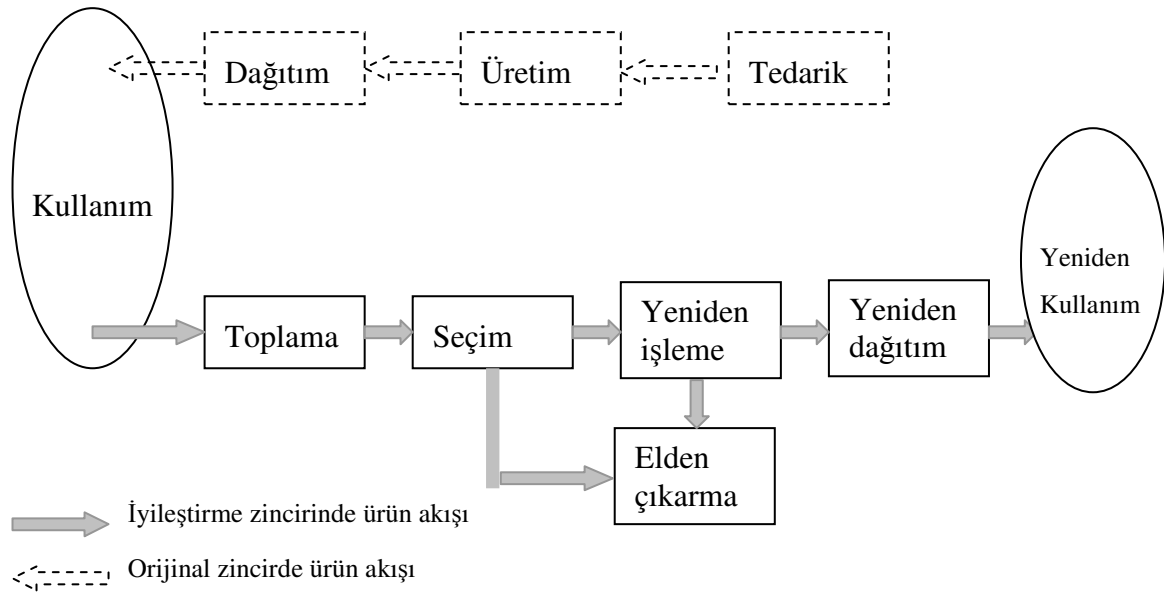
3. Garanti Dönüşleri					
Hatalı ya da zarar görmüş ürünler	Orta	Pazarlama Yasal düz.	Tamir Elden çıkarma	Orijinal zincir	Hatalı ev gereçleri
4- Hurda ve Yan ürün Dönüşleri					
Hurda ve Yan ürün	Çok kısa	Ekonomik Yasal düz.	Yeniden üretim, Geri dönüşüm	Orijinal zincir Alternatif zincir	İlaç endüstrisi Çelik işçiliği
5-Ambalaj					
Paketleme ve taşıma malzemeleri	Kısa	Ekonomik	Yeniden kullanım	Orijinal zincir Alternatif zincir	Paletler, kartonlar, şişeler
		Yasal düz.	Geri dönüşüm	Orijinal zincir	

2.4 Ters Lojistik ve İyileştirme Ağı Karakteristikleri

Bütün aşamalar, iyileştirme yapacak birimin sorumluluğunun, kullanılmış ürünlerin toplanmasıyla başlayan ve iyileştirilmiş ürünlerin dağıtımı ile son bulan tedarik zinciri aşamasının benzer bir halini kapsamaktadır. Bu yüzden uygun lojistik ağı, kullanılmış ürünleri serbest bırakan aktörlerle iyileştirilmiş ürünleri talep eden diğer aktörleri kapsamaktadır. Bu doğrultuda, bu ara yüzler, iyileştirme yapan birimin alıcı pozisyonunda olduğu elden çıkarma pazarı ile iyileştirme yapan birimin satıcı pozisyonunda olduğu yeniden kullanım pazarı olarak adlandırılırlar. Aşamalar durumdan duruma farklılık gösterse de aşağıda belirtilen aşamalar iyileştirme ağında bulunması gereken faaliyetlerdir:

- Toplama
- Muayene/Ayırma
- Yeniden işleme
- Elden çıkarma
- Yeniden dağıtım

Şekil 2.2 geleneksel tedarik zinciriyle birleşik ürün iyileştirme zincirinde olması gereken faaliyetlerin grafiksel gösterimidir.



Şekil 2.2 İyileştirme ağı (Fleischmann, 2001)

Toplama, teslim edilmeye hazır kullanılmış ürünlerin fiziksel olarak bir sonraki işlem yerine taşınmasıdır. Genellikle toplama; satın alma, taşıma, depolama faaliyetlerini kapsamaktadır. Toplama işlemi, ekonomik, pazarlama ve yasal yürütücüler gibi değişik yürütücüler

tarafından motive edilebilir.

Muayene/Ayırma; toplanan ürünlerin kullanılabilir olup olmadığını ve ne şekilde kullanılacağını belirleyen aktiviteleri içermektedir. Böylece muayene ve ayırma, kullanılmış ürünlerin akışlarının yeniden kullanım seçeneklerine göre sınıflandırılmasına sebep olur. Muayene ve ayırma; demontaj, parçalama, test, sınıflandırma ve depolama faaliyetlerini kapsar.

Yeniden işleme; kullanılmış ürünün tekrardan kullanılabilir hale gelmesi için yapılan gerçek dönüşümdür. Bu dönüşüm; geri dönüşüm, tamir, yeniden üretim gibi çeşitli şekillerde olabilir. Buna, temizlik, yerine koyma ve tekrardan montaj faaliyetleri de eklenebilir.

Elden çıkarma; teknik ve ekonomik nedenlerle tekrardan kullanılamayan ürünler için uygulanır. Bu, aşırı tamir gerektiren ayırma safhasında reddedilen ürünlerle, pazar ihtiyaçlarını karşılayamayan ürünlere uygulanır. Elden çıkarma; taşıma, toprağa gömme ve yakma faaliyetlerini içerir.

Yeniden dağıtım; doğrudan yeniden kullanılabilen ürünlerin potansiyel pazarlara gelecekteki kullanıcılarına ulaştırılması için yapılan fiziksel taşımadır. Bu aşama, satış, taşıma ve depolama faaliyetlerini kapsamaktadır (Fleischmann, 2001).

2.5 Ürün İyileştirme Ağının Sınıflandırılması

Lojistik ağının yapısının farklılıkları aşağıdaki faktörlere göre oluşmaktadır:

- Merkezileştirme derecesi
- Seviye sayısı
- Diğer ağlarla olan bağlantısı
- Açık ya da kapalı çevrim olması
- Dalların işbirliğinin seviyesi

Merkezileştirme, benzer faaliyetlerin yürütüldüğü merkezlerin sayısından bahsetmektedir. Merkezi bir ağda her faaliyet sadece belirli merkezlerde yapılırken merkezi olmayan sistemde aynı işlem paralel olan farklı merkezlerde yapılabilir. Merkezileştirme, yatay entegrasyonun ölçüsü ya da ağın genişliği olarak ifade edilebilir. Benzer olarak *seviye sayısı*, ürünün sırayla ziyaret ettiği merkezlerin sayısını ifade etmekte, ağın derinliğini ya da dikey entegrasyon seviyesini ortaya koymaktadır. Tek seviyeli bir ağda bütün işlemler tek tip merkezde yürütülürken çok seviyeli bir ağda değişik faaliyetler değişik merkezlerde yürütülmektedir. *Diğer ağlarla olan bağlantısı*, mevcut olan ağ ile yeni ağın entegrasyon derecesini ifade

etmektedir. *Açık ya da kapalı çevrim olması*, gelen ve giden akışların birbirleri ile olan ilişkisini ortaya koymaktadır. Kapalı çevrim ağda kaynak ile alıcı çakışmaktadır, böylece ağ da çevrim şeklindedir. Diğer yandan açık çevrimde akış tek yönlüdür. Son olarak *dalların işbirliği seviyesi*, birimlerin ağı oluşturmak için birbirleri ile olan ilişkilerini kapsar. İnisiyatif tek bir şirkette olabilir ve alt yüklenicilerle ağı oluşturabilir ya da müşterek bir yaklaşım güdülebilir (Fleischmann, 2001).

2.6 Ürün İyileştirme Ağ Tipleri

Yapılan araştırmalara ve oluşmuş sistemlere bakıldığında üç tip ürün iyileştirme ağı göze çarpmaktadır:

- Gövde geri dönüşüm ağı
- Montaj ürünleri yeniden üretim ağı
- Yeniden kullanılabilir ürün ağı

Gövde Geri Dönüşüm Ağı

Bu tip durumlarda kullanılan ürünler genellikle düşük değerde olmaktadır. Çoğunlukla iyileştirilmiş malzemeler, orijinal ürünün üretim sürecinde yeniden kullanılmaz. Bu nedenle orijinal üreticilerin yanında malzeme tedarikçileri de bu ağda önemli rol oynamaktadır. Gelişmiş teknoloji ihtiyacından dolayı bu tipte yatırım maliyeti yüksektir. Buna ek olarak ağ, merkezi ve az sayıda aşama içeren açık çevrimdir. Son olarak ağ, dalların işbirliği ile yürütülmektedir. Hurda araç geri dönüşümü, ev elektroniği geri dönüşümü bu tip ağlara örnektir.

Montaj Ürünleri Yeniden Üretim Ağı

Fotokopi, cep telefonu, kullanılmış bilgisayar bu tip sisteme örnektir. Bu durumlar, nispeten yüksek değerli olan montaj ürünleri veya parçaların tekrardan kullanımı ile ilgilenmektedir. İyileştirme genellikle orijinal üretici tarafından gerçekleştirilir. Diğer durumlara kıyasla tedarik belirsizliği önemli bir faktördür ve işlem maliyetleri diğer durumlara göre daha fazladır. Bu tip, karmaşık, çok aşamalı bir yapı gerektirir. Genellikle kapalı çevrimdir ve mevcut sistemin genişletilmesi ile oluşturulmuştur.

Yeniden Kullanılabilir Ürün Ağı

Bu sistem, doğrudan kullanılabilen ürünleri kapsar. Bu tip sisteme literatürde pek fazla rastlanmamaktadır. Yapısı kapalı çevrimdir. Geliş zamanındaki belirsizlik ağı etkileyen önemli bir değişkendir. Taşıma ve satın alma ana maliyet faktörleridir. Son olarak, merkezi

olmayan, tek aşamalı bir sistemdir. Temizlik muayene gibi küçük işlemlerden geçtiğinden sistemin düz ve tek aşamalı bir yapıya sahip olması beklenmektedir. Şişeler, kartonlar, kutular, ambalaj malzemeleri bu sistemin örneklerindendir. Sisteme giren ürünlerin sayılarının belirlenmesi ve kayıpların önlenmesi bu sistemde önemli faaliyetlerdendir (Fleischmann, 2001).

2.7 Ters Lojistik Ağının Geleneksel Ağ ile Farkları

TL ağı tedarik, üretim ve dağıtım aşamalarını kapsamaktadır. Geleneksel ağla olan temel fark tedarikcinin cinsinden kaynaklanmaktadır. Geleneksel sistemde zaman, miktar, kalite gibi faktörler genellikle kontrol edilebilir olduğundan tedarik tahmin edilmesi kolaydır. Buna ters olarak TL ağında talebin tahmin edilmesi güçtür. Bu özellik bu iki sistemi ayıran en önemli özelliktir.

Geleneksel sistemde “muayene” TL sistemine benzer şekilde yapılamamaktadır. Geleneksel sistemde akışlarda varılacak yerler, kalite bağımlı rotayla işleyen TL ağına göre daha belirgindir. Bu yüzden TL ağı çok fazla değişkene bağımlı olduğundan daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Son olarak kullanılan kaynaklar TL ağında daha fazla iken geleneksel ağda belirli sayıdadır. Ayrıca akışın miktarının düşük olması TL ağına karakteristik özelliğidir (Fleischmann, 2001).

Ayrıca İleri ve TL sistemlerinde ayrıntılı farklar bulunmaktadır. Çizelge 2.2 bu farkları özetlemektedir.

2.8 Ters Lojistik ve Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Modelleri

Komple bir Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri (KÇTZ) aşağıdaki bölümleri içerir:

- *İleri Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi:* Tedarikçiden son müşteriye olan akışa ilave olarak orijinal malzemelerin, parçaların ve son ürünlerin merkezi depoya ve dağıtım sistemine akışını kapsayan lojistik ağının tüm yönetim, koordinasyon ve kontrolünü içerir.
- *Ters Lojistik:* Bu süreç kendi başına ya da kapalı çevrimin bir parçası olarak faaliyet gösterebilir. Bu işlem parçaların işlenmesi, geri dönüşümü ve uygun şekilde elden çıkartılması için toplanması ve taşınması faaliyetlerinin kontrolünü kapsar.
- *Tamir, işleme, ayırma ve elden çıkarma:* Bu süreç, TL ağı boyunca dönen ürünlerin değerlendirilmesini, tamirini, direkt tedarik zincirine veya ikincil pazara gönderilmesini ya da uygun değilse elden çıkartılma işlemini kapsar.

TL ve KÇTZ süreçleri; üretici ve satıcı karakteristiklerine, kullanılan dağıtım kanalına,

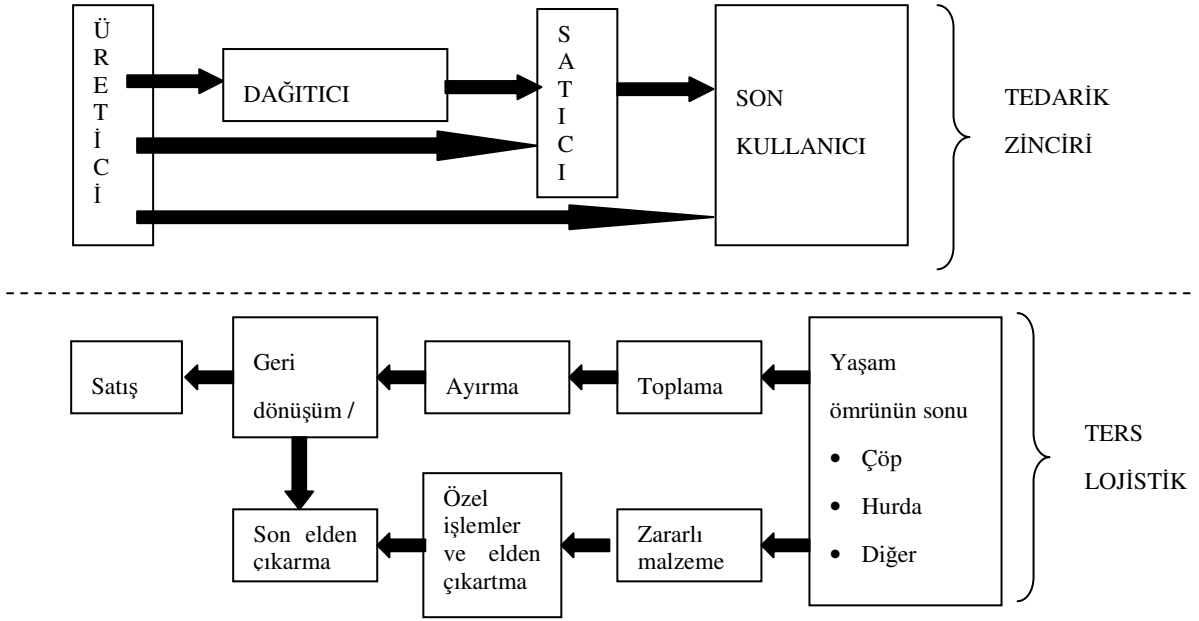
üçüncü ve dördüncü lojistik sağlayıcılarının kullanımına ve süreçteki malzemenin değerine göre sınıflandırılırlar.

Çizelge 2.2 İleri ve ters lojistik sisteminin farkları (Tibben-Lembke ve Rogers, 2002)

İleri Lojistik	Ters Lojistik
Tahmin nispeten kolaydır	Tahmin daha zordur
Tekten çokluya doğru taşıma	Çokludan tekliye doğru taşıma
Ürün kalitesi düzgündür	Ürün kalitesi düzgün değildir
Ürün ambalajı düzgündür	Ürün ambalajı genellikle hasarlıdır
Rota belirlidir	Rota belirlidir
Standardize kanal	İstisnalar kabul edilir
Elden çıkarma seçenekleri belirlidir	Elden çıkarma belirsizdir
Fiyatlandırma nispeten düzgündür	Fiyatlandırma birçok faktöre bağlı
Hızın birincil önemi vardır	Hız birincil önem olarak kabul edilmemektedir
Dağıtım maliyetleri izlenebilir	Dağıtım maliyetlerinin izlenmesi daha zordur
Envanter yönetimi tutarlıdır	Envanter yönetimi tutarlı değildir
Ürün yaşam eğrisi yönetilebilirdir	Ürün yaşam eğrisi konuları daha karmaşıktır
Pazarlama metotları iyi bilinmektedir	Pazarlama birçok faktörle daha karmaşık hale gelmiştir
Birimler arasında anlaşma kolaydır	Birimler arasında anlaşma ilave konuların girmesi ile daha da karmaşık hale gelmiştir
Ürünleri takip etmek için gerçek zamanlı bilgi mevcuttur	Süreç takibi zordur

Temel Ters Lojistik Modeli

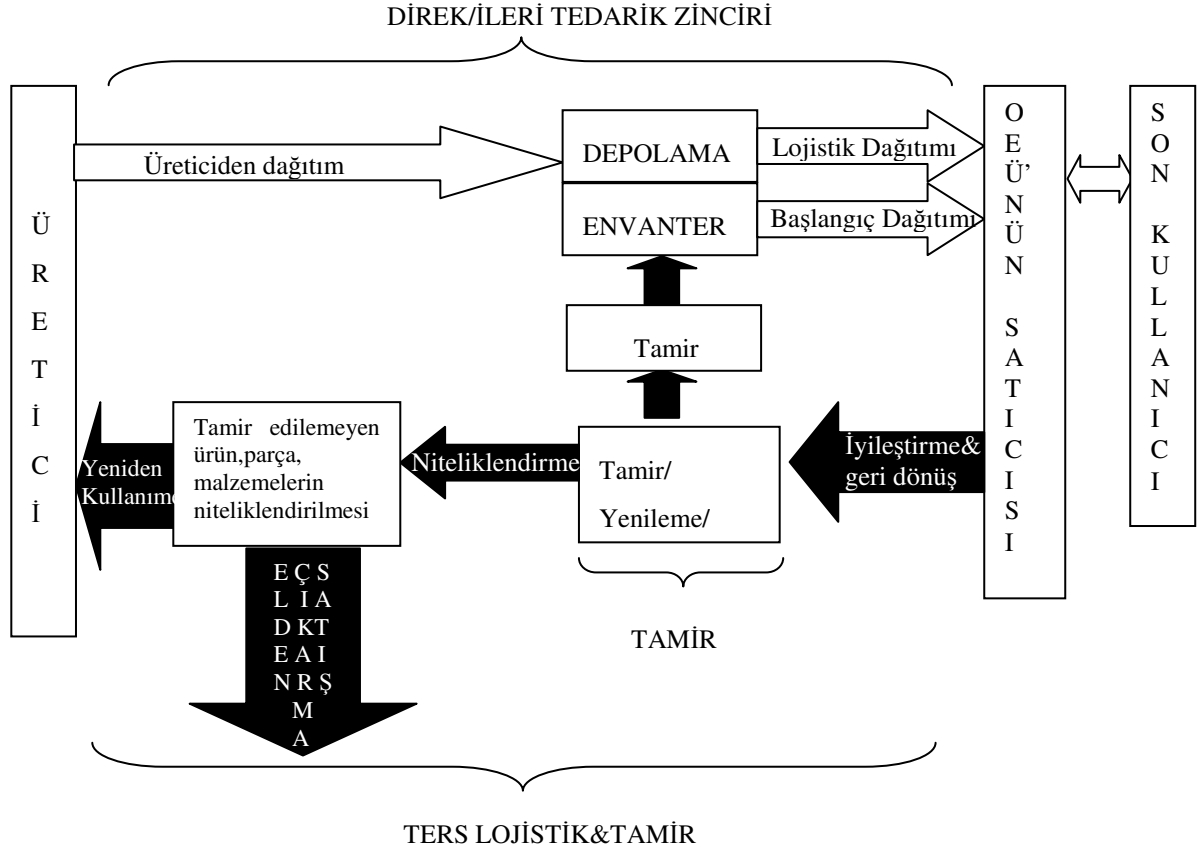
Temel TL modeli basitçe istenmeyen ürün ve malzemelerin işlenmek ve elden çıkartılmak üzere merkezi depoya dönüşü ile ilgilenir. Tedarik zincirinden bağımsızdır. Bu temel model geleneksel atık ve hurda satıcıları için uygundur. Bu model, özel ya da yerel birimlerin genellikle şehirde ya da yerel bölgelerde ekonomik elden çıkarma ya da geri dönüşüm işlemlerini kapsar. Birçok eski çalışma bu tip modellerle ilgilenmiştir. Şekil 2.3 bağımsız TL ağını ifade etmektedir.



Şekil 2.3 Bağımsız ters lojistik ağı (Blumberg, 2005)

İleri teknolojik ürünler için entegre tedarik zinciri, ters lojistik ve işlem servisi içeren kapalı çevrim tedarik zinciri

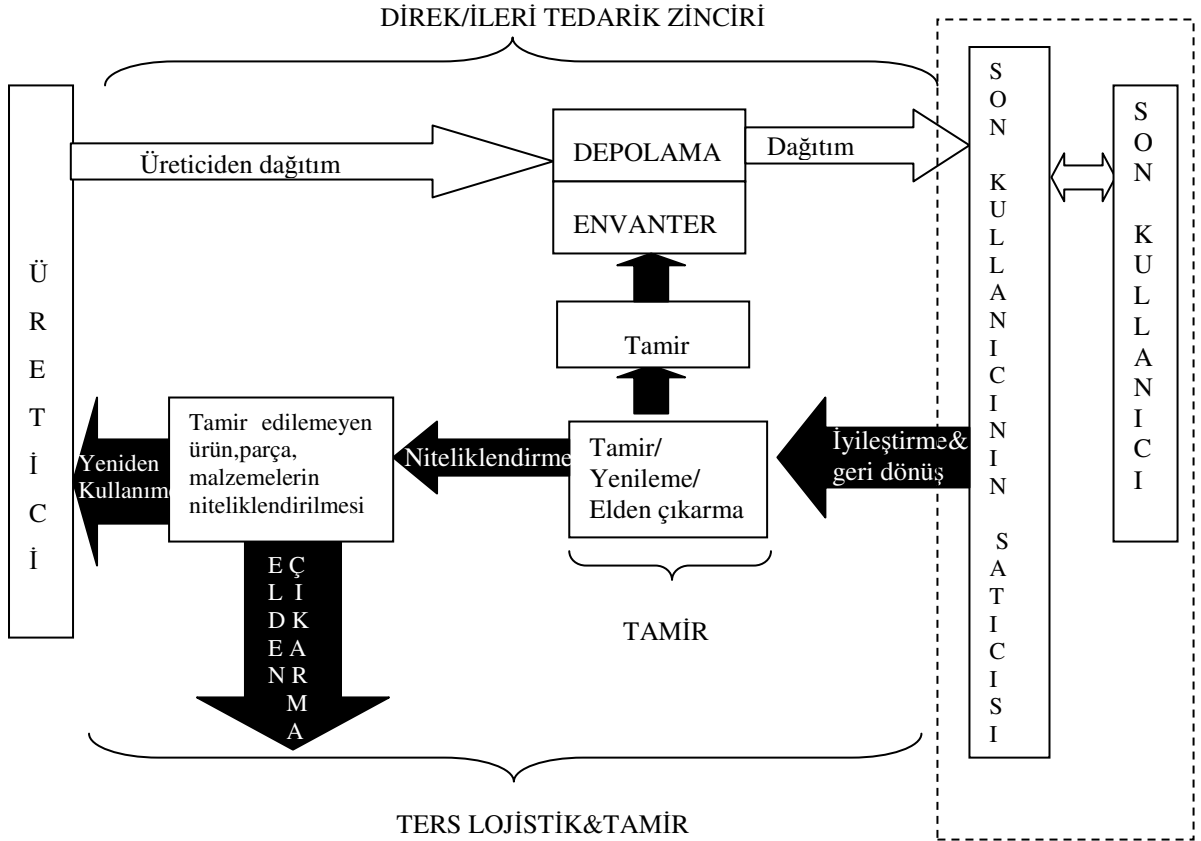
Bu tip modeller genellikle ileri teknolojik ürünler çerçevesinde görülür, Orijinal Ekipman Üreticisi (OEÜ), müşterisine sattığı ürünün ağından ve geri toplanması için oluşturulan TL ağından sorumludur. Ürünler, parçalar ve altmontaj malzemeleri, ya OEÜ'yü temsil eden dolaylı satıcılardan ya da kendi bünyesinden geri döner ve işlenir. Bu modeldeki birincil farklılık bütün ileri tedarik zinciri faaliyetleri ve TL faaliyetleri genellikle OEÜ tarafından idare edilir. TL akışı, ya üretim için yeniden kullanmak üzere malzemelerin envantere yollanması ya da iyileştirme faaliyetlerinden sonra ya tekrar üretime ya da ikincil pazara yollanması için yürütülür. Şekil 2.4 yüksek teknolojik ürünler için KÇTZ ağını ifade etmektedir.



Şekil 2.4 Yüksek teknolojik ürünler için KÇTZ ağı (Blumberg, 2005)

Orta seviyede teknolojik ürünler için bağımsız tedarik zinciri, entegre ters lojistik ve işlem servisi içeren kapalı çevrim tedarik zinciri

Bu tip modelde son kullanıcı, OEÜ ağını ya da başka bir dağıtım kanalını kullanmak yerine kendi satış ağını kullanır. Bu modelde satın alıcı, kendi küçük satış yerlerine sahip büyük bir organizasyondur. Bu durumda şirket, TL ve tamir aktivitelerinin bazılarını kendi kaynaklarını ya da üçüncü parti lojistik şirketleri kullanarak üstlenmek zorunda kalabilir. Bu model, ileri teknoloji ağına benzerlik göstermektedir. Fakat bu modelde direkt tedarik zinciri ve TL ağı birbirinden bağımsızdır ve OEÜ bütün süreçten sorumlu değildir. Şekil 2.5 alternatif zinciri göstermektedir.

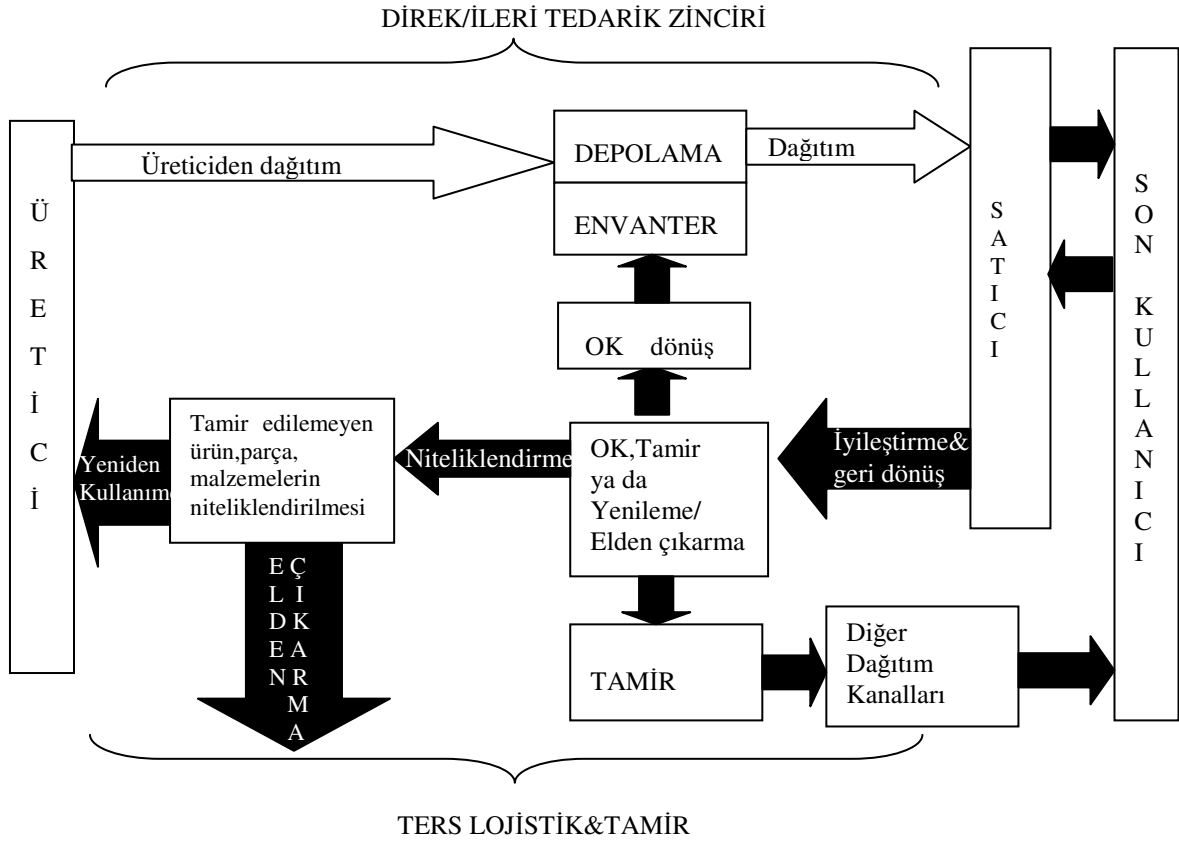


Şekil 2.5 Alternatif zincir (Blumberg, 2005)

Tüketici Odaklı Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri

Bu modelde birincil ilişki satıcı ve OEÜ arasındadır. Alıcıdan satıcıya dönen ürünlerin dönüş nedeni genellikle ürünün bozuk olmasıdır. Satıcı ise rafları boşaltmak için satılmayan ürünleri genellikle geri yollar. Şekil 2.6 tüketici odaklı KÇTZ'yi göstermektedir.

Genel tanımlardan da anlaşılacağı üzere Şekil 2.3'ten Şekil 2.6'ya kadar olan modellerde farklılıklar bulunmaktadır. Şekil 2.3'te ifade edilen salt bağımsız TL sisteminde süreç, son kullanıcının ürünün kullanım ömrünün sona erdiğine ve elden çıkartılması gerektiğine karar vermesiyle başlar. Bütün TL sistemi, ileri tedarik zincirinden bağımsız işler. Daha önce de belirtildiği gibi toplama işlemi genellikle yerel birimler veya taşeron firmalar tarafından yürütülmektedir. Zararlı atıklar ayrı olarak toplanır, işlenir ve çevresel düzenlemelere göre bertaraf edilir. Toplanan ve ayrılan diğer malzemeler içinden işlenmeye ve geri dönüştürülmeye değer bulunanlar satılır, kalanlar da elden çıkartılmak üzere yollanır. Bu işlemler nispeten daha kolay işlemlerdir.



Şekil 2.6 Tüketici odaklı KÇTZ (Blumberg, 2005)

Daha karmaşık TL sistemleri diğer şekillerde görülmektedir. Bu modeller, şirketlerin ileri ve TL aktivitelerini bir arada planladığı bir sistemi ortaya koymakta ve KÇTZ'ne giriş niteliği taşımaktadır. Tipik bir ileri teknolojik ürün için KÇTZ'de şirket kendi dağıtım, servis ve destek ağına sahiptir. Malzemeler üreticiden depolara oradan da müşteriye gönderilir. Kurulum, garanti süresinde veya daha sonra ürünlerin teknik servisi şirketin servis ve destek sistemi tarafından karşılanır. Tam kapalı çevrim sisteminin birincil nedenleri şu şekildedir:

- Bütün birimlerin takip edilerek tamir sürecinin ve destek malzemelerinin nasıl maliyet açısından daha etkin kullanılabileceğini belirleyebilmek,
- Parçaların, montaj parçalarının ve tüm birimlerin değerleri yüksek olduğundan kapalı kontrol ve hızlı iyileştirme ile bu sistemde ihtiyaç duyulan envanteri minimize etmek.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi bu sistemde genellikle birimler ve parçalar bozulmaları sonucu KÇTZ'ye dahil olmaktadır ve malzeme hızlı bir şekilde envantere dahil edilerek ya tam bir niteliklendirmeden geçirildikten sonra doğrudan kullanılmak üzere üretime ya da satılmak üzere ikincil pazara veya Şekil 2.3'te açıklandığı üzere hurda ve geri dönüşüme yollanır.

Şekil 2.5'te özetlenen alternatif KÇTZ'de ise üretici; kurulum, servis ve destek faaliyetlerinden sorumlu değildir. Çoğu pazarda son kullanıcı malın üreticiden alınması, müşteriye ulaştırılması, kurulumu ve servisini kendi bünyesinde yürütür. Diğer bir seçenek de bu faaliyetleri yürütmesi için son kullanıcının üçüncü parti lojistik sağlayıcılarını kullanmasıdır. Üretici direkt olarak servis faaliyetlerini kontrol etmediğinden kapalı çevrim kontrolü daha zorlaşmaktadır.

Son model, TL aktivitelerinin tüketici kısmında yürütüldüğü bir modeldir. Bu model Şekil 2.5'te ifade edilen modelin modifiye edilmiş halidir. Buradaki fark, üreticinin ve son kullanıcının bağımsız satıcı ve dağıtıcı sistemlerine sahip olmalarından dolayı belirgin bir şekilde ayrılmaıdır. Bu bağımsız sistemler kontrol sisteminde problemlerin daha da karmaşık hale gelmesine sebep olmakla birlikte, önemli dinamik faktörlerin sisteme dahil olmasına da sebep olmaktadır (Blumberg, 2005).

2.9 Kapalı Çevrim Tedarik Zincirinde Stratejik Konular

KÇTZ'nin stratejik değeri ve TL yönetimi faaliyetlerinin, aşağıda bahsedilen konulara pozitif etkisi olmaktadır:

- Dönüşlerin maliyetlerinde azalma,
- Kurtarılan malların değeriindeki artış,
- Ürün desteğinde önemli bilgilerin elde edilmesi, güvenilirlik, bağımsızlık ve sağlamlık,
- Küçük paket taşımalarının tam veya kısmi olarak elenmesi ile depolama ve taşıma maliyetlerinde ve zamanında azalma,
- Bütün dönüş sürecinin bütünüyle otomatik olarak kontrol edilebilmesi.

Bu stratejik değerlerin başarılması, KÇTZ ve TL faaliyetlerinin birincil hedefi olmaktadır ve envanter değerinin arttırılmasını da kapsamaktadır. Envanter değerinin arttırılması şu şekillerde olur:

- Yeniden kullanım için üreticiye hızlı dönüş,
- Ürünleri, parçaları, malzemeleri ayırarak ikincil pazarda değer bulmasını sağlamak,
- Çevresel ve yasal düzenlemeleri göz önüne alan kontrollü geri dönüşüm ve elden çıkartma,
- Geri dönüş sürecini ileri tedarik zinciri ile birleştirme becerisi.

Envanter değerinin arttırılması hedefi genellikle dağıtım ağına ilave etkinlik kazandırır:

- Satıcı dönüşlerinin süreçlerinde basitleşme ve işçi maliyetinde azalma,

- Dönüşlerde oluşan kaza ve hasarlarda azalma,
- İkincil tedarikçi ve satıcılardan gelen değerde artış,
- Veritabanında gelişme ve ürünün tüm yaşam ömrü boyunca izlenebilmesi,
- Elden çıkarma çevrim zamanında azalma ve böylece nakit akışında artış (Blumberg, 2005).

2.10 Ters Lojistik ve Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Sistemlerinin Temel Özellikleri

Yukarıda anlatılan süreçlerde; yönetilmesi, kontrol ve koordine edilmesi gereken birçok önemli karakteristikler bulunmaktadır:

- Malzeme akışlarındaki belirsizlik: Genellikle firmalar ürünlerin ne zaman geri döneceğini ve ne durumda döneceklerini, bilemezler.
- Müşteriye özgülük: Dönüş akışları epeyce farklılık göstermekte ve müşteriye bağlı olmaktadır. Bu yüzden derin bir bilgi birikimini ve müşterinin özelliklerini iyi anlamayı gerektirir.
- Zaman kritikliği: TL sistemlerinin en önemli özelliklerinden biri, geri dönen ürünün bir an önce yeniden kullanıma veya elden çıkartılma sürecine dahil edilmesi gerekliliğidir.
- Değer artırımı: TL sisteminin amacı geri dönen ürünün değerini arttırmaktır.
- Esneklik: TL süreci, talebin dalgalanmasını kontrol altına alabilmek için üretim alanı, depolar, dağıtım ağı ve ilişkili diğer servis alanlarında esnek kapasiteye ihtiyaç duyar.
- Çok partili koordinasyon: Genellikle TL süreci farklı birimler içerir. Bu yüzden, birimler arasında hızlı, etkin ve gerçek zamanlı bir iletişim ağı kurmak gerekmektedir (Blumberg,2005).

2.11 Ters Lojistikte Ürün dönüşleri, Taşıma ve Depolama Konuları

TL’de depolama kararları uzun, orta ve kısa dönem kararları olarak sınıflandırılabilir.

Uzun Dönem Kararlar

Tesis tasarımı, depolama ile ilgili önemli kararlardan biridir. Şirketler etkin bir depolama ve taşıma sistemi kurarak geri dönüşlere olanak verip, mekanlarının optimum düzeyde kullanılmasını garanti eder. Merkez tek başına dönüşler için ayrılabilceği gibi, sadece bir bölümü de dönüşlere ayrılabilir. Bu durumun analiz edilebilmesi için bir eşik seviyesi belirlenmesi ile dönüşler için ayrı bir yer kurulup kurulmayacağı kararı verilebilir. İleri ve TL aktivitelerinin entegre edilmesi kaynakların daha etkin kullanılmasına sebep olurken taşıma faaliyetlerini de daha karmaşık hale getirir.

Orta Dönemli Kararlar

Orta dönemli kararların kapsadığı konular:

- Dışkaynak kullanımı: TL faaliyetlerini kendi bünyesinde yürütmek istemeyen şirketler dönüşler için başka şirketlerin kaynaklarını kullanabilir. Böylece ileri ve TL faaliyetleri birbirinden bağımsız şekilde yürütülür. Fakat üçüncü parti şirketlerinin bu konuda deneyimli olması gerekir.
- Entegrasyon İşlemleri (dönüş politikaları, ambalajlama tipleri): Ürünler geri döndüğünde, süreçle ilişkili sorumluluklar belirlenmiş olmalıdır. Mesela merkezi depo ürünlerin toplanmasından ve işlenmesinden sorumlu olabilir ya da bu sorumluluk satıcıya ait olabilir. Ayrıca ambalaj malzemelerinin azaltılma ihtiyacı, yeniden kullanılabilir ambalaj malzemelerinin kullanılması kararını ortaya çıkarmıştır. Yeniden kullanılabilir ambalaj malzemeleri yüksek yatırım maliyeti gerektirmekte, fakat birden fazla kullanılabildiğinden daha fazla fayda sağlamaktadır.
- Envanter yönetimi: Dönen ürünlerin kalite seviyeleri yeni ürünlerden farklıdır. Fakat ürünün durumuna ya da zamanına göre aynı pazarda satılabilir. Yeni ve dönen ürünler ileriki satışlar için depolanır. Bu iki envanter aynı ya da ayrı olarak depolanabilir. Eğer dönen ürünler için pazar yeni ürünlerle aynı ise, bu iki envanter grubu beraber depolanabilir.
- İç taşıma: Ne tür taşıyıcının kullanılacağı, kullanılan taşıma aracının otomatik ya da manüel olup olmaması kararları taşınan ürünün cinsine göre farklılık göstermektedir.
- Bilgi sistemi: Ürün dönüş girişin yapılabilmesi için ihtiyaca cevap verecek bilgi sistemi kullanılmalıdır. Bu tip programlar şu anda gelişme aşamasındadır. Bu yüzden en iyi çözüm ihtiyaca cevap verecek özel programlar geliştirmektir.

Kısa Dönem Kararlar

Kısa dönem kararlar çizelgeleme, planlama ve siparişe cevap verme faaliyetlerini kapsar. Çizelge 2.3 ürün dönüşleri malzeme taşıma ve depolama konularını özetlemektedir (Dekker v.d, 2004).

Çizelge 2.3 Ürün dönüşleri malzeme taşıma ve depolama konuları (Dekker v.d, 2004)

<i>Uzun Dönemli Kararlar</i>
• Tesis Tasarımı Geri dönüşler farklı merkezlerde mi toplanmalı? Geri dönüşler aynı merkezde farklı yerlerde mi depolanmalı? Bu merkezler nasıl yerleştirilmeli?
<i>Orta Dönemli Kararlar</i>
• Dışkaynak kullanımı Depolama ve taşıma işlemlerinin bazıları mı, hepsi mi dışkaynak kullanımı şeklinde yürütülmeli? • Entegrasyon İşlemleri (dönüş politikaları, ambalajlama tipleri) Hangi durumdaki ürünler depoya kabul edilebilir? (dönüş politikaları/sorumlulukları ile ilişkili olarak) Deponun dönüşlerle ilgili ne tip sorumlulukları vardır? (toplama, ayırma v.d) Yeniden kullanılabilir ya da tek kullanımlık ambalaj malzemeleri ile ilgili kararlar • Envanter Yönetimi Ürünler nerede depolanmalıdır? Geri dönen ürünler yeni ürünlerle beraber mi yoksa ayrı mı depolanmalıdır? • İç taşıma Ne tür ürün taşıma araçları kullanılmalıdır? Ne ölçüde işlem otomatik ya da manüel olarak yapılmalıdır? • Bilgi Sistemleri Taşıma sistemini destekleyecek hangi bilişim sistemi kullanılmalıdır? Hangi bilgi ne kadar ve nasıl saklanmalıdır? Özel olarak geliştirilmiş program kullanılması gerekli midir?
<i>Kısa Dönem Kararları</i>
• Envanter, depolama, sipariş cevap verme Dönüşlerin kontrolü ve planlanması • Araç planlama ve çizelgeleme İleri ve ters akışları hesaba katan rotaların belirlenmesi

3. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde literatürde yapılmış çalışmalar bazı konu başlıkları altında incelenmiştir. Bu başlıklar: deterministik modellerle yapılmış ters lojistik ağ tasarımı çalışmaları, stokastik modeller ile yapılmış ters lojistik ağ tasarımı çalışmaları ve stokastik modeller ile yapılmış ileri lojistik ağ tasarımı çalışmalarıdır. İncelenen çalışmalar bazı noktaları öne çıkaracak şekilde irdelenmiştir. Bunlar; çalışmanın amacı, uygulama alanı, problemin yapısı, ağın düğümleri, yapılan kabuller, modelin amaç fonksiyonu, kısıtları, değişkenleri ve çalışmada kullanılan teknikten oluşmaktadır. Bu çalışmalar ayrıntılı olarak incelendikten sonra tablo şeklinde özetlenmiştir.

3.1 Deterministik modellerle yapılmış çalışmalar

3.1.1 Spengler vd. (1997)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, endüstriyel yan ürünlerin ve kullanım ömürlerinin sonuna gelmiş olan ürünlerin geri dönüşüm sistemi için gelişmiş yöneylem araştırması modelleri ile ilgilenmiştir.
- Çalışmanın uygulama alanı: Endüstriyel yan ürünler.
- Problem Yapısı: Çoklu ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Pazar-geri dönüşüm merkezi-pazar.
- Modelin amaç fonksiyonu: Taşıma, işleme ve kullanım maliyetlerinin toplamının minimizasyonu.
- Modelin Kısıtları:
 - 1- Tüm ürünlerin geri dönüşüm merkezine geleceğini garanti eden kısıt.
 - 2- İşlemlerin girdi çıktı ilişkisini gösteren kısıtlar.
 - 3- Kitle denge kısıdı.
 - 4- Kullanım opsiyonları kısıdı.
 - 5- Kapasite kısıdı.
- Modelin değişkenleri: Akış miktarları, işlemlerin hangi merkezde yapılacağını gösteren değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: Karma Tamsayı Programlama (KTP)

3.1.2 Barros vd. (1998)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma kum problemi için iki aşamalı yer seçimi modeli sunmuş ve

özüm için sezgisel metotları kullanmıştır.

- Çalışmanın uygulama alanı: Kum.
- Problem Yapısı: İki aşamalı, kapasite kısıtlı, tek ürün, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Kumun kaynağı-bölgesel depo-işleme merkezi-proje alanı.
- Yapılan Kabuller: 1-Zaman periyodu 1 yıl alınmıştır.

2- Kumun arz ve talebinin yıl boyunca sabit olduğu ve önceden bilindiğı varsayılmıştır.

3- 10 adet potansiyel talep noktası belirlenmiş ve ihtiyaç duyulan kum miktarları sabit olarak alınmıştır.

4- Kumun kaynağından tüm kumlar alınır ve bölgesel depoda herhangi bir işlem yapılmaz.

5-Kum eğer merkezi depoda temiz olarak sınıflandırılırsa, ikinci aşamaya uğramaz ve direk proje alanına gider.

- Modelin amaç fonksiyonu: Yeni bir tesis açılmasından doğan sabit maliyetler, merkez depoya ve işlem merkezine yapılan taşıma maliyetleri ve diğer maliyetlerden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1- Tüm elenmiş kumun ayırma merkezlerinden ayrıldığını garanti eden kısıt.

2- Değişik tipteki kumlarla ilgili tüm projelerin tatmin edildiğini gösteren kısıtlar.

3- Bölgesel depoya gelen kirli kumun hepsinin işleme merkezine transferini garanti eden kısıt.

4- Bölgesel depolardan ve işleme merkezlerinden çıkan temiz ve yarı temiz kumların gelen kumlardan fazla olamayacağını garanti eden kısıt.

5-Bölgesel depolarda ve işleme merkezlerindeki kapasitelerin aşamayacağını garanti eden kısıtlar.

- Modelin değişkenleri: Bölgesel deponun ve işleme merkezinin açılıp açılmayacağı ile ilgili değişkenler ve taşınan kum miktarlarını ifade eden değişkenler.

- Çalışmada kullanılan teknik: Karma tamsayılı programlama ve doğrusal gevşetme sezgiseli

kullanılmıştır.

3.1.3 Nema ve Gupta (1999)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, bölgesel zararlı atık sisteminde zararlı atıkların bertaraf sürecinde minimum maliyet ve riski içeren optimal konfigürasyona ulaşmak için sunulmuştur.
- Çalışmanın uygulama alanı: Zararlı atık.
- Problem Yapısı: İki aşamalı, kapasite kısıtlı, çoklu ürün, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Kaynak-işleme merkezi-bertaraf merkezi.
- Yapılan Kabuller: 1-Planlanan bölgenin kaynak, ara düğüm, işleme, bertaraf düğümlerinden ve taşıma bağlantılarından oluşur.
 - 2- Nüfusun maruz kaldığı tehlikenin merkezlerin özellikleriyle bağlantılıdır.
 - 3- Taşıma maliyetlerinin mesafe ile orantılıdır.
 - 4- Risk fonksiyonu taşınan zararlı atık miktarı ile orantılıdır.
- Modelin amaç fonksiyonu: İşlem ve elde çıkarma, yatırım, operasyon, bakım ve taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu.

Atık işlenmesi ve elde çıkartılması ve taşınmasında oluşan risklerin minimizasyonu.
- Modelin Kısıtları: 1- Her düğümdeki atıkların kitle dengesi (tüm üretici, orta seviyedeki ve varış düğümleri için).
 - 2- Belirli merkezlerdeki işlem ve bertaraf teknolojileri için izin verilen kapasiteler.
 - 3- Atık işlem teknolojileri uygunluğu kısıtları.
 - 4- Atık uyumsuzluğu kısıtları.
- Modelin değişkenleri: Taşınan ve işlenen çöp miktarları, merkezlerin açılıp açılmayacağı ile ilgili değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Programlama (ÇAKTP) kullanılmıştır.

3.1.4 Krikke vd. (1999)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma bütün olasılıklar göz önüne alınarak toplam operasyonel maliyeti optimize etmeye çalışmış ve daha önce verilen üç çözüm önerisi ile karşılaştırma yapmıştır.
- Çalışmanın uygulama alanı: Fotokopi makinesi.
- Problem yapısı: İki aşamalı, kapasite kısıtsız, tek ürün, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Tedarik düğümü (parçalara ayırma bölümü, merkez stok ve modül üretimi)-ara düğüm (hazırlık ve yeniden montaj)-pazar.
- Yapılan Kabuller:
 - 1- Arz ve talepler planlama dönemine eşit olarak dağılmıştır.
 - 2- Taşıma matrisi simetriktir.
 - 3- Taşıma maliyeti tur başına hesaplanmıştır.
 - 4- Parçalara ayırma bölümünde serbest bırakılan parçalar yeniden montaj edilme bölgesinde montaj edilir.
 - 5- Hazırlık bölümde serbest bırakılan parçalar o bölümde yeniden montaj edilir.
- Modelin amaç fonksiyonu: Toplam yıllık sabit ve değişken işlem maliyeti, envanter maliyeti, makinenin taşıma maliyetinden doğan toplam maliyetin minimizasyonu
- Modelin Kısıtları:
 - 1-Uygulanan strateji doğrultusunda merkezlerin girdi ve çıktılarını dengeleyen denge kısıtları.
 - 2- Yeterli işlem tedariki sağlandığının garanti edildiği kısıtlar.
 - 3- Tampon envanterlerin doğru ayarlandığını garanti eden kısıtlar.
 - 4- Her işlem için bir merkez açıldığını garanti eden kısıt.
 - 5- İşlemlerin merkezlerdeki kombinasyonundan doğan kısıtlar.
- Modelin Değişkenleri: Taşınan miktarlar, merkezlerin açılıp açılmayacağı ile ilgili değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: Karma tamsayılı programlama ve çözüm LINGO ticari programı ile yapılmıştır.

3.1.5 Shih (2001)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma ters ağ akışının altyapı tasarımını optimize etmeye ve optimal bir toplama ve geri dönüşüm sistemi yaratmaya çalışmıştır.
- Çalışmanın uygulama alanı: Ürün çevriminin sonunda olan ev gereçleri
- Problem yapısı: Çok aşamalı, kapasite kısıtlı, çoklu ürün, kapalı çevrim.
- Ağın düğümleri: Toplama noktası-depolama alanı-geri dönüşüm merkezi-tertip merkezi (ikincil market-son işleme ve toprak doldurma).
- Yapılan Kabuller: Geri dönüş oranları %30, 50 ve 70 olarak belirlenmiştir.
- Modelin amaç fonksiyonu: İyileştirilen ürünlerden elde edilen gelir eksi toplam maliyetin (taşıma maliyeti, işlem maliyeti, yeni merkez açılması için gereken sabit maliyet, bertaraf maliyetlerinin toplamı) maksimizasyonu.
- Modelin Kısıtları:
 - 1-Toplama ve depolama alanlarındaki akışı koruyan kısıtlar.
 - 2- Depolama alanına gelen toplam miktarın işleme girmesi kısıdı.
 - 3- Geri dönüşüm merkezindeki miktarın korunması kısıdı.
 - 4- Malzemelerin geri dönüşüm merkezini terk etmesini garanti eden kısıt.
 - 5- Malzemelerin son tertip merkezine gitmesi kısıtları. Buradan ya ikincil markete, ya toprak altına gömülmeye, ya da zararlı ise işleme merkezlerine gönderilir.
 - 6- Depolama, geri dönüşüm ve tertip merkezlerinin kapasite kısıtları.
 - 7- Yeni merkez sayısının üst limiti.
- Modelin Değişkenleri: Taşınan miktarlar, merkezlerin açılıp açılmayacağı ile ilgili değişkenler

- Çalışmada kullanılan teknik: Karma tamsayıli programlama

3.1.6 Hu vd. (2002)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma çok zaman periyotlu, çok çeşitli zararlı atıkların ters lojistik sistemi için maliyet minimizasyonlu bir model sunmuştur.
- Çalışmanın uygulama alanı: Endüstriyel zararlı atık.
- Problem yapısı: Kapasite kısıtlı, çoklu ürün, açık çevrim.

- Ağın düğümleri: Talep noktası-toplama düğümü-geri dönüşüm düğümü-bertaraf merkezi.
 - Yapılan Kabuller:
 - 1-Ağın bileşenleri, kapasitesi ve coğrafi yapısı önceden belirlenmiştir.
 - 2- Zaman değişkenli talep bilinmektedir.
 - 3- İç dağıtım maliyetleri hesaba katılmamış, diğer taşıma maliyetleri ise mesafe ile orantılandırılmıştır.
 - 4- Depolama faaliyeti işlenmemiş ürünler için yapılmaktadır.
 - Modelin amaç fonksiyonu: Toplama maliyeti, depolama maliyeti, işleme maliyeti, tekrar kullanılacak ürünlerin taşıma maliyeti, bertaraf edilecek ürünlerin taşıma maliyetinin toplamından oluşan toplam ters lojistik maliyetinin minimizasyonu.
 - Modelin Kısıtları:
 - 1-Yasal düzenlemelerle ve üretim için gereken minimum miktarlarla belirlenen toplanacak zararlı atıkların alt limiti.
 - 2- Zaman değişkenli atık toplanmasının üst sınırı.
 - 3- Zararlı atıkların işlenmesiyle ilgili alt ve üst limitler.
 - 4- Malzemelerin geri dönüşüm merkezini terk etmesini garanti eden kısıt.
 - 5- Malzemelerin son bertaraf merkezine gitmesi kısıtları. Buradan ya ikincil markete, ya toprak altına gömülmeye, ya da zararlı ise işleme merkezlerine gönderilir.
 - 6- Depolama, geri dönüşüm ve tertip merkezlerinin kapasite kısıtları.
 - 7- Toplu veya ayrı depolama kısıtları.
 - Modelin Değişkenleri: Taşıma, işleme ve depolama miktarları.
 - Çalışmada kullanılan teknik: Tamsayılı Programlama (TP) (Kesikli zamanlı doğrusal model) ve çözüm LINDO 6.0 ticari programı ile yapılmıştır.
- 3.1.7 Krikke vd. (2003)**
- Çalışmanın amacı: Bu çalışma çoklu ürün tasarımı ve çoklu ürün iyileştirme seçenekleri için tedarik zinciri tasarımı yapısı geliştirmiş ve ürün tasarımı ile ağ tasarımı arasındaki kesişme noktalarını incelemiştir.
 - Çalışmanın uygulama alanı: Buzdolabı.
 - Problem yapısı: Çok aşamalı, kapasite kısıtsız, çoklu ürün, kapalı çevrim.

- Yapılan Kabuller: 1- Optimizasyon tasarım parametrelerine göre yapılmaktadır.

2- Talep bilinmektedir.

- Modelin amaç fonksiyonu: Taşıma maliyeti, işleme maliyeti ve yatırım maliyetinden oluşan ölçekli toplam maliyet artı ölçekli toplam enerji kullanımı artı elden çıkartılan ürünlerin ters akışlarının ölçekli miktarının minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1- İleri zincirde talep noktaları, işleme merkezleri ve depolama merkezlerindeki akışların dengesi ile ilgili kısıtlar.

2- Ters zincirde talep noktaları, muayene merkezi, demontaj merkezi ve yeniden üretim merkezilerindeki akışlarla ilgili kısıtlar.

- Modelin Değişkenleri: Malzeme, parça, ürün taşıma, işleme miktarları ve işlemlerin hangi merkezde yapılacağını gösteren değişkenler.

- Modelin özelliği: 1-Yaşam Döngü Analizi (Life Cycle Assesment) modele dahil edilmiş.

2- Merkezi ve merkezi olmayan senaryolar değerlendirilmiş.

- Çalışmada kullanılan teknik: Karma tamsayılı doğrusal programlama ve çözüm CPLEX ticari programı ile yapılmıştır.

3.1.8 Jayaraman vd. (2003)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma ters dağıtım problemi için model ve çözüm prosedürü sunmuştur.

- Çalışmanın uygulama alanı: Zararlı ürünler.

- Problem yapısı: İki aşamalı, kapasite kısıtlı, tek ürün, açık çevrim.

- Ağın düğümleri: Başlangıç noktası-toplama merkezi-işleme merkezi.

- Yapılan Kabuller: 1-Zararlı ürünler satıcıda (kaynakta) bulunmaktadır ve burası birinci toplama noktası olarak belirlenmiştir.

2- Toplama ve işleme merkezlerinin yatırım maliyetleri sabit ve aynıdır.

3- Toplama ve işleme merkezlerinin açılması için planlanan maksimum sayılar belirlidir. Hangi merkezlerin seçileceği model tarafından belirlenmektedir.

4- Birinci toplama noktasından işleme merkezine zararlı ürün gelişlerine izin verilmektedir. Fakat taşıma maliyeti, ürünün toplama merkezine gelmesine

göre daha fazladır.

- Modelin amaç fonksiyonu: Taşıma ve kurulum maliyetleri toplamının minimizasyonu.
- Modelin Kısıtları:
 - 1- Toplama merkezlerine gönderilen ürünlerin kısıtlanması.
 - 2- Varış merkezinde sonlanacak ürünlerin kısıtlanması.
 - 3- Eğer bir toplama merkezi ve varış merkezi açılmamışsa ürünlerin o yerlere rotalanmasını engelleyen kısıtlar.
 - 4- Toplama merkezi ve varış merkezi sayıları için alt ve üst limitler.
 - 5- Kapasite kısıtları.
- Modelin Değişkenleri: Taşınan miktarlar, merkezlerin açılıp açılmayacağı ile ilgili değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: 0-1 karma tamsayılı programlama ve çözüm CPLEX ticari programı ile yapılmıştır. Sezgisel yoğunlaştırma tekniği kullanılıp, karşılaştırma yapılmıştır.

3.1.9 Beamon ve Fernandes (2004)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma kullanılmış ürünleri elden geçiren ve yeni ürünler üreten bir üreticinin kapalı çevrim tedarik zinciri ile ilgilenmiştir. Çalışmada hangi toplama ve depolama merkezlerinin açılacağı ve ne kadar malzemenin bu merkezler arasında aktarılacağı soruları cevaplanmaya çalışılmıştır.
- Problem yapısı İki aşamalı, kapasite kısıtlı, tek ürün, kapalı çevrim.
- Ağın düğümleri: Üretim merkezi-depolar-toplama merkezi-müşteri.
- Yapılan Kabuller:
 - 1-Geri dönen tüm ürünler toplanır.
 - 2-Sınıflandırma ve depolama merkezleri kapasite kısıtlıdır.
 - 3-Yeniden üretilen ürünler yeni olarak sayılır ve aynı pazara sunulur.
 - 4-İleri ve ters akışlarda elde tutma maliyetleri aynı kabul edilmiştir.
 - 5-Tüm geri dönen ürünler yeniden üretildiğinden, bu miktarlar ağın yapısından bağımsızdır.
 - 6- Bertaraf ve geri dönüşüm maliyetleri ağın yapısından ayrı tutulmuş ve bu maliyetler göz ardı edilmiştir.
 - 7- Satışlardan elde edilen kazançlar, modelden bağımsız olarak varsayılmıştır.

- Modelin amaç fonksiyonu: Yatırım maliyeti, bakım, sınıflandırma ve elde tutmadan oluşan işlem maliyeti ve taşıma maliyetinin toplamının minimizasyonu

- Modelin Kısıtları: 1- Akış kısıtları.

2- Merkezlerin kurulması ile ilgili kısıtlar.

3- Merkezlerin açılması ile ilgili kısıtlar.

4- Sınıflandırma kısıtları.

5- Kapasite kısıtları.

- Modelin Değişkenleri: Taşınan miktarlar, merkezlerin açılıp açılmayacağı, deponun sınıflandırma özelliğine sahip olup olmayacağı ile ilgili değişkenler.

- Modelin özelliği: 1-Gelecek işlem maliyetlerini hesaba katmak için “Şimdiki Değer Analizi” metodu kullanılmıştır. Buna göre yatırım maliyeti çevrim başına bir kere hesaba katılırken, işlem maliyeti bütün zaman periyodu boyunca her seferinde hesaba katılmıştır.

2- Farklı maliyet önemlerine göre senaryolar geliştirilmiştir.

- Çalışmada kullanılan teknik: Karma tamsayılı programlama

3.1.10 Blanc vd. (2004)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma LPG tanklarının geri dönüşümün sistemini tasarlamıştır. Çalışmada araç rotalama yapılmış ve sistem belirsizliğini gidermek için geçerlilik analizi yapılmıştır.

- Çalışmanın uygulama alanı: LPG tankları.

- Problem yapısı: İki aşamalı, tek ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim.

- Modelin amaç fonksiyonu: Zehirli gazlardan arıtma maliyeti, toplama maliyeti, sınıflandırma maliyeti ve depolama maliyeti toplamının minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1- Tüm ayırıcı aletlerin bir adet zehirli gaz ayırma merkezine atandığını garanti eden kısıt.

2- Ayırıcı aletlerin sadece açılan zehirli gaz ayırma merkezine atandığını garanti eden kısıt.

3- Kapasite kısıdı.

- Modelin Değişkenleri: Yer seçimi ve tahsis ile ilgili değişkenler.

• Modelin özelliği: 1-Taşıma maliyetlerini elde etmek için araç rotalama yapılmış ve daha sonra model kurularak tahsis problemi çözülmüştür.

2- Miktarlarda ve toplama maliyetlerinde değişiklik yaparak geçerlilik analizi yapılmıştır.

• Çalışmada kullanılan teknik: Karma tamsayı programlama ve çözüm CPLEX ticari programı ile yapılmıştır.

3.1.11 Min vd. (2006)

• Çalışmanın amacı: Bu çalışma ürün dönüşlerini hesaba katan bir ters lojistik ağ tasarımı problemi için minimum maliyet çözümü sunmuştur.

• Çalışmanın uygulama alanı: İnternet satışı.

• Problem yapısı: İki aşamalı, tek ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim.

• Ağın düğümleri: Müşteri-başlangıç toplama noktası-merkezi geri dönüş alanı.

• Yapılan Kabuller: 1-Müşteriden direkt merkezi geri dönüş alanına mamul göndermeleri göz ardı edilmiştir.

2-Müşteri ve toplama merkezi arasındaki mesafe kısa ise taşıma maliyeti ihmal edilmiştir.

3-Planlama döneminde müşteri talebinde belirgin bir değişiklik olmadığı kabulü yapılmıştır.

• Modelin amaç fonksiyonu: Kiralama, kurma, envanter taşıma maliyetlerinin toplamından oluşan toplam ters lojistik maliyetlerinin minimizasyonu.

• Modelin Kısıtları: 1- Bir müşterinin tek bir toplama noktasına atandığını garanti eden kısıt.

2- Açılmamış bir toplama noktasından ürün gelişini engelleyen kısıt.

3- Toplama noktasında girdi miktarı ile çıktı miktarını dengeleyen kısıt.

4-Toplama noktasından gelen ürünlerin merkez kapasitesini aşamayacağını garanti eden kısıt.

5-Toplama noktalarının müşterilere belli bir yakınlıkta olmasını garanti eden kısıt.

6- Minimum sayıda toplama noktası ve merkezinin açılacağını garanti eden kısıt.

- Modelin Değişkenleri: Taşıma miktarları, toplamalar arası geçen süre, merkezlerin açılıp açılmayacağı ve müşterilerin toplama noktalarına tahsisi ile ilgili değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: Doğrusal Olmayan Karma Tamsayılı Programlama (DOKTP) ve genetik algoritma tekniği kullanılmıştır.

3.1.12 Alumur ve Kara (2007)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma zehirli atıklar için işlem ve bertaraf merkezlerinin nerelerde açılacağını, zararlı atıkların nasıl rotalanacağını ortaya koyan bir model sunmuştur.
- Çalışmanın uygulama alanı: Zararlı atıklar.
- Problem yapısı: İki aşamalı, çoklu ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Kaynak düğümü-işleme düğümü-bertaraf merkezi düğümü.
- Yapılan Kabuller: 1-Taşıma maliyetleri mesafe ile orantılandırılmıştır.

2-Bütün çöpler aynı tip kamyonla ve aynı maliyetle taşınmaktadır.

3- Geri dönüşüm hem kaynakta hem de işleme merkezinde yapılabilir.

4- Kaynaktaki geri dönüşüm oranı belirlidir. Atık kalıntılarının geri dönüşüm miktarı ise işleme merkezinde kullanılan teknoloji ile ilişkilidir.

5- İşleme merkezi, eğer kaynak düğüm uygun yerse o yerde de açılabilir.

- Modelin amaç fonksiyonu: İşlem ve bertaraf merkezlerinin kurulum maliyeti ve atıkların taşıma maliyetinden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu.

Nüfusun maruz kaldığı tehlike ile ölçülen taşıma riskinin minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1- Tüm zararlı atıkların işlem merkezine taşınmasını garanti eden kısıt.
- 2- Tüm geri dönüştürülemeyen zararlı atıkların bertaraf merkezlerine taşınmasını garanti eden kısıt.
- 3- İşleme ve bertaraf merkezlerindeki kapasitelerin aşılmayacağını garanti eden kısıt.
- 4- Minimum miktarda atık sağlanmadan işleme merkezlerinin açılmayacağını garanti eden kısıt.
- 5- Atıkların tiplerine göre işleme teknolojilerinin kullanılacağını garanti eden kısıt.

- Modelin Değişkenleri: Taşınan ve işlenen atık ve atık kalıntıları miktarları ve merkezlerin açılmasıyla ilgili değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: Çok amaçlı karma tamsayılı programlama ve çözüm CPLEX ticari programı ile yapılmıştır.

3.1.13 Lu ve Bostel (2007)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma eşzamanlı olarak ileri ve ters lojistik akışların karşılıklı etkileşimini dikkate almış ve özel bir ters lojistik yer seçimi problemi üzerinde çalışmıştır.
- Problem yapısı: İki aşamalı, tek ürün, kapasite kısıtsız, kapalı çevrim.
- Ağın düğümleri: Müşteri-ara merkez-yeniden üretim merkezi-üretici
- Yapılan Kabuller: 1-Ürün talebi ve kullanılmış ürün miktarı bilinmektedir.

2- Bütün geri dönen ürünler ara merkeze gelir, buradan iyi kaliteli olmayanlar bertaraf edilir, diğerleri ise yeniden işleme merkezine gönderilir.

3-Müşteri talebi hem üretici hem de yeniden işleme merkezleri tarafından sağlanır.

- Modelin amaç fonksiyonu: Sabit kurulum ve değişken taşıma maliyetinden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1-Dönen malzemelerin ve ürünlerin taleplerinin tamamen karşılanacağını garanti eden kısıtlar.

2-Her merkezdeki ileri ve ters akışların ilişkisini ortaya koyan kısıt.

3-Yer seçimi ve tahsis değişkenlerini birbirine bağlayan kısıtlar; üç farklı merkez değişik yer seçimi değişkenleri ile ilişkilendirilmişken iki tip akış ise uygun tahsis değişkenleri ile ilişkilendirilmiştir.

- Modelin Değişkenleri: Taşınan miktarlar ve merkezlerin açılmasıyla ilgili değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: 0-1 karma tamsayılı programlama ve lagranj sezgiseli tekniği kullanılmıştır.

3.1.14 Sheu (2007)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma bölgesel zehirli atıklar için koordineli bir ters lojistik sistemi sunmuşlardır. Amaç işlem maliyetlerini ve çevresel kaygıları göz önüne alan bir model oluşturmaktır.

- Çalışmanın uygulama alanı: Endüstriyel zararlı atıklar.
- Problem yapısı: Kapasite kısıtlı, çoklu ürün, açık çevrim.
- Yapılan Kabuller: 1-Tesis, ağ konfigürasyonu, merkezlerin özellikleri ve coğrafi karakteristikleri bilinmektedir.

2-Koordineli ters lojistik dağıtım merkezi toplama, depolama, işleme ve dağıtım aktivitelerini gerçekleştirecek şekilde tasarlanır.

3-Zaman değişkenli talep bilinmektedir.

4- İşlenmiş ve işlenmemiş atıkların depolama faaliyetleri maliyet ve risk açısından farklılık gösterir.

5- Zaman adımları birer aylıktır.

- Modelin amaç fonksiyonu: Toplama, depolama, işleme, dağıtım, bertaraf etme maliyetlerinden oluşan toplam ters lojistik maliyetlerinin minimizasyonu.

Toplanmamış zararlı atıkların etkisi, zararlı atıkların depolama, işleme ve dağıtımından doğan risklerin toplamının minimizasyonu

- Modelin Kısıtları: 1-Yasal düzenlemelerle ve üretim için gereken minimum miktarlarla belirlenen toplanacak zararlı atıkların alt limiti.

2- Zaman değişkenli atık toplanmasının üst sınırı.

3- Zararlı atıkların işlenmesiyle ilgili alt ve üst limitler.

4- Malzemelerin geri dönüşüm merkezini terk etmesini garanti eden kısıt.

5- Malzemelerin son bertaraf merkezine gitmesi kısıtları. Buradan ya ikincil pazara, ya toprak altına gömülmeye, ya da zararlı ise işleme merkezlerine gönderilir.

6- Depolama, geri dönüşüm ve tertip merkezlerinin kapasite kısıtları.

7- Toplu veya ayrı depolama kısıtları.

8- Bölgesel risk yönetiminin kısıtladığı toplu depolama miktarlar.

9- Çizelgeleme ve filo büyüklüğüne göre lojistik dağıtım kısıdı.

- Modelin Değişkenleri: Taşınan, depolanan, önceden toplanmayan atık miktarları.
- Çalışmada kullanılan teknik: Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (ÇADP) ve çözüm LINDO 6.0 ticari programı ile yapılmıştır.

3.1.15 Lieckens ve Vandaele (2007)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma kuyruk modeli ile kombine edilmiş bir ters lojistik ağı tasarlamaya çalışmıştır.
- Problem yapısı: Tek aşamalı, tek ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Pazar-işleme merkezi-yeniden kullanım pazarı.
- Yapılan Kabuller: 1- Biten bütün ürünler satılır.
2- Bertaraf edilen miktarlar gibi arz ve talepte geçmiş verilere ve gelecek beklentilere göre hesaplanmıştır.
- Modelin amaç fonksiyonu: Elde edilen gelir eksi toplam maliyetin (yatırım, envanter, işleme, dağıtım, bertaraf etme ve talebi karşılamayan ürünler için ceza maliyetlerinin toplamı) maksimizasyonu.
- Modelin Kısıtları: 1-Ürünlerin toplama merkezini terk edeceğini garanti eden kısıt.
2- İşleme merkezine gelen bütün ürünlerin işleneceğini garanti eden kısıt.
3- Minimum derecede ürünün bertaraf edileceğini garanti eden kısıt.
4- Kullanışlı ürünlerin gelen ürün eksi bertaraf edilen üründen oluşacağını ve bu ürünlerin pazara yollanacağını garanti eden kısıtlar.
5- Pazar talebinin tatmin edileceğini, yoksa ceza maliyetinin oluşacağını garanti eden kısıt.
6- Kapasite kısıtları.
- Modelin Değişkenleri: Akış miktarları, merkezin açılmasıyla ilgili değişken, tatmin edilemeyen talep ve toplanmayan ürün oranları.
- Modelin özelliği: Çizelgeleme kullanılarak, çevrim zamanı modele dahil edilmiştir.
- Çalışmada kullanılan teknik: Doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama ve genetik algoritma tekniği kullanılmıştır.

3.1.16 Ko ve Evans (2007)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma üçüncü parti lojistik şirketlerinin ileri ve ters ağını eşzamanlı optimize eden dinamik entegre bir ağ tasarlamaya çalışmıştır.
- Çalışmanın uygulama alanı: Üçüncü Parti Lojistik şirketleri (ÜPLŞ).

- Problem yapısı: Tek aşamalı, çoklu ürün, kapasite kısıtlı, kapalı çevrim.
- Ağın düğümleri: Müşteri-depolar (tamir merkezleri)-pazar.
- Yapılan Kabuller: 1-Müşterilerin merkezleri, pazarları ve taşınan miktarlar bilinmektedir.
 2-Planlama dönemindeki mamul talepleri ve geri dönen ürün miktarları bilinmektedir.
 3-Eğer bir depo için genişleme kararı alınırsa, o depo planlama dönemi sonuna kadar açık kalır.
 4-Planlama döneminde genişleme sayısının üst sınırı vardır.
 5-Depoların genişleme kapasitesi vardır.
 6-Hibrid bir depo-tamir merkezinin açılması tasarruf oluşturur.
- Modelin amaç fonksiyonu: Sabit yatırım, işleme ve merkez genişleme maliyetleri, dağıtım maliyeti, ileri ve ters akışların genişleme maliyetleri toplamından oluşan toplam maliyetin minimizasyonu.
- Modelin Kısıtları: 1-Müşterinin tesisinin kapasite kısıdı.
 2- Müşteri talebinin tamamının tatmin edileceğini garanti eden kısıt.
 3- Depolarda ve tamir merkezlerinde belirli bir zamandaki genişleme kısıtları.
 4- Depolarda ve tamir merkezlerinde genişlemenin sadece daha önceden açılmış depolarda olabileceğini garanti eden kısıtlar.
 5- Eğer merkezde bir genişleme olacaksa, bu merkezin kapanamayacağını garanti eden kısıt.
 6- Açılmamış merkezden geri dönüşün olamayacağını garanti eden kısıt.
 7- Geri dönen ürünlerin müşteriye ulaşacağını garanti eden kısıt.
- Modelin Değişkenleri: İleri ve ters akış miktarları, depoların ve tamir merkezlerinin açılması ve genişletilmesi ile ilgili değişkenler.
- Modelin özelliği: Model doğrultusunda depoların (tamir merkezlerinin) açılma, genişletilme ve kapatılma kararları alınmaktadır.
- Çalışmada kullanılan teknik: Doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama ve genetik

algoritma tekniği kullanılmıştır.

3.1.17 Lee ve Dong (2008)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, ileri ve ters lojistik akışlarının sistematik düzeni için deterministik bir model geliştirerek, kullanım ömürlerinin sonuna gelmiş bilgisayar parçalarının geri kazanımı için lojistik ağ tasarımı ile ilgilenmiştir.

- Çalışmanın uygulama alanı: Bilgisayar parçaları.

- Problem Yapısı: İki aşamalı, tek ürün, kapasite kısıtlı, kapalı çevrim.

- Ağın düğümleri: Fabrika-hibrid depo-müşteri.

- Yapılan Kabuller: 1- Model, tek bir fabrika açılmasına izin verirken, birden fazla hibrid depo açılmasına izin vermektedir.

2- Seçilecek yerlerin kapasiteleri kullanılan ekipmanın kapasiteleri ile ilgilidir.

3- İyileştirilen ürünler kalite olarak yeni ürünlerle aynıdır.

4- Müşteriden fabrikaya taşımaya izin verilmektedir, fakat toplama merkezine gelmesine göre maliyeti daha fazladır. Bunun sebebi fabrikaya küçük miktarlarda gelmesidir.

- Modelin amaç fonksiyonu: Müşteriden hibrid depoya olan ve hibrid depodan müşteriye olan taşıma maliyetleri ve deponun kurulma maliyeti toplamından oluşan ters lojistik maliyetlerinin minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1-Akış kısıtları.

2- Kapasite kısıtları.

3-Tek bir fabrikanın açıldığını garanti eden kısıt.

- Modelin değişkenleri: Müşteriden hibrid depoya olan ve hibrid depodan müşteriye olan taşıma miktarları ve hibrid deponun ve fabrikanın kurulması ile ilgili değişkenler.

- Çalışmada kullanılan teknik: Karma tamsayılı programlama ve tabu arama tekniği kullanılmıştır.

3.1.18 Min ve Ko (2008)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, üçüncü parti lojistik şirketlerinin tamir faaliyetlerinin yer ve tahsis problemlerini çözmek için bir karma tamsayılı programlama modeli ve genetik

algoritma tekniği ile çözüm önerisi sunmuştur.

- Çalışmanın uygulama alanı: Üçüncü parti lojistik şirketleri.
- Problem Yapısı: İki aşamalı, çoklu ürün, kapasite kısıtlı, kapalı çevrim.
- Ağın düğümleri: Tamir merkezi-depo-müşteri.
- Yapılan Kabuller: 1- Depolar şirkete aittir.

2- Bazı depolar geri dönen ürünler için birincil toplama alanı veya tamir merkezi olarak kullanılabilir.

3- Kapasite genişleme planı, müşteri taleplerinde veya taşıma altyapısında fark edilir bir değişikliğin olmadığı bir planlama dönemini kapsar.

4- Eğer bir depo için genişleme kararı alınırsa o depo planlama dönemi sonuna kadar açık kalır.

- Modelin amaç fonksiyonu: Taşıma, depolama, genişleme ve kurulum maliyetlerinin toplamından oluşan ters lojistik maliyetlerinin minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1- Kapasite kısıtları.

2- Talep tatmin kısıdı.

3- Genişletilmiş bir deponun o dönem kapanmayacağını garanti eden kısıt.

4- İleri ve ters denge akış kısıtları.

5- Tüm tamir gören ürünlerin müşteriye gönderileceğini garanti eden kısıt.

6- Genişleme limiti kısıtları.

7- Geri dönen ürünün kapalı bir tamir merkezine gelmemesini garanti eden kısıt.

- Modelin değişkenleri: İleri ve ters akışlar, ilave kapasite miktarları, depo ve tamir merkezinin açılması ile ilgili kısıtlar.

- Çalışmada kullanılan teknik: Karma tamsayılı programlama modeli LINGO ticari programı ile çözülmüş ve genetik algoritma tekniği kullanılmıştır.

3.1.19 Pati vd. (2008)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, kağıt geri dönüşüm lojistik sistem yönetimi için uygun olan çok amaçlı karma tamsayılı bir model formüle etmiştir. Model, lojistik maliyetlerin düşürülmesi, ürünün kalitesinin kaynakta geliştirilmesi ve çevresel faydalar gibi birden fazla amacı tatmin etmeye çalışmıştır.
- Çalışmanın uygulama alanı: Kağıt.
- Problem Yapısı: Çok aşamalı, çoklu ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Müşteri-satıcı- ambar-tedarikçi-üretici.
- Yapılan Kabuller: 1- Kaynaktaki ayırma oranı %70'tir.
2- Ambara ulaşan ilgisiz atık yüzdesi %30'dur.
- Modelin amaç fonksiyonu: Lojistik maliyetlerinin ve ilgisiz atık miktarının toplamının minimizasyonu.
- Modelin Kısıtları: 1- Ters Lojistik maliyet kısıdı.
2- İlgisiz kağıt miktar kısıdı.
3- Üreticinin, ambarın talep tatmin kısıtları.
4- Akış denge kısıtları.
5-Kapasite kısıtları.
6- Açılacak merkezlerin üst limit kısıtları.
- Modelin değişkenleri: Akış miktarları, rotalar ve merkezlerin açılması ile ilgili değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: Çok amaçlı karma tamsayılı programlama ve LINDO-32 (versiyon 6.1) ticari programı kullanılmıştır.

3.2 Stokastik Programlama ile Yapılmış Çalışmalar

3.2.1 Ters Lojistik Alanında yapılmış çalışmalar

3.2.1.1 Maqsood ve Huang (2003)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, iki aşamalı aralıklı stokastik programlama kullanarak katı atık yönetimi sistemi için belirsizlik altında bir model sunmuştur.
- Çalışmanın uygulama alanı: Katı atık.
- Problem yapısı: Tek ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim.

- Ağın düğümleri: Şehir-işleme merkezi-gömülecek yer.
- Yapılan Kabuller: 1-Her şehrin belirli bir atık limiti bulunmaktadır. Eğer o limit aşılsa, atıklar daha pahalı bir şekilde bertaraf edilir, ya da daha uzak bir merkeze yollanır.

2- Planlama dönemlerinde oluşan atık miktarları belirsizdir.

- Modelin amaç fonksiyonu: Üretim maliyetleri, şehirden işleme merkezine atıkların taşınmasından doğan maliyet, yakma merkezinden gömülecek yere atıkların taşınmasından doğan maliyetlerin toplamının minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1- Toprağa gömülme kapasitesi kısıdı.

2- Yakma merkezinin kapasite kısıdı.

3- Atık talebi kısıdı.

- Modelin Değişkenleri: Taşınan atıkların ve limiti aşan atıkların miktarları.
- Modelin özelliği: Stokastik programlama ile aralıklı programlama birleştirilmiştir. Bu model alt ve üst limitleri bulmak için deterministik iki alt modele ayrıştırılmıştır.
- Çalışmada kullanılan teknik: İki Aşamalı Aralıklı Stokastik Programlama (İAASP)

3.2.1.2 Listeş ve Dekker (2005)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma stokastik programlama kullanarak, önceden deterministik olarak oluşturulmuş bir ağ tasarımı problemini belirsizlik katarak daha da genişletmeye çalışmıştır.
- Çalışmanın uygulama alanı: Kum.
- Problem yapısı: İki aşamalı, tek ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Pazar-depo-işleme merkezi-pazar.
- Yapılan Kabuller: 1-Depoların sabit maliyeti depolama kapasiteleri ile taşıma maliyetleri ise mesafe ile orantılandırılmıştır.

2- Dönen ürünlerin miktarı ve kalitesi belirsizdir.

3- Senaryolar, gelecek gelişmeleri ifade edecek şekilde uzmanlar tarafından oluşturulmuştur.

4- Stokastik modellerde olasılıklar eşit alınmıştır.

- Modelin amaç fonksiyonu: Satışlardan elde edilecek gelir eksi toplam maliyetin (bölgesel

depo ve işleme merkezinin açılması için gereken sabit maliyet, üretim maliyetleri, pazardan depoya oradan da işleme merkezine malların taşınmasından doğan maliyet, malların işleme merkezinden depoya ve pazara dağıtılmasından doğan maliyetlerin toplamı) maksimizasyonu

- Modelin Kısıtları: 1- Tüm elenmiş kumun ayırma merkezlerinden ayrıldığını garanti eden kısıt.

2- Değişik tipteki kumlarla ilgili tüm projelerin tatmin edildiğini gösteren kısıtlar.

3- Bölgesel depoya gelen kirli kumun hepsinin işleme merkezine transferini garanti eden kısıt.

4- Bölgesel depolardan ve işleme merkezlerinden çıkan temiz ve yarı temiz kumların gelen kumlardan fazla olamayacağını garanti eden kısıt.

5-Bölgesel depolarda ve işleme merkezlerindeki kapasitelerin aşılamayacağını garanti eden kısıtlar.

6- Minimum depolama ve işleme kısıtları.

- Modelin Değişkenleri: Bölgesel deponun ve işleme merkezinin açılıp açılmayacağı ile ilgili değişkenler ve taşınan kum miktarlarını ifade eden değişkenler.

- Çalışmada kullanılan teknik: İki ve Üç Aşamalı Stokastik Tamsayılı Programlama (ÜASP) ve çözüm GAMS/CPLEX 6.5 ile yapılmıştır.

3.2.1.3 Salema vd. (2006a)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma kapasite limitleri, çoklu ürün yönetimi, ürün talebindeki ve geri dönüşlerdeki belirsizliği hesaba katarak genel bir ters lojistik ağ tasarımı ortaya koymuştur.

- Çalışmanın uygulama alanı: Ofis dokümanları.

- Problem yapısı: İki aşamalı, çoklu ürün, kapasite kısıtlı, kapalı çevrim.

- Ağın düğümleri: Fabrika-depo (demontaj merkezi)-müşteri.

- Yapılan Kabuller:1-Talep, geri dönüşler, sabit maliyet ve karşılanamayan talep ve geri dönüş maliyetleri rassal seçilmiştir ve uniform dağılıma uymaktadır.

2- Ters tedarik zincirinde “tatmin edilemeyen dönüşler”, toplanmayan kullanılmış ürünleri oluştururken ileri tedarik zincirinde karşılanamayan müşteri talebi ise “tatmin edilemeyen talebi” oluşturmaktadır.

- Modelin amaç fonksiyonu: Tesis, depo ve demontaj merkezlerinin kurulum maliyeti, işleme maliyetleri, talebin tatmin edilmesinden doğan maliyet ve tatmin edilemeyen talep ve geri dönüş maliyetleri toplamından oluşan toplam maliyetin minimizasyonu.
- Modelin Kısıtları:
 - 1-Müşterinin tüm talebinin ve tüm geri dönüşlerin dikkate alındığını garanti eden kısıtlar.
 - 2- Geri dönüş miktarının talebin miktarından fazla olamayacağını garanti eden kısıt.
 - 3- Ürünlerin minimum miktarda bertaraf edileceğini garanti eden kısıt.
 - 4- Tesis, depo ve demontaj kapasitesi maksimum ve minimum kısıtları.
- Modelin Değişkenleri: İleri ve ters akış, talep ve karşılanmayan talep miktarları, depo fabrika ve demontaj merkezlerinin açılması ile ilgili değişkenler.
- Modelin özelliği: Önce tek ürün için model kurulmuş sonra kapasite kısıdı getirilmiş ve son olarak da çoklu ürün için model çözülmüştür. En son olarak senaryo tabanlı model oluşturulmuştur.
- Çalışmada kullanılan teknik: İki Aşamalı Stokastik Programlama (İASP) ve çözüm GAMS/CPLEX 8.1 ile yapılmıştır.

3.2.1.4 Salema vd. (2006b)

- Çalışmanın amacı: İleri ve ters akışları optimize eden bir depo yer seçimi-tahsis problemini çözmektir.
- Çalışmanın uygulama alanı: Ofis dokümanları.
- Problem yapısı: Çok aşamalı, çoklu ürün, kapasite kısıtlı, kapalı çevrim.
- Ağın düğümleri: Fabrika-depo (demontaj merkezi)-müşteri.
- Modelin amaç fonksiyonu: Merkezlerin açılma, ileri ve ters taşıma maliyetleri, ileri ve ters karşılanmayan talebin ceza maliyetinin toplamının minimizasyonu.
- Modelin kısıtları:
 - 1-İleri ve ters akışlarda tüm müşteri taleplerinin hesaba katıldığını garanti eden kısıtlar.
 - 2-Bertaraf miktarı kısıdı.
 - 3-Depoya veya demontaj merkezine gelen her ürünün bir sonraki düğüme gideceğini garanti eden kısıtlar.

4-Demontaj merkezlerine gelen ürün miktarının üretilen miktardan daha az olmasını garanti eden kısıt.

5- Merkez sayılarının üst sınırları.

- Modelin Değişkenleri: İleri ve ters akış, talep ve karşılanmayan talep miktarları, depo fabrika ve demontaj merkezlerinin açılması ile ilgili değişkenler.
- Modelin özelliği: Model çoklu ürün, kapasite kısıtlı olarak genişletilmiştir. Ayrıca başka bir çalışmada geliştirilen tek aşamalı modelle de karşılaştırma yapılmıştır.
- Çalışmada kullanılan teknik: İki aşamalı stokastik programlama ve çözüm GAMS/CPLEX 8.1 ile yapılmıştır.

3.2.1.5 Listeş (2007)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, kapalı çevrim sistemi olarak adlandırılan ileri ve ters kanalları kapsayan ağın tasarımı için talebin belirsiz olduğu durumlara, genel bir stokastik model önermiştir. Ayrıca bu problemi etkin bir şekilde çözmek için kısımlara ayırma metodunu ortaya konmuştur.
- Çalışmanın uygulama alanı: Elektronik aletler.
- Problem yapısı: İki aşamalı, tek ürün, kapasite kısıtlı, kapalı çevrim.
- Ağın düğümleri: Market-tesis-fabrika-market.
- Yapılan Kabuller: 1-Tüm maliyetler ve kazançlar aynı planlama dönemine aittir.

2-Bütün miktarlar bir sonraki düğümdeki en az bir merkez tarafından tatmin edilmelidir.

- Modelin amaç fonksiyonu: **1. aşama** Yer açılması için gereken yatırım maliyeti, bu merkezler arasında oluşacak taşıma işlemi ile ilgili ortalama maliyet eksi ağ işleme girdiğinde elde edilecek beklenen gelirin minimizasyonu

2. aşama Satışlardan elde edilecek gelir eksi toplam maliyetin (tesisten pazara malların taşınmasından doğan maliyet, üretim maliyetleri, pazardan tesise malların taşınmasından doğan maliyet, toplanmayan ürünlerin ceza maliyeti, tekrardan üretim maliyeti, bertaraf etme maliyetinin toplamı) maksimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: **1.aşama** 1-Ağın sadece açılmış olan merkezler ve tesis üzerinden kurulabileceğini garanti eden kısıtlar.

2- Servis ihtiyaçları ile ilgili kısıtlar.

2. aşama 1- Mevcut talep kısıdı.

2- Mevcut dönüş kısıdı.

3- Tesis ve merkez kısıtları.

4- Tesis ve merkezlerdeki denge kısıtları .

- Modelin Değişkenleri: Merkezlerin açılması ile ilgili değişkenler, iki merkez arasında bağlantı olup olmayacağı ile ilgili değişkenler ve taşıma miktarları.
- Çalışmada kullanılan teknik: İki aşamalı stokastik tamsayılı programlama ve L-shaped tekniği kullanılmış ve çözüm CPLEX ile yapılmıştır.

3.2.1.6 Chouinard vd. (2008)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, mevcut tedarik düğümlerine ters lojistik faaliyetlerini entegre etmek için stokastik programlama modeli sunmuştur. Amacı, belirsizliğin tasarım kararlarına etkisini ölçmektir.
- Çalışmanın uygulama alanı: Tekerlekli sandalye.
- Problem Yapısı: İki aşamalı, çoklu ürün, kapasite kısıtlı, kapalı çevrim.
- Ağın düğümleri: Servis merkezleri-işleme merkezi-depolar.
- Yapılan Kabuller: 1- Gelen ürün kaliteleri; bilinmeyen, yeni, iyi durumda, zarar görmüş ve kullanılamayacak kadar kötü olarak sınıflandırılmıştır. Ürünlerin geçirecekleri aşamalar durumları ile ilişkilendirilmiştir.

2- Belirsizliğin ifadesi için normal dağılım uygulanmıştır.

- Modelin amaç fonksiyonu: Akış, işleme ve sabit maliyetlerin toplamının minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1- Talep tatmin kısıtları.

2- Tüm toplanan ürünlerin işleme merkezine gelmesini garanti eden kısıtlar.

3- Demontaj kısıtları.

4- Satılmayan tüm ürünlerin bertaraf edileceğini garanti eden kısıtlar.

5- Kapasite kısıtları.

6-Tamir edilemeyecek parçalarının yerine yenilerinin konacağını garanti eden kısıtlar.

7- Girdi-çıktı denge kısıtları.

- Modelin değişkenleri: İşleme merkezi ve depoların açılması ile ilgili değişkenler, akış miktarları ve işlenen miktarlar
- Çalışmada kullanılan teknik: İki aşamalı stokastik programlama, örneklem ortalama tahmini tekniği kullanılmıştır.

3.2.2 İleri Lojistik Alanında yapılmış çalışmalar

3.2.2.1 Tsiakis vd. (2001)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, talep belirsizliği altında çoklu ürün için tedarik zinciri tasarımı yapmıştır.
- Problem yapısı: İki aşamalı, kapasite kısıtlı, çoklu ürün, açık çevrim.
- Ağın düğümleri: Üretim alanı-depolar-dağıtım merkezleri-müşteri.
- Yapılan Kabuller: 1-Talep belirsizdir.

2-Taşıma maliyeti mesafe ile orantılıdır.

3- Depolar tedariğini, birden fazla üretim alanından sağladığı gibi birden fazla dağıtım merkezine tedarik sağlayabilir, ayrıca her dağıtım merkezi tedariğini birden fazla depodan sağlayabilir.

• Modelin Amaç fonksiyonu: Depo ve dağıtım merkezlerinin kurulum maliyeti, üretim maliyeti, taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu.

• Modelin Kısıtları: 1-Bir depo ile dağıtım merkezi arasındaki ilişkinin, sadece o depo veya dağıtım merkezi açıksa sağlanabileceğini garanti eden kısıtlar.

2- Belirli bir deponun tek bir depo tarafından hizmet görmesini garanti eden kısıt.

3- Müşteri bölgesi ile dağıtım merkezi arasındaki ilişkinin, sadece o dağıtım merkezi açıksa sağlanabileceğini garanti eden kısıt.

4- Belirli bir müşteri merkezinin tek bir dağıtım merkezi tarafından hizmet görmesini garanti eden kısıt.

5- Tesisten depoya olan akışın üst limiti.

6- Depodan dağıtım merkezine olan akışın alt ve üst limiti.

7- Dağıtım merkezinden müşteri bölgesine olan akışın alt ve üst limiti.

8- Tesisteki üretimin tesisten depoya olan akışla eşit olmasını garanti eden kısıt.

9- Tesisten depoya olan akışla depodan dağıtım merkezine olan akışın eşit olmasını garanti eden kısıt.

10- Depodan dağıtım merkezine olan akışla, dağıtım merkezinden müşteri bölgesine olan akışın eşit olmasını garanti eden kısıt.

11- Dağıtım merkezinden müşteri bölgesine olan akışın, toplam talebe eşit olmasını garanti eden kısıt.

12- Üretim tesisinin, deponun, dağıtım merkezinin alt ve üst kapasite kısıtları.

- Modelin Değişkenleri: Depolar ve dağıtım merkezlerinin açılıp açılmayacağı ile ilgili kısıtlar, tahsis kısıtları ve üretilen ve taşınan miktarlar.
- Çalışmada kullanılan teknik: İki aşamalı stokastik programlama ve CPLEX programı kullanılmıştır.

3.2.2.2 Santoso vd. (2006)

- Çalışmanın amacı: Bu çalışma, örneklem ortalama tahmini ve hızlandırılmış Bender'in kısımlara ayırma metodunu entegre ederek belirsizlik ve sınırlı sayıda senaryo altında tedarik zinciri tasarım problemini çözmeye çalışmıştır.
- Çalışmanın uygulama alanı: Mukavva kutu.
- Problem yapısı: Tek aşamalı, çoklu ürün, kapasite kısıtlı, açık çevrim
- Ağın düğümleri: Tedarikçi- üretim merkezi (İşleme merkezi ve depolar)-müşteri.
- Yapılan Kabuller: 1-İşleme ve taşıma maliyetleri, talep, tedarikçi, kapasiteler stokastik parametrelerdir ve log-normal dağılıma uymaktadır.

2- Tüm talebin karşılanma gereği olmadığından, karşılanamayan talep için ceza maliyeti uygulanmamıştır.

- Modelin amaç fonksiyonu: **1. aşama** Yer açılması için gereken yatırım maliyeti ve beklenen gelecek işleme ve taşıma maliyetinin toplamının minimizasyonu.

2. aşama İşleme ve taşıma maliyeti toplamının minimizasyonu.

- Modelin Kısıtları: 1-Düğümlerdeki girdi çıktı dengesi kısıdı.

2-Düğümlere olan akışın talepten fazla olmasını gerektiren kısıt.

3-Tedarikçiden gelen bir ürünün o tedarikçinin kapasitesinden az olmasını gerektiren kısıt.

4-İşleme merkezindeki kapasite kısıdı.

- Modelin Değişkenleri: Akış miktarları ve üretim merkezinin açılıp açılmayacağı ile ilgili değişkenler.
- Çalışmada kullanılan teknik: Stokastik programlama ve örneklem ortalama tahmini ve hızlandırılmış Bender'in kısımlara ayırma metodu kullanılmış ve çözüm CPLEX ile yapılmıştır.

Çizelge 3.1 literatür çalışmalarının bir özetini ortaya koymaktadır.

Çizelge 3.1 Literatür çalışmalarının özeti

Ağın Özellikleri					Ürün Çeşidi						Amaç Fonk		Karar Değişkenleri	
Çalışmalar	Aşama Sayısı	Açık Çevrim	Kapalı Çevrim	Kapasite Kısıdı	Tek	Çok	Uygulama Alanı	Kullanılan Teknik	Kullanılan Sezgisel	Kullanılan Program	Makimizasyon	Minimizasyon	Tahsis	Yer
1. Deterministik Ters Lojistik Modelleri														
1.1 Spengler vd. (1997)		✓		✓	•	✓	Endüstriyel yan ürünler	KTP			•	✓	✓	✓
1.2. Barros vd.(1998)	İki	✓		✓	✓	•	Kum	KTP	Doğrusal Gevşetme		•	✓	✓	✓
1.3 Nema & Gupta (1999)	İki	✓		✓	•	✓	Zararlı atık	ÇAKTP			•	✓	✓	✓
1.4 Krikke vd.(1999)	İki	✓		•	✓	•	Fotokopi makinesi	KTP		LINGO	•	✓	✓	✓
1.5 Shih (2001)	Çok		✓	✓	•	✓	Ev gereçleri	KTP			✓	•	✓	✓
1.6 Hu vd. (2002)		✓		✓	•	✓	Endüstriyel Zararlı Atık	TP		LINGO	•	✓	✓	
1.7 Krikke, vd. (2003)	Çok		✓	•	•	✓	Buzdolabı	KTP		CPLEX	•	✓	✓	✓

Çizelge 3.1 Literatür çalışmalarının özeti -devamı

1.8 Jayaraman vd.(2003)	İki	✓	✓	✓	•	Zararlı ürünler	KTP	Sezgisel Yoğunlaştırma	CPLEX	•	✓	✓	✓
1.9 Beamon ve Fernandes (2004)	İki		✓	✓	✓	•	KTP			•	✓	✓	✓
1.10 Blanc vd. (2004)	İki	✓	✓	✓	•	LPG tankları	KTP		CPLEX	•	✓	✓	✓
1.11 Min vd. (2006)	İki	✓	✓	✓	•	İnternet satışı	DOKTP	Genetik Algoritma		•	✓	✓	✓
1.12 Alumur ve Kara (2007)	İki	✓	✓	•	✓	Zararlı atıklar	ÇAKTP		CPLEX	•	✓	✓	✓
1.13 Lu ve Bostel (2007)	İki		✓	•	✓	•	KTP	Lagranj Sezgiseli		•	✓	✓	✓
1.14 Sheu (2007)		✓	✓	•	✓	Zararlı atıklar	ÇADP		CPLEX	•	✓	✓	
1.15 Lieckens ve Vandaele (2007)	Tek	✓	✓	✓	•		DOKTP	Genetik Algoritma		✓	•	✓	✓
1.16 Ko ve Evans (2007)	Tek		✓	✓	•	ÜPLŞ	DOKTP	Genetik Algoritma		•	✓	✓	✓

Çizelge 3.1 Literatür çalışmalarının özeti-devamı

1.17 Lee ve Dong (2008)	İki	✓	✓	✓	•	Bilgisayar parçaları	KTP	Tabu Arama		•	✓	✓	✓
1.18 Min ve Ko (2008)	İki	✓	✓	•	✓	ÜPLŞ	KTP	Genetik Algoritma	LINGO	•	✓	✓	✓
1.19 Pati vd. (2008)	Çok	✓	✓	•	✓	Kağıt Atık	ÇAKTP		LINDO	•	✓	✓	✓
2. Stokastik Ters Lojistik Modelleri													
2.1 Maqsood ve Huang (2003)		✓	✓	✓	•	Katı Atık	İAASP				✓	✓	
2.2 Listeş ve Dekker (2005)	İki	✓	✓	✓	•	Kum	İASP ve ÜASP		GAMS/CPLEX	✓	•	✓	✓
2.3 Salema vd. (2006a)	İki	✓	✓	•	✓	Ofis dokümanları	İASP		GAMS/CPLEX		✓	✓	✓
2.4 Salema vd. (2006b)	Çok	✓	✓	•	✓	Ofis dokümanları	İASP		GAMS/CPLEX		✓	✓	✓
2.5 Listeş (2007)	İki	✓	✓	✓	•	Elektronik aletler	İASP	L-shaped	CPLEX		✓	✓	✓
2.6 Chouinard vd.(2008)	İki	✓	✓	•	✓	Tekerlekli sandalye	İASP	Örneklem Ort. Tah.			✓	✓	✓

Çizelge 3.1 Literatür çalışmalarının özeti-devamı

3. Stokastik İleri Lojistik Modelleri													
3.1 Tsiakis vd. (2001)	İki	✓	•	✓	✓		İASP		CPLEX	✓	✓	✓	
3.2 Santoso vd. (2006)	Tek	✓	•	✓	•	✓	Mukavva Kutu	Örneklem Ortalama Tahmini ve Bender'in kısımlara ayırma metodu	CPLEX	•	✓	✓	✓

4. KULLANILAN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

4.1 Stokastik Programlama

Belirsizlik, birçok karar verme probleminin anahtar bileşenidir. Yıllar boyunca belirsizliği formülize etmek için farklı yöntemler geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu çalışmalarda genellikle olasılıklı modeller incelenmiştir. Bu tip yaklaşımlarda, olası çıktıların ortalaması ya da olayların oluşma olasılıklarının modele katılması ile amaç fonksiyonu ve kısıtlar modellenmiştir (Ruszczynski ve Shapiro, 2003).

4.1.1 Temel Kavramlar

Problemlerin birçok parametresi belirsiz olarak düşünülebilir ve bu yüzden rassal değişken olarak tanımlanabilir. Belirsizlik, rassal deneyler sonucu elde edilen ve ω ile ifade edilen çıktılarla ifade edilir. Bütün çıktıların kümesi Ω ile ifade edilir. Ayrıca bu çıktıları tam olarak belirlemek çok önemli değildir çünkü odak noktası, bu çıktıların rassal değişkenlere olan etkisidir.

Bu çıktılar, olay olarak ifade edilen Ω 'nin altkümesi olarak toplanabilir. Toplanmış rassal olaylar kümesi A olarak ifade edilir. Her $A \in \mathcal{A}$ olayı, $P(A)$ olasılık değeri ile ilişkilendirilmiştir ve $0 \leq P(A) \leq 1$, $P(\emptyset) = 0$, $P(\Omega) = 1$ ve eğer $A_1 \cap A_2 = \emptyset$ ise $P(A_1 \cup A_2) = P(A_1) + P(A_2)$ dır.

$(\Omega, \mathcal{A}, P)$, birçok koşulu sağlaması gereken *olasılık uzayı* olarak adlandırılır. Bütün $\mathcal{A}$ 'daki rassal olaylardan etkilenen birden fazla rassal değişken tanımlamak mümkündür. Mesela Ω bir ülkedeki politik gelişmeleri ifade eden olaylar kümesi ise enflasyon oranı, benzin fiyatları ve faiz oranları gibi birçok değişken bu rassal olaydan etkilenebilir.

Stokastik programlamada (SP) Ω ile yakından ilişkisi olan rassal değişkenlerin tanımlanması için $\omega \in \Omega$ çıktıları kullanılır ve genellikle bu çıktılara *senaryo* adı verilir. Tüm rassal değişkenler birleşik olarak sonlu sayıda birçok senaryoya bağımlıdır. Genellikle Ω ve $\mathcal{A}$ 'yı tamamıyla yapılandırmak mümkün olamamaktadır. Bu yüzden sadece rassal değişkenlerle ilgili bilgi sahibi olmak yeterli olmaktadır. Herhangi bir rassal ξ değişkeni için kümülatif dağılım, $F_\xi(x) = P(\xi \leq x)$ ya da tam olarak $F_\xi(x) = P(\{\omega | \xi \leq x\})$ şeklinde tanımlanabilir.

Bu durum için iki tane ana rassal değişken düşünülebilir. Kesikli rassal değişken, sınırlı sayıda ya da sayılabilir farklı değerlerden oluşur. Bu rassal değişkenler için olasılık dağılımı,

ki olası değerler için oluşmuş listedir, ξ^k , $k \in K$ şeklinde tanımlanır ve olasılık değeri $f(\xi^k) = P(\xi = \xi^k)$ ve $\sum_{k \in K} f(\xi^k) = 1$ 'dır. Sürekli değişkenler genellikle yoğunluk

fonksiyonu $f(\xi)$ ile ifade edilir. ξ rassal değişkenin $[a,b]$ aralığı için olasılık değeri

$$P(a \leq \xi \leq b) = \int_a^b f(\xi) d\xi \text{ dir, } F(.) \text{ ise kümülatif dağılımdır. Kesikli duruma zıt olarak, tek}$$

bir sürekli rassal a değerinin olasılık değeri $P(\xi = a)$ her zaman 0 olur. $F(.)$ dağılımında

$$\int_{-\infty}^{\infty} dF(\xi) = 1 \text{ 'dır. Rassal değişken için beklenen değer, kesikli durumda } \mu = \sum_{k \in K} \xi^k f(\xi^k)$$

$$\text{iken sürekli durumda } \mu = \int_{-\infty}^{\infty} \xi dF(\xi) \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

4.1.2 Kararlar ve Aşamalar

Stokastik doğrusal programlama, bazı problem verilerinin belirsiz olarak kabul edildiği bir programlama tekniğidir. Bu tip modellerde, belirsizlik açığa kavuştuktan sonra bazı kararlar alınabilmekte ya da düzeltme işlemleri yapılabilmektedir. Veri belirsizliğinden kasıt, verilerin rassal değişkenler şeklinde ifade edilebilmesidir. Rassal değişkenlerin doğru olasılıksal tanımlarının; olasılık dağılımları, yoğunluk fonksiyonları ve olasılık ölçümleri ile yapılabileceği varsayılmaktadır. Genellikle birçok rassal değişken rassal deneyler gerçekleştikten sonra bilinir hale gelmektedir. $\xi = \xi(\omega)$ vektörü deneyler gerçekleştikten sonra bilinebilmektedir.

Karar kümesi iki gruba ayrılmıştır:

- Bazı kararlar rassal deney yapılmadan önce yapılabilir. Bu kararlara *birinci aşama değişkenleri* adı verilir ve bu kararların alındığı periyoda da *birinci aşama* denir.
- Bazı kararlar rassal deney yapıldıktan sonra yapılabilir. Bu kararlara *ikinci aşama değişkenleri* adı verilir ve bu kararların alındığı periyoda da *ikinci aşama* denir.

Birinci aşama değişkenleri x vektörü ile ifade edilirken ikinci aşama değişkenleri y veya $y(\omega)$ ya da $y(\omega, x)$ ifade edilebilir. Olayların ve kararların sırası şu şekilde özetlenebilir: $x \rightarrow \xi(\omega) \rightarrow y(\omega, x)$. Burada değişkenlerin birinci ve ikinci aşama değişkeni olup olmaması, kararların rassal deneyin öncesinde ve sonrasında gerçekleşmesiyle ilişkilidir.

4.1.3 İki Aşamalı Stokastik Programlama

İki Aşamalı Stokastik Programlama (İASP) şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\min z = c^T x + E_{\xi}[\min q(\omega)^T y(\omega)] \quad (4.1)$$

ş.k.g

$$Ax = b \quad (4.2)$$

$$T(\omega)x + Wy(\omega) = h(\omega) \quad (4.3)$$

$$x \geq 0, y(\omega) \geq 0 \quad (4.4)$$

Birinci aşama ve ikinci aşamada belirgin bir farklılık bulunmaktadır. Birinci aşama değişkenleri $n_1 \times 1$ boyutlu x vektörü ile ifade edilir. x vektörü ile ilgili matrisler sırasıyla $n_1 \times 1$, $m_1 \times 1$, $m_1 \times n_1$ boyutlu c, b ve A 'dır. İkinci aşamada belli sayıda rassal olaylar gerçekleşir ($\omega \in \Omega$). ω belirlendikten sonra ikinci aşama problem verileri sırasıyla $n_2 \times 1$, $m_2 \times 1$, $m_2 \times n_2$ boyutlu $q(\omega), h(\omega)$ ve $T(\omega)$ matrisleridir.

Bu yüzden q, T, h 'nin her bir bileşeni de birer rassal değişkendir. $T_i(\omega)$, $T(\omega)$ 'nin i . satırı olsun. İkinci aşama verilerinin stokastik bileşenlerini bir araya getirirsek $N = n_2 + m_2 + (m_2 \times n_1)$ adet bileşenli $\xi^T(\omega) = (q(\omega)^T, h(\omega)^T, T_1(\omega), \dots, T_{m_2}(\omega))$ vektörü elde edilir. Daha önce de bahsedildiği gibi tek bir ω rassal olayı, ξ 'nin bileşenleri olan farklı rassal değişkenleri etkileyebilir.

Ayrıca $\Xi \subset \Re^N$ ξ 'ye dayanan, $P(\Xi) = 1$ koşulu altında en küçük kapalı altküme olsun. ω belirlendikten q, T, h problem verileri bilinir hale gelir. Daha sonra ikinci aşama kararları $y(\omega)$ ya da $y(\omega, x)$ alınır. y 'nin ω 'ye olan bağımlılığı q 'nin ω 'ye olan bağımlılığından tamamen farklıdır. Çok fazla fonksiyonel olmamakla beraber anlatılmak istenen y 'nin farklı ω 'ler altında aynı değeri almayışıdır.

Amaç fonksiyonu (4.1), deterministik bölüm olan $c^T x$ ve tüm ω rassal olaylarının belirlenmesiyle oluşan ikinci aşama amaç fonksiyonunun beklenen değerinden $q(\omega)^T y(\omega)$ meydana gelmektedir. Bu ikinci aşama terimi daha zordur, çünkü her bir ω için $y(\omega)$ değeri doğrusal programın çözümüdür. Bu durumun altını çizmek için genellikle deterministik eşdeğer programı notasyonu kullanılır. Her bir ω 'nin belirlenmesi için amaç fonksiyonu,

$$Q(x, \xi(\omega)) = \min_y \{q(\omega)^T y \mid Wy = h(\omega) - T(\omega)x, y \geq 0\} \quad (4.5)$$

Sonra, beklenen ikinci aşama değer fonksiyonu

$$Q(x) = E_\xi Q(x, \xi(\omega)) \quad (4.6)$$

olur ve *Deterministik Eşdeğer Program* aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\min z = c^T x + Q(x) \quad (4.7)$$

ş.k.g

$$Ax = b \quad (4.8)$$

$$x \geq 0$$

SP'nin bu şekildeki gösterimi, deterministik formülasyona göre farkın ikinci aşama değer fonksiyonunu ifade eder. Eğer bu fonksiyon belirlenirse, model sıradan bir deterministik modele dönüşür. (4.1)-(4.4)'te verilen formülasyon İASP'nin en basit halidir. Modele çeşitli ilaveler yapılabilir. Mesela değişkenler tam sayılı değişken olabilir ya da model doğrusal olmayan model haline getirilebilir (Birge ve Louveaux, 1997).

4.1.4 Bilginin Değeri ve Stokastik Çözüm

Stokastik programların çözümünün zor olduğu ile ilgili ünü vardır. Gerçek olaylarla karşı karşıya kalan birçok kişi daha kolay çözüm yolları kullanmaktadır. Daha kolay yollar için örnek verilecek olursa, rassal değişkenlerin beklenen değerinin modele dahil edildiği deterministik modeli çözmek ya da her bir senaryo değerine denk gelecek birçok deterministik modeli çözüp bu farklı sonuçları birleştirmekten söz edilebilir. Bu çözümlerin optimal olup olmadığı ya da tamamen yanlış olup olmadığı soruları akla gelmektedir. Teorik cevap iki yapı ile verilmektedir: *mükemmel bilginin beklenen değeri* ve *stokastik çözümün değeri*.

4.1.4.1 Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri

Mükemmel bilginin beklenen değeri (MBBD), karar vericinin gelecekle ilgili gerçekçi ve doğru bilgiye ödemeye hazır olduğu miktardır. ξ , birçok farklı senaryo değerlerinin realizasyonuna bağlı olan bir rassal değişken olsun.

$$\min z(x, \xi) = c^T x + \min \{ q^T y \mid Wy = h - Tx, y \geq 0 \} \quad (4.9)$$

ş.k.g

$$Ax = b, x \geq 0$$

$\bar{x}(\xi)$ herhangi bir optimal çözüm olsun. Senaryo yaklaşımına göre, her senaryo için problemin tüm $\bar{x}(\xi)$ çözümleri ve bu çözümlerin amaç fonksiyonları $z(\bar{x}(\xi), \xi)$ bulunur. Bu yaklaşım *dağılım problemi* olarak adlandırılır, çünkü $\bar{x}(\xi)$ ve $z(\bar{x}(\xi), \xi)$ 'nin dağılımını andırmaktadır. *Dağılım problemi*, doğrusal programlamada duyarlılık ya da parametrik analizlerin genelleştirilmiş hali olarak karşımıza çıkmaktadır.

Burada bu $\bar{x}(\xi)$ ve $z(\bar{x}(\xi), \xi)$ değerlerini hesaplandığı varsayılırsa, literatürde *Bekle ve Gör* (BG) olarak adlandırılan, bu değerlerin beklenen değeri hesaplanır.

$$\begin{aligned} BG &= E_{\xi} \left[\min_x z(x, \xi) \right] \\ &= E_{\xi} z(\bar{x}(\xi), \xi) \end{aligned} \quad (4.10)$$

Burada ve Şimdi (BŞ) çözümü ise geleceğin bilinmeden çözümün yapıldığı yani stokastik programlama çözümüdür. Artık, *Bekle ve Gör* (BG) çözümü ile *Burada ve Şimdi* (BŞ) çözümü karşılaştırabilir. *Mükemmel bilginin beklenen değeri* (MBBD), tanımından da çıkartılabildiği gibi *Burada ve Şimdi* (BŞ) çözümü ile *Bekle ve Gör* (BG) çözümü arasındaki farktır.

$$MBBD = BŞ - BG \quad (4.11)$$

4.1.4.2 Stokastik Çözümün Değeri

Belirli sebeplerden dolayı birçok insan BG çözümünün elde edilmesinin oldukça zor olduğuna inanmaktadır. Hem gerçek bilginin elde edilmesi her zaman kolay olmayabilir, hem de bir model çözümü yerine senaryo sayısı kadar çözüm elde etmek her zaman kolay olmayabilir. Bu da kişileri, daha kolay bir çözüm olan, rassal değişkenlerin beklenen değerini modele dahil edip, deterministik olarak çözümü elde etmeye itmektedir. Bu probleme *Beklenen Değer* (BD) problemi denir ve şu şekilde ifade edilir

$$BD = \min_x z(x, \bar{\xi}) \quad (4.12)$$

$\bar{\xi} = E(\xi)$, ξ 'nin beklenen değeri, $\bar{x}(\bar{\xi})$ denklem (4.12)'nin çözümü olsun. Böylece BD çözümünün beklenen değeri (BDÇBD), şu şekilde tanımlanır:

$$BDÇBD = E_{\xi} \left(z(\bar{x}(\bar{\xi}), \xi) \right) \quad (4.13)$$

BDÇBD değeri, $\bar{x}(\bar{\xi})$ 'nin, stokastik modelde nasıl bir performans sergilediğini ölçmektedir. Böylece SÇD şu şekilde hesaplanır:

$$SÇD = BDÇBD - BŞ \quad (4.14)$$

Aşağıdaki temel eşitsizlikler Madansky (1960)'nin çalışmasından alınmaktadır:

$$BG \leq BŞ \leq BDÇBD, \quad BD \leq BG \quad (4.15)$$

$$0 \leq MBB, \quad 0 \leq SÇD, \quad SÇD \leq BDÇBD - BD, \quad MBB \leq BDÇBD - BD \quad (4.16)$$

İncelenen durumlarda sonuçların bu eşitsizliklere uyup uymadığı kontrol edilmelidir (Birge, Louveaux, 1997).

4.2 Robust Programlama

Robust Programlama (RP), 1995 yılında Mulvey vd. tarafından önerilmiş ve senaryo verilerinin gerçekleşmesinden daha az etkilenmiş çözümler üreten bir programlama tekniğidir. RP tarafından önerilen optimal sonucun "sağlam" olarak nitelendirilebilmesi için girdi verilerinde bir değişiklik olduğunda optimal sonucun optimale yakın olabilmesi gerekmektedir. Buna çözüm sağlamlığı denir. Bir çözüme "sağlam" denebilmesi için, girdi verilerindeki küçük değişikliklerde çoğu zaman sonucun fizibil olması gerekmektedir. Buna da model sağlamlığı denir. RP, hedef programlama formülasyonu ile senaryo tabanlı girdi verilerini entegre etmiştir. RP iki belirgin kısıt içermektedir: yapısal kısıtlar ve kontrol kısıtları. Yapısal kısıtlar doğrusal programlama kavramına göre formüle edilirler ve herhangi bir veri değişikliğinden etkilenmezler, fakat kontrol kısıtları veri değişikliğinden etkilenirler. Ayrıca iki çeşit değişken tipi tanımlanmaktadır; tasarım ve kontrol değişkenleri. Tasarım değişkenleri, veri gerçekleşmesi gözlemlendiğinde herhangi bir değişikliğe uğramaz iken, kontrol değişkenleri belirsiz parametreler ölçüldüğü zaman değişikliğe uğrar.

Aşağıda RP yapısı kısaca özetlenmektedir. İlk olarak $x \in \mathfrak{R}^{n_1}$ tasarım değişkenleri vektörü ve $y \in \mathfrak{R}^{n_2}$ kontrol değişkenleri vektörü olsun. RP yapısı şu şekildedir:

$$\text{Min } c^T x + d^T y \quad (4.17)$$

ş.k.g

$$Ax = b \quad (4.18)$$

$$Bx + Cy = e \quad (4.19)$$

$$x, y \geq 0 \quad (4.20)$$

Kısıt (4.18), yapısal kısıttır ve katsayıları sabit ve veri değişikliklerinden etkilenmez, fakat kısıt (4.19) kontrol kısıdıdır ve katsayıları veri değişikliklerinden etkilenir. RP ile formüle edilen problem belirli sayıda senaryo $\Omega = \{1, 2, 3, \dots, S\}$ içerir. Her $s \in \Omega$ senaryosu altında kontrol kısıtlarının katsayıları, p_s s senaryosunun olasılığını temsil eden ve $\sum_{s=1}^S p_s = 1$ olan sabit olasılıklarda $\{d_s, B_s, C_s, e_s\}$ 'e dönüşür. Bu modelin optimal sonucunun sağlam olabilmesi için her $s \in \Omega$ s senaryonun realizasyonunda, optimal sonucun optimalliğe "yakın" olması gerekmektedir. Buna çözüm sağlamlığı denir. Eğer her s senaryo realizasyonunda sonuç "çoğunlukla" fizibil olursa sonuç ayrıca sağlamdır. Buna da model sağlamlığı denir. "yakın" ve "çoğunlukla" notasyonları normların seçiminde hassasiyet yaratmaktadır.

Bazı durumlarda her $s \in \Omega$ senaryosu için optimal ve fizibil sonuçlar elde etmek mümkün olmayabilir. Bu yüzden çözüm sağlamlığı ve model sağlamlığı arasında bir denge sağlanmalıdır. RP bu denge durumunu ölçmek üzere formüle edilmiştir.

İlk olarak her $s \in \Omega$ s senaryosu için y_s kontrol değişkeni ve her s senaryosu altında kontrol kısıtlarındaki izin verilen infizibil durumu ölçecek olan δ_s hata vektörü tanımlanır. Böylece daha önce verilmiş RP modeli şu şekle dönüştürülür.

$$\text{Min } \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_S) + \omega' \rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_S) \quad (4.21)$$

ş.k.g

$$Ax = b \quad (4.22)$$

$$B_s x + C_s y_s + \delta_s = e_s \quad \forall \text{ tüm } s \in \Omega \quad (4.23)$$

$$x \geq 0 \quad y_s \geq 0 \quad \forall \text{ tüm } s \in \Omega \quad (4.24)$$

RP modeli çoklu senaryoları işin içine kattığından, kısıt (4.17)'deki amaç fonksiyonunun birinci terimi $\xi' = c^T x + d^T y$ iken $s \in \Omega$ senaryosunda p_s olasılığında $\xi'_s = c^T x + d_s^T y_s$ rassal değerine dönüşür. Amaç fonksiyonun ikinci terimi $\rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_S)$, bazı senaryolar altında kontrol kısıtlarının ihlal edilme durumlarını cezalandıran, fizibil ceza fonksiyonudur. Kontrol kısıtlarının ihlal edilmesi demek bazı senaryolar için infizibil sonuçların elde edilmesi demektir. ω' ağırlığının kullanılması ile ilk terim $\sigma(\cdot)$ ile ölçülen çözüm sağlamlığı ile ikinci terim $\rho(\cdot)$ ile ölçülen model sağlamlığı arasındaki denge tanımlanabilir. Eğer $\omega' = 0$ ise, amaç $\sigma(\cdot)$ minimize etmektir ve çözüm infizibil olabilir ya da ω' çok büyük alınırsa $\rho(\cdot)$ amaç fonksiyonunda üstün olur ve yüksek maliyetlere sebebiyet verir. Uygun değer seçilebilmesi için Mulvey vd. (1995), Mulvey ve Ruszczyński (1995), Yu ve Li (2000) çalışmalarına bakılabilir. Mulvey vd. (1995), tarafından önerilen $\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_S)$ terimi, $\sigma(\cdot)$ değerinin ortalama değeri artı λ sabiti çarpı varyanstır. Bu tanım, ortalama/varyans modellerinin veri değişikliğinden daha az etkilenmesinden dolayı türetilmiştir.

$$\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_S) = \sum_{s \in S} p_s \xi'_s + \lambda \sum_{s \in S} p_s \left(\xi'_s - \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} \right)^2 \quad (4.25)$$

λ değeri arttığında sonuç verilerdeki değişikliklere daha az hassas olmaktadır. Fakat kısıt

$$(4.25), \quad \sum_{s \in S} p_s \left(\xi'_s - \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} \right)^2 \text{ terimini içerdiği için quadratik forma dönüşür ve çözümü}$$

zorlaşır. Bu yüzden Yu ve Li (2000), $\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_S)$ için kısıt (4.25) yerine aşağıdaki formu önermişlerdir:

$$\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_S) = \sum_{s \in S} p_s \xi'_s + \lambda \sum_{s \in S} p_s \left| \xi'_s - \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_s \right| \quad (4.26)$$

Bu kısıt doğrusal olmamasına rağmen, iki non-negatif sapma değişkeni ekleyerek amaç fonksiyonu doğrusal modele dönüştürülebilir. Mutlak değeri minimize etmek yerine, iki ilave değişken, orijinal kısıtlar ile mutlak değerin içini pozitif yapan yeni eklenecek olan kısıda göre minimize edilebilir. $\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_S)$ değerini etkin bir biçimde minimize etmek için, Leung vd. (2007) tarafından bildirildiğine göre Yu ve Li hedef programlama problemlerinin çözümünde kullanılan bir tekniği öne sürmüşlerdir (Leung vd., 2007).

Lai vd., 2007 tarafından bildirildiğine göre Yu ve Li ortalama mutlak sapma terimleri içeren RP için çözüm kolaylığı sağlayacak aşağıdaki teoremleri geliştirmişlerdir.

Teorem 4.1 Hedef programlama

$$\text{Min } Z = |f(X) - g| \quad (4.27)$$

ş.k.g

$$X \in F \quad (4.28)$$

Burada F fizibil kümeyi ifade etmektedir ve aşağıdaki şekilde doğrusal hale getirilir:

$$\text{Min } Z = f(X) - g + 2\delta \quad (4.29)$$

ş.k.g

$$g - f(X) - \delta \leq 0 \quad (4.30)$$

$$\delta \geq 0 \quad (4.31)$$

İspat: Eklenen yeni değişken δ , pozitif değer almaktadır. Amaç fonksiyonu bu değeri minimum değeri alması için zorlamaktadır. Ayrıca ilgili kısıtlardan $\delta \geq g - f(X)$ ve $\delta \geq 0$ ifadesi ortaya çıkmaktadır. Diğer bir deyişle olası minimum değer $\delta = \min\{g - f(X), 0\}$ dır.

Eğer $f(X) - g \geq 0$ ise kısıt $g - f(X) - \delta \leq 0$, her $\delta \geq 0$ değeri için tatmin edilmiş olur. Böylece δ , pozitif minimum değeri alması için zorlamaktadır. Mesela $\delta = 0$ ise $Z' = Z$ olur. diğer bir yandan $f(X) - g < 0$ ise en düşük minimum δ değeri $g - f(X)$ olur ve böylece $Z' = g - f(X) = Z$ olur ve böylelikle formülasyon (4.27)-(4.28) ve (4.29)-(4.31) birbirine eşdeğer olur (Lai vd., 2007).

Leung vd. (2007) tarafından bildirildiğine göre Yu ve Li' nin modelinin yapısı aşağıdaki amaç fonksiyonunu minimize etmektir.

$$\text{Min } Z = \sum_{s \in S} p_s \xi'_s + \lambda \sum_{s \in S} p_s \left[\left(\xi'_s - \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} \right) + 2\theta_s \right] \quad (4.32)$$

ş.k.g

$$\xi'_s - \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} + \theta_s \geq 0 \quad (4.33)$$

$$\theta_s \geq 0 \quad (4.34)$$

Eğer $\xi'_s - \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} \geq 0$ ise $\theta_s = 0$ ve $Z = \sum_{s \in S} p_s \xi'_s + \lambda \sum_{s \in S} p_s \left[\left(\xi'_s - \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} \right) \right]$ olur.

Diğer bir yandan

eğer $\xi'_s - \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} < 0$ ise $\theta_s = \sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} - \xi'_s$ ve $Z = \sum_{s \in S} p_s \xi'_s + \lambda \sum_{s \in S} p_s \left[\left(\sum_{s' \in S} p_{s'} \xi'_{s'} - \xi'_s \right) \right]$ olur.

Burada quadratik form olan kısıt (4.25)'in mutlak değer formu olan kısıt (4.26)'e nasıl dönüştürüldüğü ve bununda (4.32)-(4.34) arası nasıl doğrusal forma dönüştürüldüğü ifade edilmiştir (Leung vd., 2007).

5. TERS LOJİSTİK AĞ TASARIMI İÇİN ÖNERİLEN MODELİN TANIMI VE FORMÜLASYONU

5.1 Çalışmada İncelenen Durumlar

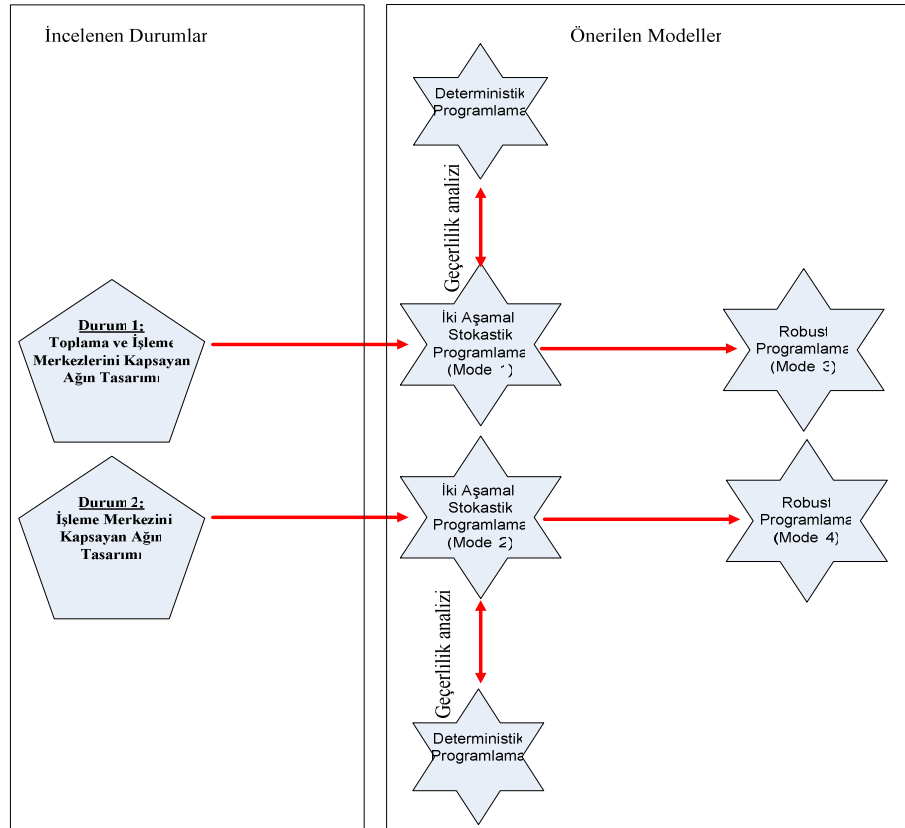
Bu bölümde, yapılan uygulama detaylı biçimde anlatılmaktadır. Çalışma, farklı durumları incelemiştir. Bu durumlar:

- **Durum 1:** Müşterilerden toplanan ürünlerin toplama merkezine (TM) getirilmesi ya da bazı ürünlerin doğrudan işleme merkezine (İM) gönderilmesini kapsayan ağın tasarımı
- **Durum 2:** Müşterilerden toplanan ürünlerin İM'ye getirilmesini kapsayan ağın tasarımıdır

Bu durumlar için farklı modeller önerilmiştir. Önerilen modeller Şekil 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1 ise bu modelleri detaylandırmaktadır. Bu modeller:

- **Model 1:** Durum 1'in İki Aşamalı Stokastik Programlama (İASP) ile tasarımı
- **Model 2:** Durum 2'in İki Aşamalı Stokastik Programlama (İASP) ile tasarımı
- **Model 3:** Durum 1'in Robust Programlama (RP) ile tasarımı
- **Model 4:** Durum 1'in Robust Programlama (RP) ile tasarımı



Şekil 5.1 İncelenen durumlar ve önerilen modeller

Çizelge 5.1 Model detayları

		Modellerin tanımı	Çıktılar
Durum 1	Deterministik	<u>Amaç fonk:</u> Kazanç eksi maliyet maksimizasyonu <u>Kısıtlar:</u> 1-Girdi-çıktı dengesi 2-Max-min kapasite 3-Talep tatmini 4- Max-min adet 5-Tüm ürünün sisteme dahil olması	1- Toplama ve İşleme merkezlerin açılıp açılmama kararları 2- Düğümmler arası taşınan miktarlar
	Stokastik	<u>Amaç fonk:</u> İkinci aşama değişkenlerinden elde edilen kazanç eksi maliyetlerinin beklenen değeri eksi birinci aşama değişkenlerinin maliyetlerinin maksimizasyonu <u>Kısıtlar:</u> 1-Senaryo bazında girdi-çıktı dengesi 2-Max-min kapasite 3- Senaryo bazında talep tatmini 4- Max-min adet 5- Senaryo bazında tüm ürünün sisteme dahil olması	1- Toplama ve İşleme merkezlerin açılıp açılmama kararları 2- Senaryo bazında düğümler arası taşınan miktarlar
	Robust	<u>Amaç fonk:</u> Sapma ve tatminsizlik miktarları minimizasyonu <u>Kısıtlar:</u> 1-Senaryo bazında girdi -çıktı dengesi 2-Max-min kapasite 3-Senaryo bazında talep tatmini 4-Max-min adet 5-Senaryo bazında tüm ürünün sisteme dahil olması 6-Sapma miktarı dengelenmesi	1- Toplama ve İşleme merkezlerin açılıp açılmama kararları 2- Senaryo bazında düğümler arası taşınan miktarlar 3- Senaryo bazında sapma ve tatminsizlik miktarları
Durum 2	Deterministik	<u>Amaç fonk:</u> Kazanç eksi maliyet maksimizasyonu <u>Kısıtlar:</u> 1-Girdi-çıktı dengesi 2-Max-min kapasite 3-Talep tatmini 4- Max-min adet 5-Tüm ürünün sisteme dahil olması	1- İşleme merkezinin açılıp açılmama kararları 2- Düğümmler arası taşınan miktarlar
	Stokastik	<u>Amaç fonk:</u> İkinci aşama değişkenlerinden elde edilen kazanç eksi maliyetlerinin beklenen değeri eksi birinci aşama değişkenlerinin maliyetlerinin maksimizasyonu <u>Kısıtlar:</u> 1-Senaryo bazında girdi-çıktı dengesi 2-Max-min kapasite 3- Senaryo bazında talep tatmini 4- Max-min adet 5- Senaryo bazında tüm ürünün sisteme dahil olması	1- İşleme merkezinin açılıp açılmama kararları 2- Senaryo bazında düğümler arası taşınan miktarlar
	Robust	<u>Amaç fonk:</u> Sapma ve tatminsizlik miktarları minimizasyonu <u>Kısıtlar:</u> 1-Senaryo bazında girdi -çıktı dengesi 2-Max-min kapasite 3-Senaryo bazında talep tatmini 4-Max-min adet 5-Senaryo bazında tüm ürünün sisteme dahil olması 6-Sapma miktarı dengelenmesi	1- İşleme merkezinin açılıp açılmama kararları 2- Senaryo bazında düğümler arası taşınan miktarlar 3- Senaryo bazında sapma ve tatminsizlik miktarları

5.2 Atık Kağıt Ters Lojistik Sisteminin Özellikleri

Çalışmada, belirlenmek istenen iki adet merkez bulunmaktadır. Bunlar, TM ve İM'dir.

- **Toplama Merkezi:** Müşterilerden toplanan ürünler TM'ye getirilir. Burada karışık olarak gelmiş atık kağıtlar ayrıştırılır, İM'ye gönderilmek üzere preslenir ve balyalanır. TM'de ürünler ayrıştırılırken, belirli bir orandaki kötü durumda olan atıkların ayrıştırılması iki katı zaman almaktadır. Bu tip ürünler, toplanan ürünlerin belirli bir yüzdesini oluşturmaktadır. Bu tip ürünler için model, ürünlerin atık merkezine gönderilmesi ya da daha fazla bir maliyetle ayrıştırılması kararını verir.
- **İşleme Merkezi:** Müşterilerden toplanan bazı ürünler, doğrudan İM'ye getirilebilir. TM'ye uğramadan İM'ye gelen ürünler de aynı şekilde sınıflandırılmakta, belirli bir orandaki kötü durumda olanların ayrıştırılması daha uzun sürmekte, ya atık merkezine gönderilmesi ya da daha fazla bir maliyetle ayrıştırılması kararı verilmektedir. TM'nin sadece ayrıştırma özelliği varken, İM; ayrıştırma, geri dönüşümden hammadde elde etme ve geri dönüşümden elde edilmiş, ya da yeni hammadde ile yeni ürün üretme özelliklerine sahiptir. Burada talebi karşılamak için ya toplanmış ürünlerden geri dönüşüm yapılarak hammadde elde edilir ve bu hammaddeler yeni ürün için kullanılır, ya da sıfırdan yeni ürün üretilir. Üretilen ürünler talepler doğrultusunda müşteriye yollarır.

Bu çalışmada bazı kabuller yapılmıştır. Yapılan kabuller:

- 1- Ağ; müşteriler, İM, TM, ve atık merkezilerinden (AM) oluşmaktadır. Müşterilerin ve AM'lerin yerleri sabittir. Model İM ve TM'ler için alternatif yerleri değerlendirerek en uygununu, karı maksimize etmeye çalışarak bulmayı hedeflemektedir.
- 2-Model, açılacak İM ve TM için alt ve üst sınırlar koymaktadır. Bunlar TM için en az bir en çok üç iken, İM için ise tek merkez açılmasına izin vermektedir.
- 3- Müşteriden toplanan ürün miktarları ve müşteri talebinin belirsiz olduğu varsayılmış ve bu iki parametrenin normal dağılıma uyduğu varsayılarak senaryolar üretilmiştir.
- 4- Ürünler ayrıştırılırken belirli bir orandaki kötü durumda olan atıkların ayrıştırılması iki katı zaman almaktadır. Bu yüzden bu tip ürünlerin ayrıştırma maliyeti normal ürünlerin ayrıştırılma maliyetinden iki kat fazla olduğu varsayılmıştır. Ayrıca bu tip ürünler, toplanan ürünlerin belirli bir yüzdesini oluşturmaktadır ve bu yüzdenin önceden bilindiği varsayılmaktadır.
- 5- Müşterideki mevcut atıkların hepsinin toplanma zorunluluğu yoktur. Toplanmayan ürün

miktarının müşteride bulunan mevcut atıkların belirli bir yüzdesinden az olması gerektiği ve bu oranın önceden bilindiği varsayılmıştır. Bunun yanında, toplanmayan ürünler için ceza maliyeti modele dahil edilmiştir.

6- Taşıma maliyetleri ton ve km başına belirlenmiş, toplam taşıma maliyetleri ise bu taşıma maliyetleri ile iki birim arasındaki uzaklığın çarpılması ile elde edilmiştir. İki birim arasındaki karayolu uzaklıkları kuş uçuşu mesafesi kullanılarak hesaplanmıştır.

7- Oluşturulan tüm senaryoların olasılıkları, herhangi bir senaryoya fazla ağırlık vermemek için eşit alınmıştır.

8- Kullanılmış ürünlerin toplandığı müşteri adedi ile yeni üretilmiş ürünlerin satıldığı müşteri adedi aynı değildir. 50 adet müşteriden kullanılmış ürün toplanırken, 30 adet müşteriye yeni ürün satılmaktadır.

9- İM'deki kapasite kullanımı, yeni hammaddeden üretilen ürün ile geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünlere tahsis edilmiştir. Geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünler için tahsis edilmiş maksimum kapasite oranının önceden belirlendiği varsayılmaktadır.

10- Yeni hammaddeden üretilen ürün ile geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünlerin satış fiyatı aynıdır.

5.3 MODEL 1'in yapısı

Bu bölümde toplama ve işleme merkezlerini kapsayan ağın tasarımı İki Aşamalı Stokastik Programlama ile yapılmıştır.

5.3.1 Modelin Bileşenleri

Bu bölümde, modelin değişkenleri ve parametreleri tanımlanmıştır. Çizelge 5.2 modelin indislerini, Çizelge 5.3 modelin parametrelerini, Çizelge 5.4 modelin değişkenlerini tanımlamaktadır.

Çizelge 5.2 Modelin indisleri

Kümeler	
$i = \text{Müşteri}$	$i = 1, 2, \dots, n$
$j = \text{Toplama Merkezi}$	$j = 1, 2, \dots, p$
$k = \text{İşleme Merkezi}$	$k = 1, 2, \dots, q$
$s = \text{Senaryo}$	$s = 1, 2, \dots, z$

Çizelge 5.3 Modelin parametreleri

Parametreler
a_{is} = i müşterisinden s senaryosunda toplanabilecek ürün miktarı
$Bmin$ = TM'lerin minimum kapasitesi
$Bmax_j$ = j 'deki TM'nin maksimum kapasitesi
$Fmin$ = İM'lerin minimum kapasitesi
$Fmax_k$ = k 'daki İM'nin maksimum kapasitesi
L_{max} = TM adedi için üst sınır
J_{max} = İM adedi için üst sınır
L_{min} = TM adedi için alt sınır
J_{min} = İM adedi için alt sınır
d_{is} = i müşterisinin s senaryosundaki talebi
C_j = j 'deki TM'nin kurulum maliyeti
G_k = k 'daki İM'nin kurulum maliyeti
K^1 = Müşteri ile İM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^2 = İM ile müşteri arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^3 = İM ile AM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^4 = Müşteri ile TM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^5 = TM ile İM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^6 = TM ile AM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
P = Müşteriden ürün toplanma maliyeti
N = Müşteriden toplanmayan ürünler için ceza maliyeti
S^1 = İM'deki ayrıştırma maliyeti
S^2 = İM'deki kötü durumda olan ürünlerin ayrıştırma maliyeti
S^3 = TM'deki ayrıştırma maliyeti
S^4 = TM'deki kötü durumda olan ürünlerin ayrıştırma maliyeti
Vf = Yeni hammaddeden üretilen ürün maliyeti
Vr = Geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürün maliyeti
q_{ik}^1 = i 'deki müşteriden k 'daki İM'ye olan mesafe
q_k^2 = k 'daki İM'den AM'ye olan mesafe
q_{ij}^3 = i 'deki müşteriden j 'deki TM'ye olan mesafe
q_{jk}^4 = j 'deki TM'den k 'daki İM'ye olan mesafe
q_j^5 = j 'deki TM'den AM'ye olan mesafe
β = Müşteriden toplanmayan maksimum ürün yüzdesi
β_1 = İM'ye gelen kötü durumdaki ürün yüzdesi
β_2 = TM'ye gelen kötü durumdaki ürün yüzdesi
Pr = Üretilmiş ürünlerin satış fiyatı

Çizelge 5.3 Modelin parametreleri-devamı

$\alpha =$ İM’de geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünlere atanmış kapasiteyi sınırlandıran oran
$V =$ Büyük bir sayı
$p_s = s$ senaryosunun olasılığı

Çizelge 5.4 Modelin değişkenleri

Değişkenler

$x_j = 1$ Eğer j ’deki TM açılırsa, 0 diğer durumda
$y_k = 1$ Eğer k ’daki İM açılırsa, 0 diğer durumda
$e_k = 1$ Eğer k ’daki İM’nin ayrıştırma özelliği varsa, 0 diğer durumda
$o_{is} = s$ senaryosunda i ’deki müşteriden toplanmayan ürün miktarı
$w_{ijs} = s$ senaryosunda i ’deki müşteriden j ’deki TM’ye giden ürün miktarı
$zr_{kis} = s$ senaryosunda k ’daki İM’den i müşterisine giden yeni hammaddeden üretilen ürün miktarı
$zf_{kis} = s$ senaryosunda k ’daki İM’den i müşterisine giden geri dönüşümden elde edilen hammaddeden üretilen ürün miktarı
$h_{iks} = s$ senaryosunda i ’deki müşteriden k ’daki İM’ye giden ürün miktarı
$u_{jks} = s$ senaryosunda j ’deki TM’den k ’daki İM’ye giden ürün miktarı
$\bar{f}f_{js}^1 = s$ senaryosunda j ’deki TM’den AM’ye giden atık miktarı
$\bar{f}f_{js}^2 = s$ senaryosunda j ’deki TM’de kötü durumda olan ve daha fazla maliyetle ayrıştırılan ürün miktarı
$\bar{f}k_{ks}^1 = s$ senaryosunda k ’daki İM’den AM’ye giden atık miktarı
$\bar{f}k_{ks}^2 = s$ senaryosunda k ’daki İM’de kötü durumda olan ve daha fazla maliyetle ayrıştırılan ürün miktarı

5.3.2 Önerilen Model

Önerilen model ve açıklaması aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
& maks \sum_{s=1}^z p_s * \left[\sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n \text{Pr} * (zr_{kis} + zf_{kis}) - \sum_{i=1}^n N * o_{is} - \right. \\
& \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q K^1 * q_{ik}^1 * h_{iks} - \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n K^2 * q_{ik}^1 * (zr_{kis} + zf_{kis}) - \sum_{k=1}^q K^3 * q_k^2 * \bar{f}k_{ks}^1 - \\
& \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p K^4 * q_{ij}^3 * w_{ijs} - \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q K^5 * q_{jk}^4 * u_{jks} - \sum_{j=1}^p K^6 * q_j^5 * \bar{f}f_{js}^1 - \\
& \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q P * (w_{ijs} + h_{iks}) - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q S^1 * (h_{iks} - \bar{f}k_{ks}^2) - \sum_{k=1}^q S^2 * \bar{f}k_{ks}^2 - \\
& \left. \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p S^3 * (w_{ijs} - \bar{f}f_{js}^2) - \sum_{j=1}^p S^4 * \bar{f}f_{js}^2 - \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Vr * zf_{kis} - \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Vf * zr_{kis} \right] \\
& - \sum_{j=1}^p C_j * x_j - \sum_{k=1}^q G_k * y_k
\end{aligned} \tag{5.1}$$

ş.k.g

$$y_k \geq e_k \quad \forall \quad k \quad (5.2)$$

$$h_{iks} \leq V^* e_k \quad \forall \quad i, k, s \quad (5.3)$$

$$o_{is} \leq \beta^* a_{is} \quad \forall \quad i, s \quad (5.4)$$

$$\sum_{j=1}^p w_{ijs} + \sum_{k=1}^q h_{iks} + o_{is} = a_{is} \quad \forall \quad i, s \quad (5.5)$$

$$\sum_{k=1}^q h_{iks} \leq \sum_{j=1}^p w_{ijs} \quad \forall \quad i, s \quad (5.6)$$

$$\sum_{k=1}^q u_{jks} = \sum_{i=1}^n w_{ijs} - ff_{js}^1 \quad \forall \quad j, s \quad (5.7)$$

$$ff_{js}^2 + ff_{js}^1 = \sum_{i=1}^n \beta_2^* w_{ijs} \quad \forall \quad j, s \quad (5.8)$$

$$\sum_{i=1}^n zf_{kis} = \sum_{j=1}^p u_{jks} + \sum_{i=1}^n h_{iks} - fk_{ks}^1 \quad \forall \quad k, s \quad (5.9)$$

$$fk_{ks}^2 + fk_{ks}^1 = \sum_{i=1}^n \beta_1^* h_{iks} \quad \forall \quad k, s \quad (5.10)$$

$$\sum_{k=1}^q (zr_{kis} + zf_{kis}) \leq d_{is} \quad \forall \quad i, s \quad (5.11)$$

$$\sum_{i=1}^n w_{ijs} \leq x_j^* Bmax_j \quad \forall \quad j, s \quad (5.12)$$

$$\sum_{i=1}^n w_{ijs} \geq x_j^* Bmin \quad \forall \quad j, s \quad (5.13)$$

$$\sum_{i=1}^n (zr_{kis} + zf_{kis}) \leq y_k^* Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.14)$$

$$\sum_{i=1}^n (zr_{kis} + zf_{kis}) \geq y_k^* Fmin \quad \forall \quad k, s \quad (5.15)$$

$$\sum_{i=1}^n zf_{kis} \leq \alpha^* Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.16)$$

$$\sum_{i=1}^n zr_{kis} \leq (1 - \alpha)^* Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.17)$$

$$L_{\min} \leq \sum_{j=1}^p x_j \quad (5.18)$$

$$L_{\max} \geq \sum_{j=1}^p x_j \quad (5.19)$$

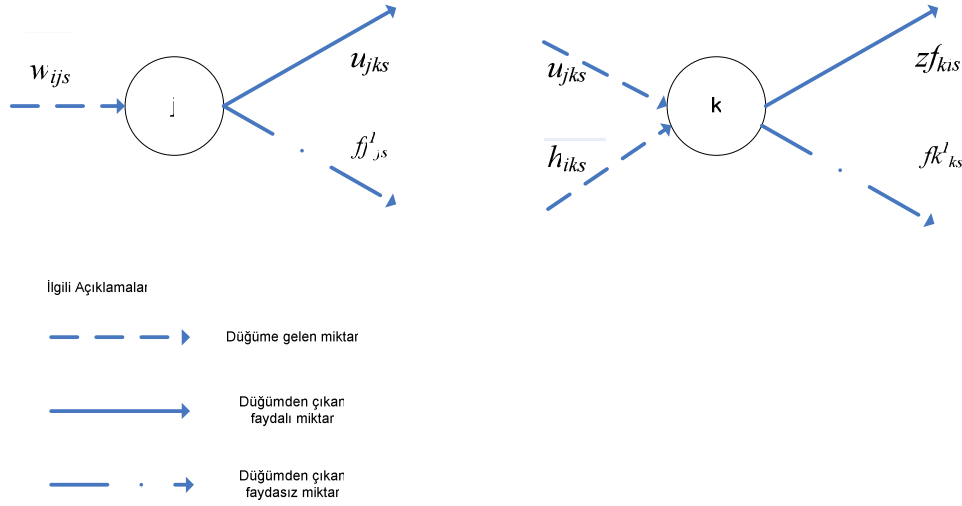
$$J_{\min} \leq \sum_{k=1}^q y_k \quad (5.20)$$

$$J_{\max} \geq \sum_{k=1}^q y_k \quad (5.21)$$

$$0 \leq o_{is}, w_{ijs}, zr_{kis}, zf_{kis}, u_{jks}, h_{iks}, ff_{js}^1, ff_{js}^2, fk_{ks}^1, fk_{ks}^2 \quad x_j, y_k, e_k \in \{0,1\} \quad (5.22)$$

Modelin açıklaması şu şekildedir: Amaç fonksiyonu (5.1)'in, ilk terimi ürünlerden elde edilen kazancı ifade etmektedir. İkinci terim müşteriden toplanmayan ürünler için ceza maliyetini, üçüncü terim müşteriden İM'ye olan taşıma maliyetini, dördüncü terim İM'den müşteriye olan taşıma maliyetini, beşinci terim İM'den AM'ye olan taşıma maliyetini, altıncı terim müşteriden TM'ye olan taşıma maliyetini, yedinci terim TM'den İM'ye olan taşıma maliyetini, sekizinci terim TM'den AM'ye olan taşıma maliyetini, dokuzuncu terim müşterilerden kullanılmış ürünlerin toplanma maliyetini, onuncu ve on birinci terimler İM'deki on ikinci ve on üçüncü terimler ise TM'deki ayrıştırma maliyetini on dördüncü ve on beşinci terimler ürünlerin İM'de işlenmesi maliyetini, ve son iki terim de TM'deki ve İM'deki kurulum maliyetlerini ifade etmektedir. Kısıt (5.2), sadece açılmış olan bir İM'nin aynı zamanda ayrıştırma özelliğine sahip olabileceğini garanti etmektedir. Kısıt (5.3), tüm müşteriden İM'ye giden ürünlerin ayrıştırma işlemine tabi tutulacağını garanti etmektedir. Kısıt (5.4), müşteriden toplanmayan ürün oranının belirli bir miktarı aşamayacağını garanti etmektedir. Kısıt (5.5), tüm müşteriden toplanan ürünlerin TM ve İM'ye getirileceğini garanti etmektedir. Kısıt (5.6), İM'ye göre TM'ye daha fazla ürün gönderilmesini garanti etmektedir. Kısıt (5.7), TM'den çıkan miktarın giren miktarı aşamayacağını garanti etmektedir. Kısıt (5.8), TM'deki kötü durumda olan ürünlerin bertaraf edilmesini ya da daha fazla maliyetle ayrıştırılmasını garanti etmektedir. Kısıt (5.9), İM'deki girdi çıktı dengesini ifade etmektedir. Kısıt (5.10), İM'deki kötü durumda olan ürünlerin bertaraf edilmesini ya da daha fazla maliyetle ayrıştırılmasını garanti etmektedir. Kısıt (5.11), talep tatmini kısıtıdır. Kısıt (5.12) ve Kısıt (5.13) sırasıyla, TM için minimum ve maksimum kapasite kısıtlarıdır. Kısıt (5.14) ve Kısıt (5.15) sırasıyla, İM için minimum ve maksimum kapasite kısıtlarıdır. Kısıt (5.16), İM kapasitesinin ne kadarının geri dönüşümden elde edilen hammadde ile üretilen ürünlere, Kısıt (5.17), İM kapasitesinin ne kadarının yeni hammadde ile üretilen ürünlere ayrılacağını

belirlemektedir. Kısıt (5.18) ve Kısıt (5.19) sırasıyla, açılacak TM adedi için alt ve üst sınırları belirtirken iken Kısıt (5.20) ve Kısıt (5.21) sırasıyla, açılacak İM adedi için alt ve üst sınırları belirtmektedir. Son kısıt değişkenlerin özelliklerini göstermektedir. Kısıt (5.7) ve (5.9)'da bahsedilen girdi-çıktı dengesi Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Girdi-çıktı dengesi

5.4 MODEL 2'nin yapısı

Bu bölümde işleme merkezlerini kapsayan ağın tasarımı İki Aşamalı Stokastik Programlama ile yapılmıştır. Çizelge 5.5 modelin indislerini, Çizelge 5.6 modelin parametrelerini, Çizelge 5.7 modelin değişkenlerini tanımlamaktadır.

Çizelge 5.5 Modelin indisleri

Kümeler	
$i = \text{Müşteri}$	$i = 1, 2, \dots, n$
$k = \text{İşleme Merkezi}$	$k = 1, 2, \dots, q$
$s = \text{Senaryo}$	$s = 1, 2, \dots, z$

Çizelge 5.6 Modelin parametreleri

Parametreler

$a_{is} = i$ müşterisinden s senaryosunda toplanılabilecek ürün miktarı
$F_{min} = \text{İM'nin minimum kapasitesi}$
$F_{max_k} = k$ 'daki İM'nin maksimum kapasitesi
$J_{max} = \text{İM adedi için üst sınır}$
$J_{min} = \text{İM adedi için alt sınır}$

Çizelge 5.6 Modelin parametreleri-devamı

d_{is}	i müşterisinin s senaryosundaki talebi
G_k	k 'daki İM'nin kurulum maliyeti
K^1	Müşteri ile İM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^2	İM ile müşteri arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
K^3	İM ile AM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti
P	Müşteriden ürün toplanma maliyeti
N	Müşteriden toplanmayan ürünler için ceza maliyeti
S^1	İM'deki ayrıştırma maliyeti
S^2	İM'deki kötü durumda olan ürünlerin ayrıştırma maliyeti
Vf	Yeni hammaddeden üretilen ürün maliyeti
Vr	Geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürün maliyeti
q_{ik}^1	i 'deki müşteriden k 'daki İM'ye olan mesafe
q_k^2	k 'daki İM'den AM'ye olan mesafe
β	Müşteriden toplanmayan maksimum ürün yüzdesi
β_1	İM'ye gelen kötü durumdaki ürün yüzdesi
α	İM'de geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünlere atanmış kapasiteyi sınırlandıran oran
Pr	Üretilmiş ürünlerin satış fiyatı
p_s	s senaryosunun olasılığı
V	Büyük bir sayı

Çizelge 5.7 Modelin değişkenleri

Değişkenler
$y_k=1$ Eğer k 'daki İM açılırsa 0 diğer durumda
$o_{is}=s$ senaryosunda i 'deki müşteriden toplanmayan ürün miktarı
$zr_{kis}=s$ senaryosunda k 'daki İM'den i 'deki müşteriye giden yeni hammaddeden üretilen ürün miktarı
$zf_{kis}=s$ senaryosunda k 'daki İM'den i 'deki müşteriye giden geri dönüşümden elde edilen hammaddeden üretilen ürün miktarı
$h_{iks}=s$ senaryosunda i 'deki müşteriden k 'daki İM'ye giden ürün miktarı
$fk_{ks}^1=s$ senaryosunda k 'daki İM'den AM'ye giden atık miktarı
$fk_{ks}^2=s$ senaryosunda k 'daki İM'de kötü durumda olan ve daha fazla maliyetle ayrıştırılan ürün miktarı

Önerilen model ve açıklaması aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
& maks \sum_{s=1}^z p_s * \left[\sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Pr^*(zr_{kis} + zf_{kis}) - \sum_{i=1}^n N^* o_{is} - \right. \\
& \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q K^1 * q_{ik}^1 * h_{iks} - \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n K^2 * q_{ik}^1 * (zr_{kis} + zf_{kis}) - \sum_{k=1}^q K^3 * q_k^2 * fk_{ks}^1 - \\
& \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q P * h_{iks} - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q S^1 * (h_{iks} - fk_{ks}^2) - \\
& \left. \sum_{k=1}^q S^2 * fk_{ks}^2 - \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Vr^* zf_{kis} - \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Vf^* zr_{kis} \right] - \sum_{k=1}^q G_k * y_k \quad (5.23)
\end{aligned}$$

ş.k.g

$$o_{is} \leq \beta^* a_{is} \quad \forall \quad i, s \quad (5.24)$$

$$\sum_{k=1}^q h_{iks} + o_{is} = a_{is} \quad \forall \quad i, s \quad (5.25)$$

$$\sum_{i=1}^n zf_{kis} = \sum_{i=1}^n h_{iks} - fk_{ks}^1 \quad \forall \quad k, s \quad (5.26)$$

$$fk_{ks}^2 + fk_{ks}^1 = \sum_{i=1}^n \beta_1^* h_{iks} \quad \forall \quad k, s \quad (5.27)$$

$$\sum_{k=1}^q (zr_{kis} + zf_{kis}) \leq d_{is} \quad \forall \quad i, s \quad (5.28)$$

$$\sum_{i=1}^n (zr_{kis} + zf_{kis}) \leq y_k * Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.29)$$

$$\sum_{i=1}^n (zr_{kis} + zf_{kis}) \geq y_k * Fmin \quad \forall \quad k, s \quad (5.30)$$

$$\sum_{i=1}^n zf_{kis} \leq \alpha^* Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.31)$$

$$\sum_{i=1}^n zr_{kis} \leq (1 - \alpha)^* Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.32)$$

$$J_{\min} \leq \sum_{k=1}^q y_k \quad (5.33)$$

$$J_{\max} \geq \sum_{k=1}^q y_k \quad (5.34)$$

$$0 \leq o_{is}, zr_{kis}, zf_{kis}, h_{iks}, fk_{ks}^1, fk_{ks}^2 \quad y_k \in \{0,1\} \quad (5.35)$$

Modelin açıklaması şu şekildedir: Amaç fonksiyonu (5.23)'ün, ilk terimi ürünlerden elde

edilen kazancı ifade etmektedir. İkinci terim müşteriden toplanmayan ürünler için ceza maliyetini, üçüncü terim müşteriden İM'ye olan taşıma maliyetini, dördüncü terim İM'den müşteriye olan taşıma maliyetini, beşinci terim İM'den AM'ye olan taşıma maliyetini, altıncı terim müşterilerden kullanılmış ürünlerin toplanma maliyetini, yedinci ve sekizinci terimler İM'deki ayrıştırma maliyetini, dokuzuncu ve onuncu terimler ürünlerin İM'de işlenmesi maliyetini ve son terimde İM'deki kurulum maliyetini ifade etmektedir. Kısıt (5.24), müşteriden toplanmayan ürün oranının belirli bir miktarı aşamayacağını garanti etmektedir. Kısıt (5.25), tüm müşteriden toplanan ürünlerin İM'ye getirileceğini garanti etmektedir. Kısıt (5.26), İM'deki girdi çıktı dengesini ifade etmektedir. Kısıt (5.27), İM'deki kötü durumda olan ürünlerin bertaraf edilmesini ya da daha fazla maliyetle ayrıştırılmasını garanti etmektedir. Kısıt (5.28), talep tatmini kısıtıdır. Kısıt (5.29) ve Kısıt (5.30) sırasıyla, İM için minimum ve maksimum kapasite kısıtlarıdır. Kısıt (5.31), İM kapasitesinin ne kadarının geri dönüşümden elde edilen hammadde ile üretilen ürünlere, Kısıt (5.32), İM kapasitesinin ne kadarının yeni hammadde ile üretilen ürünlere ayrılacağını belirlemektedir. Kısıt (5.33) ve Kısıt (5.34) sırasıyla, açılacak İM adedi için alt ve üst sınırlardır. Son kısıt değişkenlerin özelliklerini göstermektedir.

5.5 MODEL 3'ün yapısı

Bu bölümde toplama ve işleme merkezlerini kapsayan ağın tasarımı Robust Programlama ile yapılmıştır. Çizelge 5.8 gerekli ilave parametre ve değişkenleri göstermektedir. Modeli basitçe ifade edebilmek için amaç fonksiyonundaki maliyetler ve kazanç için bazı dönüşümler yapılmıştır.

Çizelge 5.8 İlave parametre ve değişkenler

Parametreler
λ =Amaç fonk. beklenen değeri ile sapması arasındaki risk dengeleme faktörü
ω' = Tatmin edilemeyen kısıtlar için ceza ağırlıkları
Değişkenler
θ_s = Amaç fonk. beklenen değerinin s senaryosundaki sapma miktarı
δ_{is}^1 = s senaryosunda i 'deki müşteriden toplanan ürün miktarı için tatminsizlik miktarı
δ_{is}^2 = s senaryosunda i 'deki müşteri talebi için tatminsizlik miktarı

$$K \text{ (Kazanç)} = \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n \text{Pr}^* (zr_{kis} + zf_{kis}) \quad (5.36)$$

$$CM \text{ (Ceza maliyeti)} = \sum_{i=1}^n N^* o_{is} \quad (5.37)$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q K^1 * q_{ik}^1 * h_{iks} + \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n K^2 * q_{ik}^1 * (zr_{kis} + zf_{kis}) + \\
\text{TAM (Taşıma maliyeti)} &= \sum_{k=1}^q K^3 * q_k^2 * fk_{ks}^1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p K^4 * q_{ij}^3 * w_{ijs} + \\
& \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q K^5 * q_{jk}^4 * u_{jks} + \sum_{j=1}^p K^6 * q_j^5 * ff_{js}^1
\end{aligned} \tag{5.38}$$

$$\text{TOM (Toplama maliyeti)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q P * (w_{ijs} + h_{iks}) \tag{5.39}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q S^1 * (h_{iks} - fk_{ks}^2) + \sum_{k=1}^q S^2 * fk_{ks}^2 + \\
\text{AYM (Ayrıştırma maliyeti)} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p S^3 * (w_{ijs} - ff_{js}^2) + \sum_{j=1}^p S^4 * ff_{js}^2
\end{aligned} \tag{5.40}$$

$$\text{İSM (İşleme maliyeti)} = \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Vr * zf_{kis} + \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Vf * zr_{kis} \tag{5.41}$$

$$\text{KM (Kuruluş maliyeti)} = \sum_{j=1}^p C_j * x_j + \sum_{k=1}^q G_k * y_k \tag{5.42}$$

Önerilen model aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
& maks \sum_{s=1}^z p_s (K_s - CM_s - TAM_s - TOM_s - AYM_s - İSM_s - KM) \\
& - \lambda \sum_{s'=1}^z p_{s'} \left[\sum_{s=1}^z pro_{s'} (K_{s'} - CM_{s'} - TAM_{s'} - TOM_{s'} - AYM_{s'} - İSM_{s'} - KM) + 2\theta_s \right] \\
& - \omega' \sum_{s=1}^z \sum_{i=1}^n p_s * \delta_{is}^1 - \omega' \sum_{s=1}^z \sum_{i=1}^n p_s * \delta_{is}^2
\end{aligned} \tag{5.43}$$

ş.k.g

$$\sum_{j=1}^p w_{ijs} + \sum_{k=1}^q h_{iks} + o_{is} + \delta_{is}^1 = a_{is} \quad \forall \quad i, s \tag{5.44}$$

$$o_{is} \leq \beta * (a_{is} - \delta_{is}^1) \quad \forall \quad i, s \tag{5.45}$$

$$\sum_{k=1}^q (zr_{kis} + zf_{kis}) + \delta_{is}^2 \leq d_{is} \quad \forall \quad i, s \tag{5.46}$$

$$y_k \geq e_k \quad \forall \quad k \tag{5.47}$$

$$h_{iks} \leq V * e_k \quad \forall \quad i, k, s \tag{5.48}$$

$$\sum_{k=1}^q h_{iks} \leq \sum_{j=1}^p w_{ijs} \quad \forall \quad i, s \quad (5.49)$$

$$\sum_{k=1}^q u_{jks} = \sum_{i=1}^n w_{ijs} - ff_{js}^1 \quad \forall \quad j, s \quad (5.50)$$

$$ff_{js}^2 + ff_{js}^1 = \sum_{i=1}^n \beta_2 * w_{ijs} \quad \forall \quad j, s \quad (4.51)$$

$$\sum_{i=1}^n zf_{kis} = \sum_{j=1}^p u_{jks} + \sum_{i=1}^n h_{iks} - fk_{ks}^1 \quad \forall \quad k, s \quad (5.52)$$

$$fk_{ks}^2 + fk_{ks}^1 = \sum_{i=1}^n \beta_1 * h_{iks} \quad \forall \quad k, s \quad (5.53)$$

$$\sum_{i=1}^n w_{ijs} \leq x_j * Bmax_j \quad \forall \quad j, s \quad (5.54)$$

$$\sum_{i=1}^n w_{ijs} \geq x_j * Bmin \quad \forall \quad j, s \quad (5.55)$$

$$\sum_{i=1}^n (zr_{kis} + zf_{kis}) \leq y_k * Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.56)$$

$$\sum_{i=1}^n (zr_{kis} + zf_{kis}) \geq y_k * Fmin \quad \forall \quad k, s \quad (5.57)$$

$$\sum_{i=1}^n zf_{kis} \leq \alpha * Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.58)$$

$$\sum_{i=1}^n zr_{kis} \leq (1 - \alpha) * Fmax_k \quad \forall \quad k, s \quad (5.59)$$

$$L_{\min} \leq \sum_{j=1}^p x_j \quad (5.60)$$

$$L_{\max} \geq \sum_{j=1}^p x_j \quad (5.61)$$

$$J_{\min} \leq \sum_{k=1}^q y_k \quad (5.62)$$

$$J_{\max} \geq \sum_{k=1}^q y_k \quad (5.63)$$

$$(K_s - CM_s - TAM_s - TOM_s - AYM_s - İSM_s - KM) - \sum_{s=1}^z p_{s'} (K_{s'} - CM_{s'} - TAM_{s'} - TOM_{s'} - AYM_{s'} - İSM_{s'} - KM) + \theta_s \geq 0 \quad \forall s \quad (5.64)$$

$$0 \leq o_{is}, w_{ijs}, zr_{kis}, zf_{kis}, u_{jks}, h_{iks}, ff_{js}^1, ff_{js}^2, fk_{ks}^1, fk_{ks}^2, \theta_s, \delta_{is}^1, \delta_{is}^2 \quad x_j, y_k, e_k \in \{0,1\} \quad (5.65)$$

Yukarıdaki modelde (5.44)-(5.46) kontrol kısıtları iken diğer kısıtlar yapısal kısıtlardır. RP’de, kontrol kısıtları veri değişikliğinden etkilendiklerinden, kontrol kısıtlarına tatminsizlik miktarları eklenir. Yukarıdaki modelde de (5.44)-(5.46) kısıtlarına tatminsizlik miktarları eklenmiştir.

5.6 MODEL 4’ün yapısı

Bu bölümde işleme merkezlerini kapsayan ağın tasarımı Robust Programlama ile yapılmıştır.

Önerilen model için yine kolaylık olması açısından bazı dönüşümler yapılmıştır.

$$K' \text{ (Kazanç)} = \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Pr^* (zr_{kis} + zf_{kis}) \quad (5.66)$$

$$CM' \text{ (Ceza maliyeti)} = \sum_{i=1}^n N^* o_{is} \quad (5.67)$$

$$\begin{aligned} TAM' \text{ (Taşıma maliyeti)} = & \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q K^1 * q_{ik}^1 * h_{iks} + \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n K^2 * q_{ik}^1 * (zr_{kis} + zf_{kis}) \\ & + \sum_{k=1}^q K^3 * q_k^2 * fk_{ks}^1 \end{aligned} \quad (5.68)$$

$$TOM' \text{ (Toplama maliyeti)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q P * h_{iks} \quad (5.69)$$

$$AYM' \text{ (Ayrıştırma maliyeti)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q S^1 * (h_{iks} - fk_{ks}^2) - \sum_{k=1}^q S^2 * fk_{ks}^2 \quad (5.70)$$

$$İSM' \text{ (İşleme maliyeti)} = \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Vr^* zf_{kis} + \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n Vf^* zr_{kis} \quad (5.71)$$

$$KM' \text{ (Kuruluş maliyeti)} = \sum_{k=1}^q G_k * y_k \quad (5.72)$$

Önerilen model aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
& maks \sum_{s=1}^z p_s (K'_s - CM'_s - TAM'_s - TOM'_s - \dot{I}SM'_s - AYM'_s - KM') \\
& - \lambda \sum_{s'=1}^z p_s \left[(K'_s - CM'_s - TAM'_s - TOM'_s - \dot{I}SM'_s - AYM'_s - KM') - \right. \\
& \left. \sum_{s'=1}^z pro_{s'} (K'_{s'} - CM'_{s'} - TAM'_{s'} - TOM'_{s'} - \dot{I}SM'_{s'} - AYM'_{s'} - KM') + 2\theta_s \right] \\
& - \omega' \sum_{s=1}^z \sum_{i=1}^n p_s * \delta_{is}^1 - \omega' \sum_{s=1}^z \sum_{i=1}^n p_s * \delta_{is}^2
\end{aligned} \tag{5.73}$$

ş.k.g

$$\sum_{k=1}^q h_{iks} + o_{is} + \delta_{is}^1 = a_{is} \quad \forall \quad i, s \tag{5.74}$$

$$o_{is} \leq \beta * (a_{is} - \delta_{is}^1) \quad \forall \quad i, s \tag{5.75}$$

$$\sum_{k=1}^q (zr_{kis} + zf_{kis}) + \delta_{is}^2 \leq d_{is} \quad \forall \quad i, s \tag{5.76}$$

$$\sum_{i=1}^n zf_{kis} = \sum_{i=1}^n h_{iks} - fk_{ks}^1 \quad \forall \quad k, s \tag{5.78}$$

$$fk_{ks}^2 + fk_{ks}^1 = \sum_{i=1}^n \beta_1 * h_{iks} \quad \forall \quad k, s \tag{5.79}$$

$$\sum_{i=1}^n (zr_{kis} + zf_{kis}) \leq y_k * Fmax_k \quad \forall \quad k, s \tag{5.80}$$

$$\sum_{i=1}^n (zr_{kis} + zf_{kis}) \geq y_k * Fmin \quad \forall \quad k, s \tag{5.81}$$

$$\sum_{i=1}^n zf_{kis} \leq \alpha * Fmax_k \quad \forall \quad k, s \tag{5.82}$$

$$\sum_{i=1}^n zr_{kis} \leq (1 - \alpha) * Fmax_k \quad \forall \quad k, s \tag{5.83}$$

$$J_{\min} \leq \sum_{k=1}^q y_k \tag{5.84}$$

$$J_{\max} \geq \sum_{k=1}^q y_k \tag{5.85}$$

$$\begin{aligned}
& (K_s - CM_s - TAM_s - TOM_s - AYM_s - \dot{I}SM_s - KM) - \\
& \sum_{s=1}^z p_{s'} (K_{s'} - CM_{s'} - TAM_{s'} - TOM_{s'} - AYM_{s'} - \dot{I}SM_{s'} - KM) + \theta_s \geq 0 \quad \forall \quad s
\end{aligned} \tag{5.86}$$

$$0 \leq o_{is}, zr_{kis}, zf_{kis}, h_{iks}, fk_{ks}^1, fk_{ks}^2, \theta_s, \delta_{is}^1, \delta_{is}^2 \quad y_k \in \{0,1\} \tag{5.87}$$

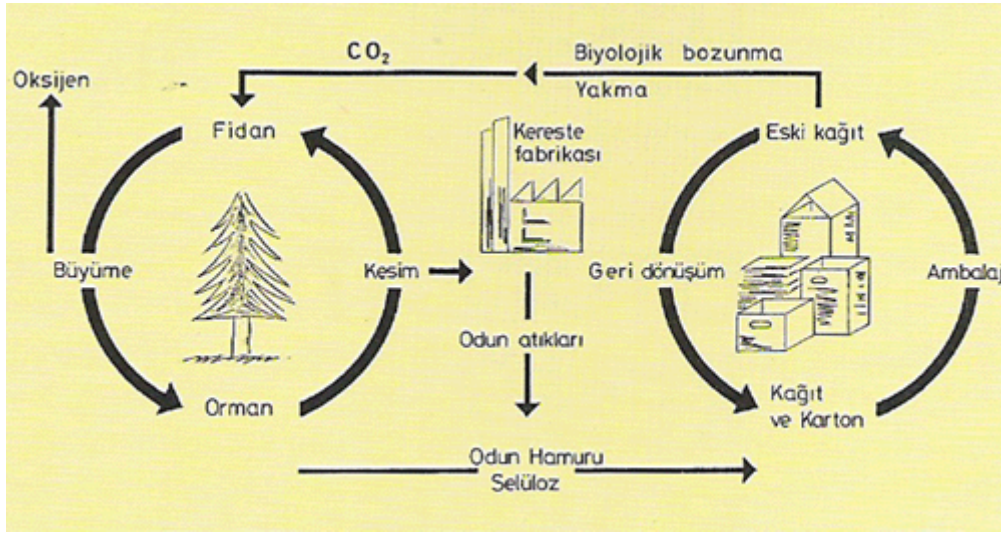
Yukarıdaki modelde (5.74)-(5.76) kontrol kısıtları iken diğer kısıtlar yapısal kısıtlardır. RP’de, kontrol kısıtları veri değişikliğinden etkilendiklerinden, kontrol kısıtlarına tatminsizlik miktarları eklenir. Yukarıdaki modelde de (5.74)-(5.76) kısıtlarına tatminsizlik miktarları eklenmiştir.

6. ÖNERİLEN MODELİN KAĞIT SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMASI

6.1 Uygulama Yeri Seçimi

Uygulama, yeni kurulmakta olan ve yılda 1,280,000 ton oluklu kağıdı ülke ekonomisine geri kazandırmayı hedefleyen bir firma için öneri niteliğindedir. 1 ton kağıdın geri dönüşümü; 17 büyük ağacın kesilmesini, 4100 kwh enerji kullanılmasını, 25,900 litre suyun harcanmasını ve 30 kg hava kirleticisinin atmosfere bırakılmasını önler.

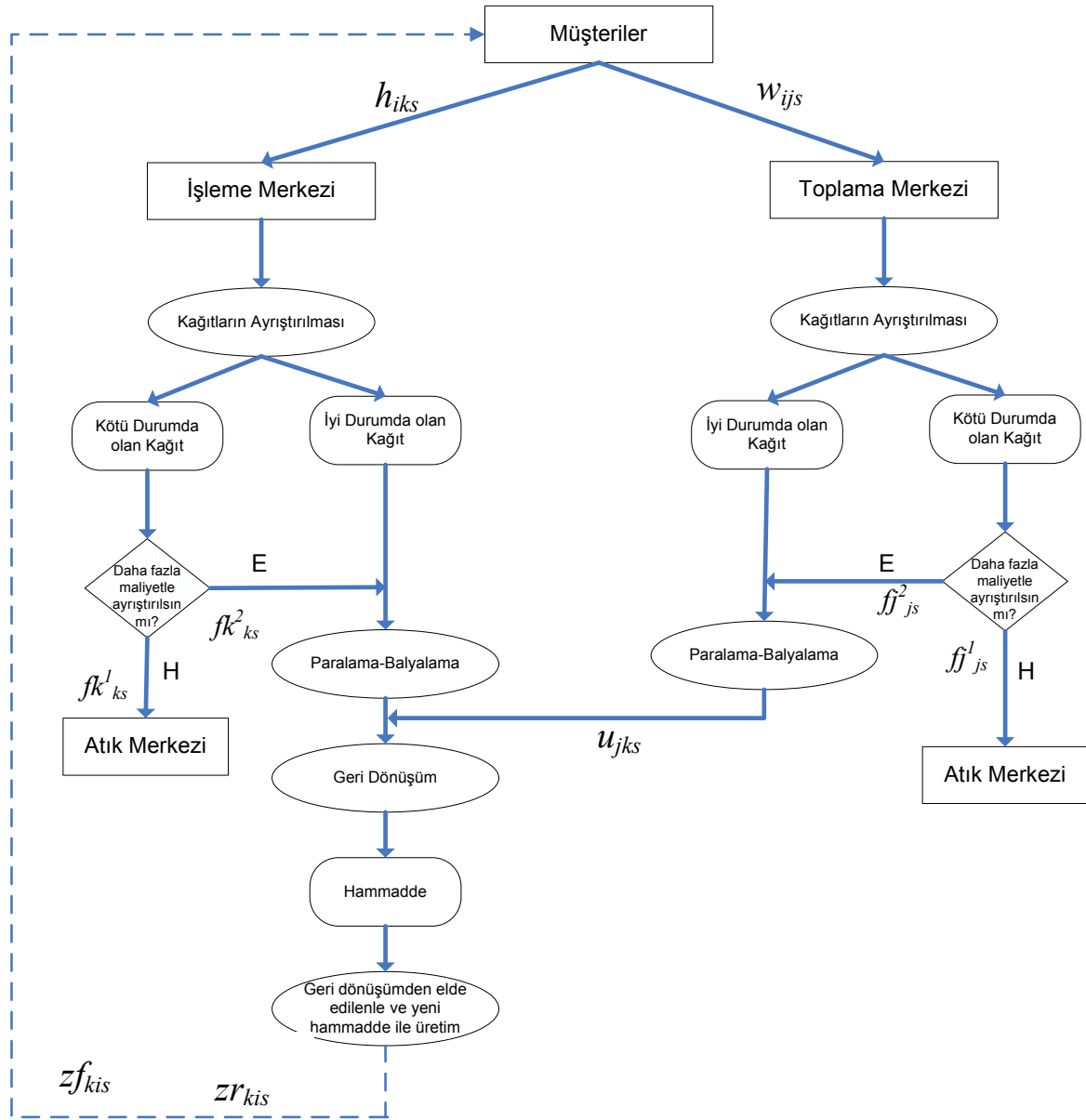
Ambalaj malzemeleri içinde geri dönüşümü en kolay ve bu nedenle uygulaması en fazla olan kağıt ve kartonlardır. Atık kağıt 1-12 kez geri dönüştürülebilmektedir. Çevre açısından yapılan değerlendirmeye göre ambalaj üretiminde karton kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Şekil 6.1 atık kağıt geri dönüşüm sistemini ifade etmektedir.



Şekil 6.1 Atık kağıt geri dönüşüm sistemi¹

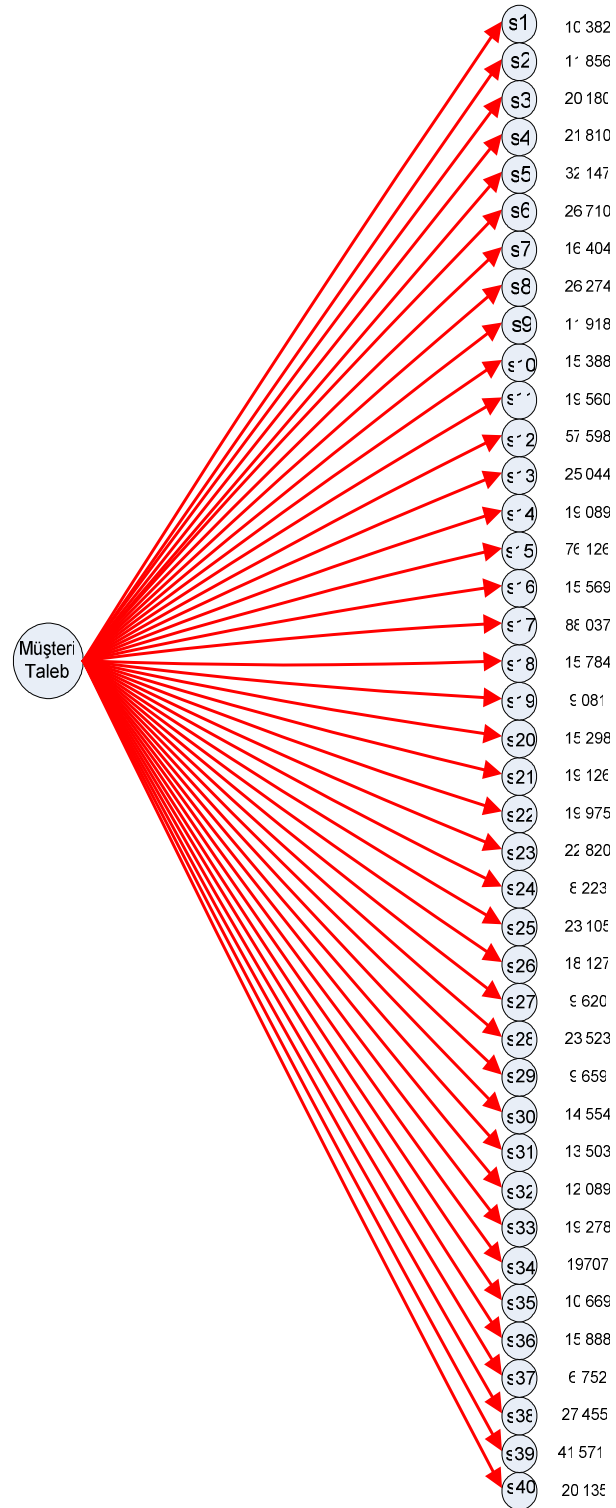
Çalışma için birçok atık kağıt geri dönüşümü yapan şirketle görüşülmüş ve veriler toplanmıştır. Bu çalışma yeni kurulacak olan atık kağıt geri dönüşümü yapacak firmalar için öneri niteliğindedir. Karışık veya dağınık olarak tesise gelen kağıtlar konveyör bant üzerinde çalışan işçiler tarafından ayıklanarak, ihtiyaç duyulduğu taktirde paralayıcıdan geçirilerek otomatik balya pres makinesine gönderilmektedir. Şekil 6.2 önerilen TL sisteminin kavramsal yapısını göstermektedir.

¹ www.hursanpaper.com



Şekil 6.2 Önerilen ters lojistik sisteminin kavramsal yapısı (Durum 1)

Müşteriden toplanabilecek ürün miktarları ve müşteri talebinin belirsiz olduğu varsayılmış ve bu iki parametre için ayrı ayrı 40 adet senaryo üretilmiştir. Bu senaryolar üretilirken şirketten her müşteri için geçen yılın verileri alınmış bu veriler ortalama değer olarak kabul edilmiştir. Varyans olarak da bu ortalama değerlerin kırkta biri alınmıştır. Daha sonra 40 adet rassal sayı üretilmiş ve normal dağılıma uyan kırk adet senaryo üretilmiştir. Bir senaryodaki her müşterini için kullanılan rassal sayı aynıdır. Böylelikle senaryolar yüksek, orta, düşük gibi gruplandırmaya uygun hale getirilmiştir. Şekil 6.4 birinci müşterinin ürün talebi için senaryo ağacını göstermektedir.

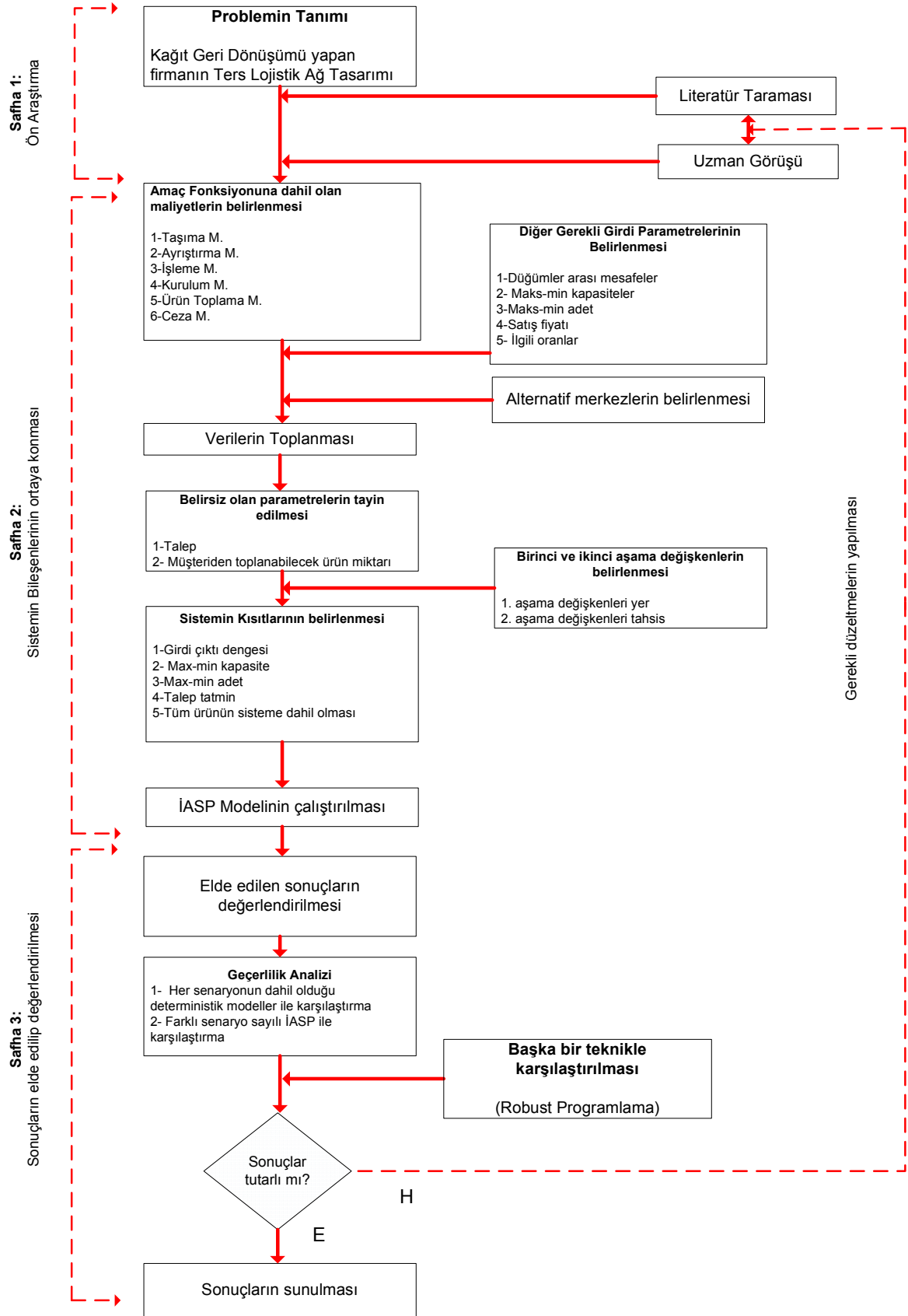


Şekil 6.4 Birinci müşterinin ürün talebi için senaryo ağacı

İASP'de belirsizlik genellikle senaryo ile ifade edilir. Bu senaryoların bir gerçekleşme olasılığı vardır ve bütün senaryoların olasılıklarının toplamı 1'dir. Bu çalışmada senaryo olasılıkları eşit alınmıştır ve bu değer 0.025'dir. İASP'de birinci aşama değişkenleri

belirsizlik giderilmeden önce verilen kararları kapsar ve senaryodan bağımsızdır. İkinci aşama değişkenleri ise belirsizlik ortadan kalktıktan sonraki kararları kapsar ve senaryo bağımlıdır. Bu çalışmada yer seçimi kararları birinci aşama değişkenleri iken, akış değişkenleri ikinci aşama değişkenleridir. Müşteriden toplanabilecek ürün miktarı ve talep belirlenmeden önce TM ve İM yerleri için kararları alınırken, müşteriden toplanabilecek ürün miktarları ve talep belirlendikten sonra akış miktarları kararları alınır. İASP modelinin yanında karşılaştırma için müşteriden toplanabilecek ürün miktarları ve müşteri talebinin deterministik olduğu varsayılmış ve deterministik modeller de çözülmüştür. Hem deterministik modeller hem de İASP modeli, GAMS 21.6/CPLEX 9.0 ticari programı ile çözülmüştür. Önerilen İASP modelinin üç safhadan oluşan süreci Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

Şekil 6.5'te bahsedilen süreç kısaca şu şekilde tanımlanabilir: birinci safha ön araştırma safhasıdır. Burada ilgili problem tanımlanır, literatürdeki ilgili çalışmalar incelenir ve ilave edilebilecek noktalar saptanır, uzman görüşleri alındıktan sonra ikinci safhaya geçilir. Burada belirlenmesi gereken parametreler, değişkenler, maliyetler, kısıtlar belirlenip model çalıştırılır. Son safhada ise modelin tutarlılığı farklı şekillerde ölçülerek, sonuçlar tutarsız ise ilgili düzeltmeler yapılır ve sonuçlar sunulur.



Şekil 6.5 İASP modelinin süreci

6.2.1 Çalışmanın Verileri

Modelin parametreleri doğrultusunda ilgili veriler toplanmıştır. Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2 bazı verileri özetlemektedir. Ek 1’de senaryo bazında üretilen müşteriden toplanabilecek ürün miktarları ve Ek 2’de senaryo bazında üretilen müşteri talebi gösterilmektedir. Ayrıca İM ve TM için görüşmeler yapılmış ve İstanbul bölgesinde bulunan on yedi adet bölge, alternatif yerler olarak belirlenmiştir. Mevcut atık merkezleri ise Avrupa Yakası için Eyüp’te, Anadolu Yakası için Şile’dedir. Alternatif bölgeler:

- Ümraniye
- Sultanbeyli
- Samandıra
- Tuzla
- Kartal
- Pendik
- Avcılar
- Hadımköy
- Bağcılar
- Bayrampaşa
- G.Osmanpaşa
- Kağıthane
- Güngören
- Zeytinburnu
- Güneşli
- B.çekmece
- Gebze

Şekil 6.6 Mevcut müşterileri ve atık merkezlerini, İM ve TM için alternatif bölgeleri göstermektedir.



Şekil 6.6 Mevcut müşteriler ve atık merkezleri, işleme ve toplama merkezleri için alternatif bölgeler

Çizelge 6.1 Modelin verileri-1

F_{min}	İM'lerin minimum kapasitesi	20,000 ton/yıl
B_{min}	TM'lerin minimum kapasitesi	5,000 ton/yıl
J_{max}	İM adedi için üst sınır	1
J_{min}	İM adedi için alt sınır	1
L_{max}	TM adedi için üst sınır	3
L_{min}	TM adedi için alt sınır	1
K^1	Müşteri ile İM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti	0.8 YTL
K^2	İM ile müşteri arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti	1 YTL
K^3	İM ile AM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti	4 YTL
K^4	Müşteri ile TM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti	0.5 YTL

Çizelge 6.1 Modelin verileri-1 devamı

K^5	TM ile İM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti	0.3 YTL
K^6	TM ile AM arasındaki ton ve km başına düşen birim taşıma maliyeti	4 YTL
P	Müşteriden ürün toplanma maliyeti	100 YTL/ton
N	Müşteriden toplanmayan ürünler için ceza maliyeti	35 YTL/ton
S^1	İM'deki ayrıştırma maliyeti	110 YTL/ton
S^2	İM'deki kötü durumda olan ürünlerin ayrıştırma maliyeti	220 YTL/ton
S^3	TM'deki ayrıştırma maliyeti	110 YTL/ton
S^4	TM'deki kötü durumda olan ürünlerin ayrıştırma maliyeti	220 YTL/ton
V_f	Yeni hammaddeden üretilen ürün maliyeti	280 YTL/ton
V_r	Geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürün maliyeti	150 YTL/ton
β	Müşteriden toplanmayan maksimum ürün yüzdesi	0.4
β_1	İM'ye gelen kötü durumdaki ürün yüzdesi	0.2
β_2	TM'ye gelen kötü durumdaki ürün yüzdesi	0.2
α	İM'de geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünlere atanmış kapasiteyi sınırlandıran oran	0.55
Pr	Üretilmiş ürünlerin satış fiyatı	850 YTL/ton

Çizelge 6.2 Modelin verileri-2

Alternatif	G_k	C_j	$Fmax_k$	$Bmax_j$	q_k^2	q_j^5
1	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	49.04	49.04
2	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	39.4	39.4
3	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	45.18	45.18
4	3,000,000	700,000	1,670,000	1,200,000	40.05	40.05
5	3,000,000	700,000	1,670,000	1,200,000	54.12	54.12
6	3,000,000	700,000	1,670,000	1,200,000	58.25	58.25
7	2,500,000	600,000	1,600,000	1,200,000	19.31	19.31
8	2,500,000	600,000	1,600,000	1,200,000	44.1	44.1
9	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	8	8
10	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	2.83	2.83
11	2,500,000	600,000	1,500,000	1,150,000	4.47	4.47
12	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	4	4
13	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	3	3
14	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	4.47	4.47
15	2,000,000	500,000	1,500,000	1,150,000	5.1	5.1
16	3,000,000	700,000	1,670,000	1,200,000	33.24	33.24
17	3,000,000	700,000	1,670,000	1,200,000	63.07	63.07

6.2.2 Model Sonuçları

Deterministik ve stokastik modellerin çözümü sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.3 modelin özetini göstermektedir. Burada deterministik olarak gösterilen veriler, 40

adet senaryonun gerçekleştiği varsayılarak deterministik olarak çözülen modellerin ortalama değerleridir.

Çizelge 6.3 Modelin özeti

	Deterministik	Stokastik
Amaç Fonksiyonu	175,990,111.1YTL	173,739,507.8YTL
Çözüm Süresi	11.6 sn.	75,817.4 sn.
İterasyon Sayısı	32,665 adet	5,515,170 adet
Sürekli Değişken Sayısı	3,859 adet	152,332 adet
Kesikli Değişken Sayısı	51 adet	51 adet
Kısıt Sayısı	1,242 adet	48,822 adet

İki aşamalı stokastik modele göre TM için seçilen yerler altıncı alternatif olan Pendik ve on beşinci alternatif olan Güneşli ve İM için seçilen alternatif beşinci alternatif olan Kartal'dır. Seçilen toplama merkezleri, İstanbul'un hem Avrupa yakasındaki müşterilere hem de Anadolu yakasına müşterilere cevap verebildiği için tutarlıdır. Ayrıca seçilen bölgeler de endüstriyel olarak yoğunlaşmış bölgelerdir. Fakat farklı deterministik modellerle karşılaştırmalar yapılarak modelin geçerliliğinin ölçülmesi gerekmektedir. Bir sonraki bölümde önerilen modelin geçerliliği incelenmiştir. Şekil 6.7 seçilen alternatiflerin yerlerini göstermektedir. Model ayrıca 40 adet senaryo bazında taşıma miktarlarını da hesaplamaktadır. Ek 3'de İASP modeli tarafından hesaplanan senaryo bazında müşterilerden TM'ye ve İM'ye gelen ve İM'den müşterilere giden ürün miktarları gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Seçilen alternatiflerin yerleri

6.2.3 Modelin Geçerlilik Analizi

Kurulan modelin geçerliliğinin incelenmesi için bu bölümde çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. İlk analiz için, 40 adet senaryonun verileri kullanılmış ve her bir senaryonun verilerini deterministik modele dahil ederek 40 adet deterministik model çözülmüş ve bu modellerden elde edilen amaç fonksiyonları bir önceki bölümde önerilen stokastik modelde elde edilen amaç fonksiyonu ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 6.4 hesaplanan amaç fonksiyonlarını özetlemektedir. Tabloda model sütunundaki “**Det_1**” birinci senaryonun verileri kullanılarak kurulmuş deterministik model anlamına gelmektedir.

Çizelge 6.4 Geçerlilik analizi hesaplamaları-1

Model	Amaç Fonksiyonu	Model	Amaç Fonksiyonu
Det_1	92,237,856.0	Det_21	172,336,463.3
Det_2	105,690,533.9	Det_22	180,122,804.0
Det_3	182,004,446.9	Det_23	206,237,065.9
Det_4	196,963,110.6	Det_24	72,533,998.0
Det_5	291,836,790.5	Det_25	208,847,967.5
Det_6	241,938,217.4	Det_26	163,165,450.5
Det_7	147,348,681.0	Det_27	85,288,504.5
Det_8	237,933,821.5	Det_28	212,685,092.2
Det_9	106,252,904.2	Det_29	85,641,501.6
Det_10	138,030,598.7	Det_30	130,374,164.7
Det_11	176,319,219.3	Det_31	120,725,222.8
Det_12	348,279,004.1	Det_32	107,813,603.0
Det_13	226,646,785.7	Det_33	173,726,701.3
Det_14	171,993,657.7	Det_34	213,807,833.7
Det_15	335,482,960.8	Det_35	94,859,487.5
Det_16	139,690,154.5	Det_36	142,615,168.5
Det_17	326,392,085.7	Det_37	59,110,408.6
Det_18	141,664,759.6	Det_38	248,772,913.5
Det_19	80,371,371.2	Det_39	355,070,853.5
Det_20	137,201,179.6	Det_40	181,591,098.7

Burada deterministik modeller ile önerilen İASP modelinin karşılaştırılması için dördüncü bölümde bahsedilmiş olan *Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri (MBBD)* ve *Stokastik Çözümün Değeri (SÇD)* hesaplanmalıdır. Öncelikle denklem (4.10)'da anlatılan *Bekle ve Gör (BG)* olarak adlandırılan değer hesaplanmalıdır. Senaryoların eşit olasılıklara sahip olmasından dolayı tüm senaryoların en az bir kere gerçekleştiği varsayılırsa, burada *BG* Çizelge 6.4'de özetlenmiş olan 40 adet deterministik değerlerin ortalama değeridir. Bu da **175,990,111.1 YTL** olarak hesaplanmıştır. *MBBD* ise denklem (4.11)'de ifade edildiği gibi bulduğumuz stokastik sonucun *BG* değerinden çıkartılması ile elde edilir. Problemimiz maksimizasyon problemi olduğundan sonuçlarımız minimizasyon problemi olarak ifade edilmek istendiğinde stokastik sonuç **-173,739,507.80** ve *BG* **-175,990,111.1** şeklinde ifade edilir ve *MBBD* **2,250,603.26 YTL** olarak hesaplanmış olur.

Hesaplanacak ikinci değer *SÇD* için önce denklem (4.12)'de ifade edilen *BD* (ki bu 40 senaryo değerlerinin ortalama değerinin hesaplanıp bu verileri deterministik modele dahil ederek elde edilir) bulunmalı ve o modelin sonucunda elde edilen birinci aşama değişkenlerinin stokastik modele dahil edilmesiyle elde edilen *BDÇBD* hesaplanmalıdır (Denklem 4.13). Yapılan hesaplamalarda *BD* modelinin sonucunda İM için onuncu ve TM için on beş ve on yedinci alternatifler seçilmiş ve amaç fonksiyonu **201,914,163.9 YTL** olarak hesaplanmıştır (minimizasyon problemi olarak ifade edildiğinde **-201,914,163.9**). Bu birinci aşama değişkenleri stokastik modele dahil edilip model tekrar çözdürüldüğünde *BDÇBD* modelinin değeri **171,876,311.2 YTL** olarak hesaplanmıştır (minimizasyon problemi olarak ifade edildiğinde **-171,876,311.2**). Bu sebeple denklem (4.14)'de ifade edilen *SÇD* **1,863,196.80 YTL** olarak bulunmuştur. Son olarak denklem (4.15) ve (4.16)'da bahsedilen eşitsizliklerin sağlanıp sağlanmadığına bakılmış ve deterministik modeller ile önerilen İASP modelinin karşılaştırılması için hesaplanmış olan bu iki değer tüm eşitsizlikleri sağladığı görülmüştür. Çizelge 6.5 40 adet deterministik model tarafından seçilen alternatifleri göstermektedir.

Çizelge 6.5 Toplama ve işleme merkezleri için seçilen alternatifler

	ALTERNATİF BÖLGELER ¹																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Stok					İ.M.	T.M.									T.M.		
Det_1										İ.M.			T.M.				
Det_2										İ.M.			T.M.				
Det_3										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_4										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_5										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_6										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_7										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_8										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_9										İ.M.			T.M.				
Det_10										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_11										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_12					İ.M.	T.M.		T.M.					T.M.				
Det_13										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_14										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_15					İ.M.	T.M.		T.M.					T.M.				
Det_16										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_17						İ.M.- T.M.		T.M.					T.M.				
Det_18										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_19										İ.M.			T.M.				
Det_20										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_21										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_22										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_23										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_24										İ.M.			T.M.				
Det_25										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_26										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_27										İ.M.			T.M.				

Çizelge 6.5 Toplama ve işleme merkezleri için seçilen alternatifler-devamı

Det_28										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_29										İ.M.			T.M.				
Det_30										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_31										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_32										İ.M.			T.M.				
Det_33										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_34										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_35										İ.M.			T.M.				
Det_36										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_37										İ.M.			T.M.				
Det_38										İ.M.					T.M.		T.M.
Det_39					İ.M.	T.M.		T.M.					T.M.				
Det_40										İ.M.					T.M.		T.M.

1 T.M= Seçilen Toplama Merkezi

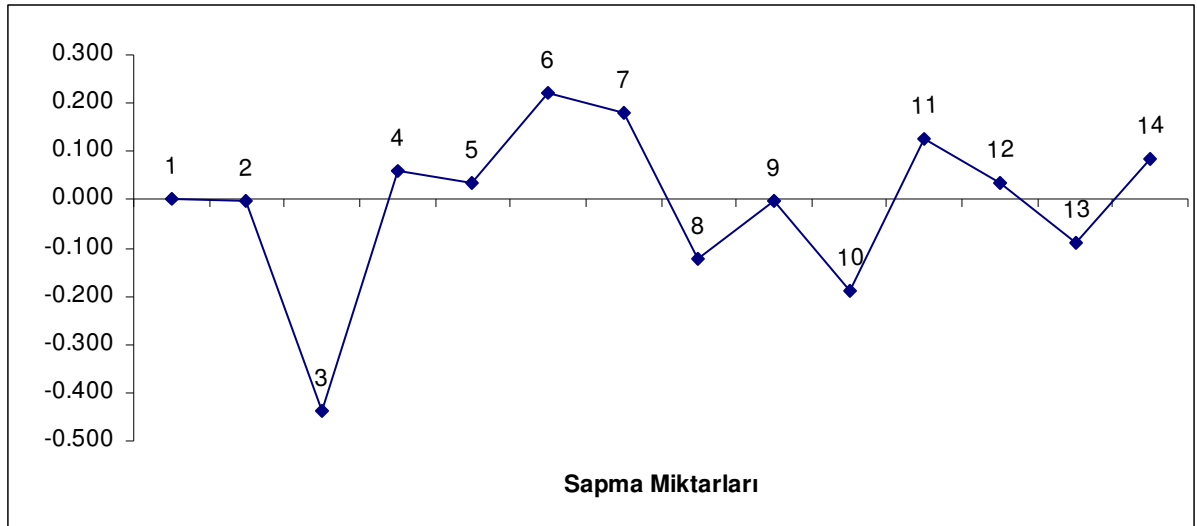
İ.M= Seçilen İşleme Merkezi

Bu tabloya bakıldığında stokastik modelin TM ve İM için seçtiği alternatif bölgeler ile deterministik modellerin seçtiği alternatif bölgeler farklıdır. Ayrıca deterministik modeller de kendi aralarında incelendiğinde farklı sonuçlar vermişlerdir. Daha önce de belirtildiği gibi stokastik model, TM için altıncı ve on beşinci alternatifleri seçerken, İM için beşinci alternatifi seçmiştir. Fakat deterministik modellere bakıldığında bu 40 modelin % 65'i, İM için onuncu ve TM için on beş ve on yedinci alternatifleri; %25'i, İM için onuncu ve TM için on üçüncü alternatifleri; %7.5'i, İM için beşinci ve TM için altıncı, sekizinci ve on üçüncü alternatifleri ve %2.5'i, İM için altıncı ve TM için altıncı, sekizinci ve on üçüncü alternatifleri seçmişlerdir.

İlk analizde, 40 senaryolu stokastik model ile her senaryonun verilerinin deterministik olarak varsayıp modele dahil edildiği durumlar karşılaştırılmış ve sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür. İkinci analizde ise farklı senaryo sayılarını içine alan stokastik modellerin sonuçları ile bizim sunduğumuz modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu bölümde 5, 10 ve 20 adet senaryo içeren stokastik modeller çözülmüş ve sonuçları incelenmiştir. Çizelge 6.6 hesaplanan amaç fonksiyonlarını, sapma miktarlarını ve seçilen alternatifleri tablo şeklinde özetlerken Şekil 6.8 sapma miktarlarını grafiksel olarak göstermektedir. Tabloda model sütunundaki “**Stok**” bir önceki bölümde önerilen modelde çözülen İASP modeli iken, “**Stok_5_1**” 40 adet senaryonun ilk 5 senaryosunun verileri kullanılarak kurulmuş stokastik model anlamına gelmektedir.

Çizelge 6.6 Geçerlilik analizi hesaplamaları-2

Model	Amaç Fonksiyonu	Sapma Miktarı	Seçilen Toplama Merkezi	Seçilen İşleme Merkezi
Stok	173,739,507.8			
Stok_5_1	173,700,380.2	0.000	15.-17.	10.
Stok_5_2	174,286,164.5	-0.003	15.-17.	10.
Stok_5_3	250,062,515.5	-0.439	6.-8.-13.	5.
Stok_5_4	163,107,148.7	0.061	6.-8.-13.	5.
Stok_5_5	167,962,120.4	0.033	15.-17.	10.
Stok_5_6	135,353,668.9	0.221	15.-17.	10.
Stok_5_7	142,145,869.9	0.182	15.-17.	10.
Stok_5_8	195,413,027.3	-0.125	6.-15.	5.
Stok_10_1	173,993,272.3	-0.001	15.-17.	10.
Stok_10_2	206,584,832.1	-0.189	6.-8.-13.	5.
Stok_10_3	151,657,894.7	0.127	15.-17.	10.
Stok_10_4	167,662,853.7	0.035	6.-15.	5.
Stok_20_1	188,975,571.3	-0.088	6.-15.	5.
Stok_20_2	158,862,681.9	0.086	15.-17.	10.



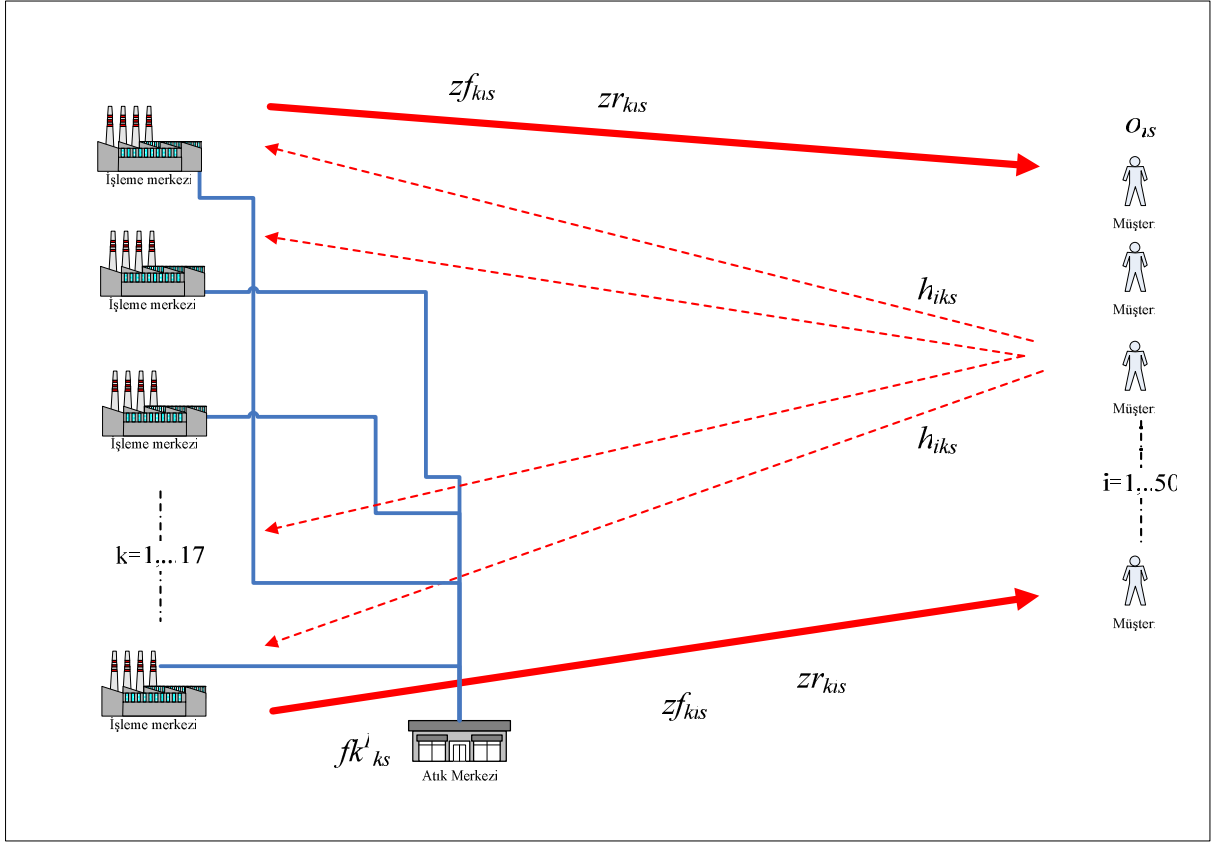
Şekil 6.8 Ana model ile farklı sayıda senaryo içeren stokastik model ile arasındaki sapma miktarları-1

Çizelge 6.6 ile Şekil 6.8’de görüldüğü gibi ana model ile farklı sayıda senaryo içeren stokastik modeller arasındaki sapma miktarları farklı seviyelerdedir. En büyük fark pozitif anlamda % 22 farkla “**Stok_5_6**” modeli ile olmuştur. Eğer bu beş senaryonun gerçekleştiği varsayılırsa firma % 22 oranında daha az kar edebilir. Negatif anlamda en büyük farka bakıldığında % 43 farkla “**Stok_5_3**” modeli ile olmuştur. Eğer bu beş senaryonun gerçekleştiği varsayılırsa firma % 43 oranında daha fazla kar edebilir. Bu büyük farklılık bu senaryo gruplarının senaryoların geneline göre daha fazla farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca modelimiz bazı modellere de oldukça yakın sonuçlar vermiştir. “**Stok_5_1**”, “**Stok_5_2**” örnek olarak verilebilir. Sapma miktarlarının yanında bu modellerce seçilen İM ve TM’ler de incelenmiştir. Seçilen alternatifler açısından incelendiğinde yapılan hesaplamaların % 57’si, İM için onuncu ve TM için on beş ve on yedinci alternatifleri; % 21.5’i, İM için beşinci ve TM için altıncı, sekizinci ve on üçüncü alternatifleri ve % 21.5’i, İM için beşinci ve TM için altıncı ve on beşinci alternatifleri seçmişlerdir.

6.3 İşleme Merkezini Kapsayan Ağın İASP ile Tasarımı

Bu bölümde, müşterilerden toplanan ürünlerin doğrudan İM’ye getirilmesini kapsayan ağın tasarımı yapılmıştır. Yine müşteriden toplanan ürün miktarları ve müşteri talebinin belirsiz olduğu varsayılmış ve bu iki parametre için geçen bölümde üretilmiş olan 40 adet senaryo kullanılmıştır. Bir önceki bölümde kullanılan veriler bu bölümde de kullanılmıştır. Model genel olarak; alternatif İM’lerin hangilerinin seçileceğini ve müşteri- İM, İM-AM, İM-müşteri arasındaki akış miktarını hesaplar. Sistemin boyutları bir önceki bölüm ile aynıdır. Şekil 6.9

Sistemin yapısını özetlemektedir. Model tek ürünli olarak tasarlanmıştır.



Şekil 6.9 Sistemin yapısı (Durum 2)

6.3.1 Model Sonuçları

Deterministik ve stokastik modellerin çözümü sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 6.7 modelin özetini göstermektedir. Burada deterministik olarak gösterilen veriler, 40 adet senaryonun gerçekleştiği varsayılarak deterministik olarak çözülen modellerin ortalama değerleridir. İASP modeli çerçevesinde seçilen İM, beşinci alternatif olan Kartal'dır. Şekil 6.10 seçilen bölgeyi sunmaktadır. Ayrıca farklı deterministik modellerle karşılaştırmalar yapılarak modelin geçerliliğinin ölçülmesi sağlanmıştır. Bir sonraki bölümde önerilen modelin geçerliliği incelenmiştir. Ek 4'de İASP modeli tarafından hesaplanan senaryo bazında müşterilerden İM'ye gelen ve İM'den müşterilere giden ürün miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 Modelin özeti

	Deterministik	Stokastik
Amaç Fonksiyonu	637,434,056.9 YTL	633,145,946.5 YTL
Çözüm Süresi	3.5 sn.	9,234.8 sn.
İterasyon Sayısı	10,898 adet	1,389,198adet
Sürekli Değişken Sayısı	2,652 adet	105,378 adet
Kesikli Değişken Sayısı	17 adet	17 adet
Kısıt Sayısı	255 adet	10,083 adet



Şekil 6.10 Seçilen bölgeler

6.3.2 Modelin Geçerlilik Analizi

Kurulan modelin geçerliliğinin incelenmesi için bu bölümde çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. İlk analiz için, 40 adet senaryonun verileri kullanılmış ve her bir senaryonun verilerini deterministik olarak modele dahil ederek 40 adet deterministik model çözülmüş ve bu modellerden elde edilen amaç fonksiyonları bir önceki bölümde önerilen stokastik modelde elde edilen amaç fonksiyonu ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 6.8 hesaplanan amaç fonksiyonlarını tablo şeklinde göstermektedir.

Çizelge 6.8 Geçerlilik analizi hesaplamaları-3

Model	Amaç Fonksiyonu	Model	Amaç Fonksiyonu
Det_1	311,524,708.6	Det_21	575,599,668.2
Det_2	356,047,426.6	Det_22	601,221,048.2
Det_3	607,410,802.6	Det_23	687,141,436.2
Det_4	656,626,443.8	Det_24	246,318,081.5
Det_5	968,816,157.7	Det_25	695,732,425.0
Det_6	804,632,780.0	Det_26	545,410,109.7
Det_7	493,373,073.9	Det_27	288,523,233.7
Det_8	791,448,599.1	Det_28	708,360,995.0
Det_9	357,919,671.2	Det_29	289,704,874.9
Det_10	462,710,122.8	Det_30	437,520,703.5
Det_11	588,696,124.2	Det_31	405,769,041.5
Det_12	1,724,885,845.2	Det_32	363,080,086.0

Çizelge 6.8 Geçerlilik analizi hesaplamaları-3 devamı

Det_13	754,299,565.1	Det_33	580,164,004.4
Det_14	574,472,100.1	Det_34	712,052,396.6
Det_15	1,774,090,788.8	Det_35	320,195,385.4
Det_16	468,177,502.7	Det_36	477,799,951.4
Det_17	1,772,251,420.5	Det_37	201,900,110.0
Det_18	474,675,934.4	Det_38	827,112,735.5
Det_19	272,245,953.1	Det_39	1,253,411,172.4
Det_20	459,987,601.0	Det_40	606,052,195.5

Burada deterministik modeller ile önerilen İASP modelinin karşılaştırılması için dördüncü bölümde bahsedilmiş olan *Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri (MBBD)* ve *Stokastik Çözümün Değeri (SÇD)* hesaplanmalıdır. Öncelikle denklem (4.10)'da anlatılan *Bekle ve Gör (BG)* olarak adlandırılan değer hesaplanmalıdır. Senaryoların eşit olasılıklara sahip olmasından dolayı tüm senaryoların en az bir kere gerçekleştiği varsayılırsa, burada *BG* Çizelge 6.8'de özetlenmiş olan 40 adet deterministik değerlerin ortalama değeridir. Bu da **637,434,056.9 YTL** olarak hesaplanmıştır. *MBBD* ise denklem (4.11)'de ifade edildiği gibi bulduğumuz stokastik sonucun *BG* değerinden çıkartılması ile elde edilir. Problemimiz maksimizasyon problemi olduğundan sonuçlarımız minimizasyon problemi olarak ifade edilmek istendiğinde stokastik sonuç **-633,145,946** ve *BG* **-637,434,056.9** şeklinde ifade edilir ve *MBBD* **4,288,111 YTL** olarak hesaplanmış olur.

Hesaplanacak ikinci değer *SÇD* için önce denklem (4.12)'de ifade edilen *BD* (bu 40 senaryo değerlerinin ortalama değerinin hesaplanıp bu verileri deterministik modele dahil ederek elde edilir) bulunmalı ve o modelin sonucunda elde edilen birinci aşama değişkenlerinin stokastik modele dahil edilmesiyle elde edilen *BDÇBD* hesaplanmalıdır (Denklem 4.13). Yapılan hesaplamalarda *BD* modelinin sonucunda İM için onuncu alternatif seçilmiş ve amaç fonksiyonu **672,930,864.1 YTL** olarak hesaplanmıştır (minimizasyon problemi olarak ifade edildiğinde **-672,930,864.1**). Bu birinci aşama değişkenleri stokastik modele dahil edilip model tekrar çözdürüldüğünde *BDÇBD* modelinin değeri **625,366,854.8 YTL** olarak hesaplanmıştır (minimizasyon problemi olarak ifade edildiğinde **-625,366,854.8**). Bu sebeple denklem (4.14)'de ifade edilen *SÇD* **7,779,091 YTL** olarak bulunmuştur. Son olarak denklem (4.15) ve (4.16)'da bahsedilen eşitsizliklerin sağlanıp sağlanmadığına bakılmış ve deterministik modeller ile önerilen İASP modelinin karşılaştırılması için hesaplanmış olan bu iki değer tüm eşitsizlikleri sağladığı görülmüştür. Çizelge 6.9 ise 40 adet deterministik model tarafından seçilen alternatifleri göstermektedir.

Çizelge 6.9 Seçilen alternatifler

	ALTERNATİF BÖLGELER ¹																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Stokastik					İ.M												
Det_1										İ.M							
Det_2										İ.M							
Det_3										İ.M							
Det_4										İ.M							
Det_5										İ.M							
Det_6										İ.M							
Det_7										İ.M							
Det_8										İ.M							
Det_9										İ.M							
Det_10										İ.M							
Det_11										İ.M							
Det_12					İ.M												
Det_13										İ.M							
Det_14										İ.M							
Det_15					İ.M												
Det_16										İ.M							
Det_17					İ.M												
Det_18										İ.M							
Det_19										İ.M							
Det_20										İ.M							
Det_21										İ.M							
Det_22										İ.M							
Det_23										İ.M							
Det_24										İ.M							
Det_25										İ.M							
Det_26										İ.M							

Çizelge 6.9 Seçilen alternatifler-devamı

Det_27										İ.M							
Det_28										İ.M							
Det_29										İ.M							
Det_30										İ.M							
Det_31										İ.M							
Det_32										İ.M							
Det_33										İ.M							
Det_34										İ.M							
Det_35										İ.M							
Det_36										İ.M							
Det_37										İ.M							
Det_38										İ.M							
Det_39										İ.M							
Det_40										İ.M							

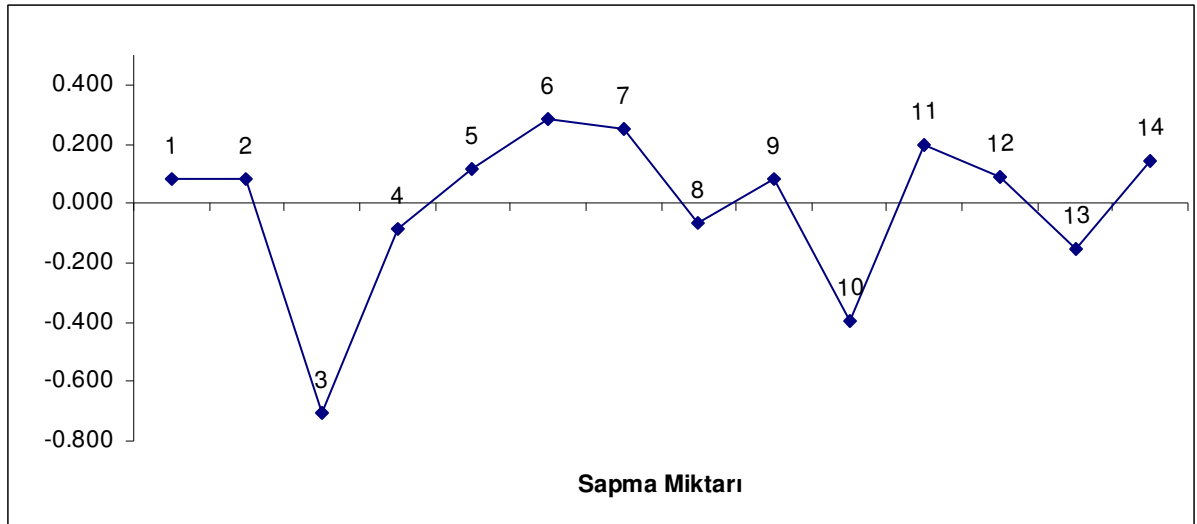
1 İ.M= Seçilen İşleme Merkezi

Bu tabloya bakıldığında stokastik modelin İM için seçtiği alternatif bölge ile deterministik modellerin seçtiği alternatif bölgeler farklıdır. Ayrıca deterministik modeller de kendi aralarında incelendiğinde farklı sonuçlar vermişlerdir. Daha önce de belirtildiği gibi stokastik model, İM için beşinci alternatifi seçmiştir. Fakat deterministik modellere bakıldığında bu 40 modelin % 92.5'i, İM için onuncu alternatifi seçerken sadece % 7.5'i, İM için beşinci alternatifi seçmişlerdir.

İkinci analizde ise farklı senaryo sayılarını içine alan stokastik modellerin sonuçları ile bizim sunduğumuz modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu bölümde 5, 10 ve 20 adet senaryo içeren stokastik modeller çözülmüş ve sonuçları incelenmiştir. Çizelge 6.10 hesaplanan amaç fonksiyonlarını ve sapma miktarlarını tablo şeklinde özetlerken, Şekil 6.11 sapma miktarlarını grafiksel olarak göstermektedir.

Çizelge 6.10 Geçerlilik analizi hesaplamaları-4

Model	Amaç Fonksiyonu	Sapma Miktarı	Seçilen İşleme Merkezi
Stok	633,145,946	-	
Stok_5_1	580,085,107.9	0.084	10.
Stok_5_2	582,016,849.4	0.081	10.
Stok_5_3	1,080,139,593.5	-0.706	5.
Stok_5_4	686,436,991.6	-0.084	5.
Stok_5_5	561,202,531.8	0.114	10.
Stok_5_6	453,903,983.4	0.283	10.
Stok_5_7	476,252,182.8	0.248	10.
Stok_5_8	673,255,233.0	-0.063	10.
Stok_10_1	581,050,978.6	0.082	10.
Stok_10_2	883,288,292.6	-0.395	5.
Stok_10_3	507,553,257.6	0.198	10.
Stok_10_4	574,753,707.9	0.092	10.
Stok_20_1	729,737,764.9	-0.153	5.
Stok_20_2	541,153,482.7	0.145	10.



Şekil 6.11 Ana model ile farklı sayıda senaryo içeren stokastik model ile arasındaki sapma miktarları-2

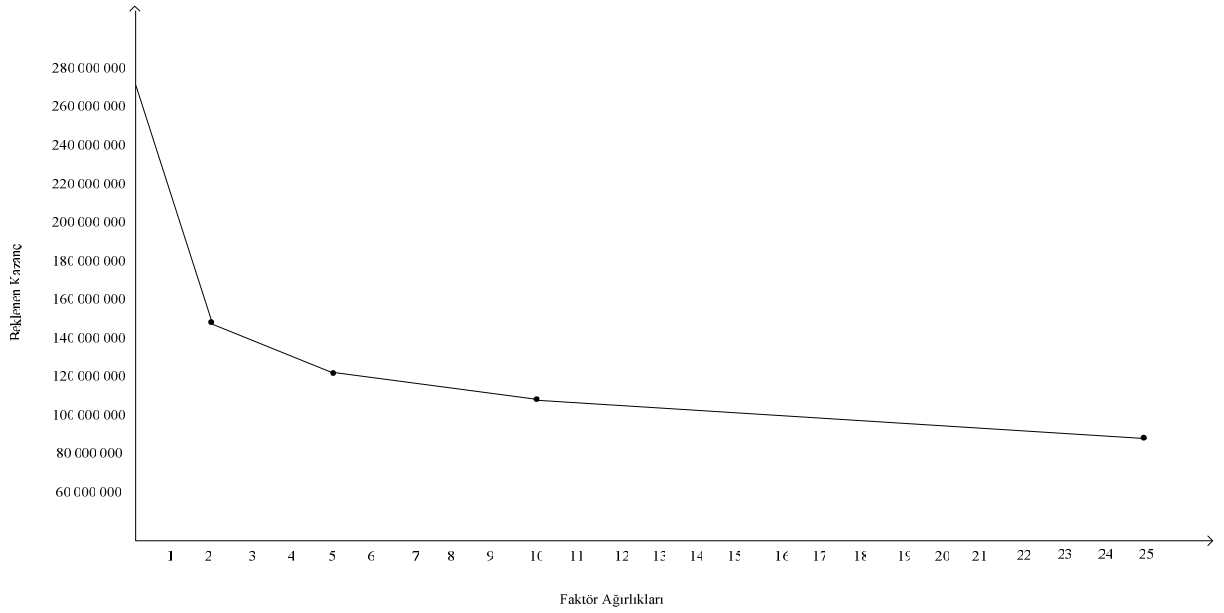
Çizelge 6.10 ile Şekil 6.11’de görüldüğü gibi ana model ile farklı sayıda senaryo içeren stokastik modeller arasındaki sapma miktarları farklı seviyelerdedir. En büyük fark pozitif anlamda % 28 farkla “Stok_5_6” modeli ile olmuştur. Eğer bu beş senaryonun gerçekleştiği varsayılırsa, firma % 28 oranında daha fazla az edebilir. Negatif anlamda en büyük farka bakıldığında, % 70 farkla “Stok_5_3” modeli ile olmuştur. Eğer bu beş senaryonun gerçekleştiği varsayılırsa, firma % 70 oranında daha fazla kar edebilir. Bu büyük farklılık bu senaryo gruplarının senaryoların geneline göre daha fazla farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Sapma miktarlarının yanında bu modellerce seçilen İM’ler de incelenmiştir. Seçilen alternatifler açısından incelendiğinde yapılan hesaplamaların % 72’si, İM için onuncu alternatifi ve % 28’i, İM için beşinci alternatifi seçmişlerdir.

6.4 Toplama ve İşleme Merkezlerini Kapsayan Ağın RP ile Tasarımı

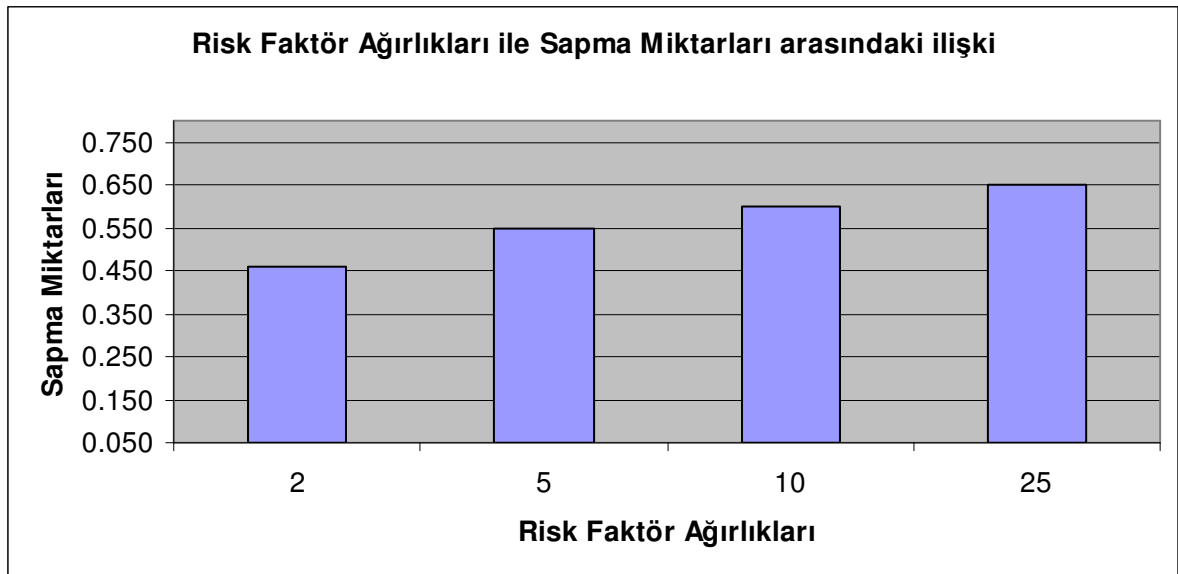
Bu bölümde, ilk bölümde yapılan mevcut müşterilerden toplanan ürünlerin TM’ye getirilmesi ya da bazı ürünlerin doğrudan İM’ye getirilmesini kapsayan ağın tasarımı RP ile yapılmıştır. İlk modelin verileri aynen kullanılmış sadece ilave parametre ve değişkenler modele dahil edilmiştir. Model farklı λ ve ω' değerleri için çözülmüş ve sapma miktarları hesaplanmıştır. Çözüm kolaylığı olması açısından λ ve ω' değerleri eşit alınmıştır. Çizelge 6.11 hesaplanan beklenen kazançları, sapma miktarlarını ve seçilen alternatifleri göstermektedir. Şekil 6.12 beklenen kazanç ile risk faktör ağırlıkları arasındaki ilişkiyi, Şekil 6.13 ise risk faktör ağırlıkları ile elde edilen sapma miktarlarını grafiksel olarak göstermektedir.

Çizelge 6.11 Hesaplanan beklenen kazançlar, sapma miktarları ve seçilen alternatifler-1

	$\lambda = 0$ $\omega' = 0$	$\lambda = 2$ $\omega' = 2$	$\lambda = 5$ $\omega' = 5$	$\lambda = 10$ $\omega' = 10$	$\lambda = 25$ $\omega' = 25$
Beklenen Kazanç	273,054,524 YTL	147,607,824.4 YTL	123,008,295.1 YTL	108,695,160.3 YTL	95,730,452.1 YTL
Sapma Miktarı	-	0.459	0.550	0.602	0.649
Seçilen Toplama Merkezi	9.	13.	14.	13.	10.
Seçilen İşleme Merkezi	5.	10.	10.	13.	7.



Şekil 6.12 Risk faktör ağırlıkları ile beklenen kazanç arasındaki ilişki-1



Şekil 6.13 Risk faktör ağırlıkları ile sapma miktarları arasındaki ilişki-1

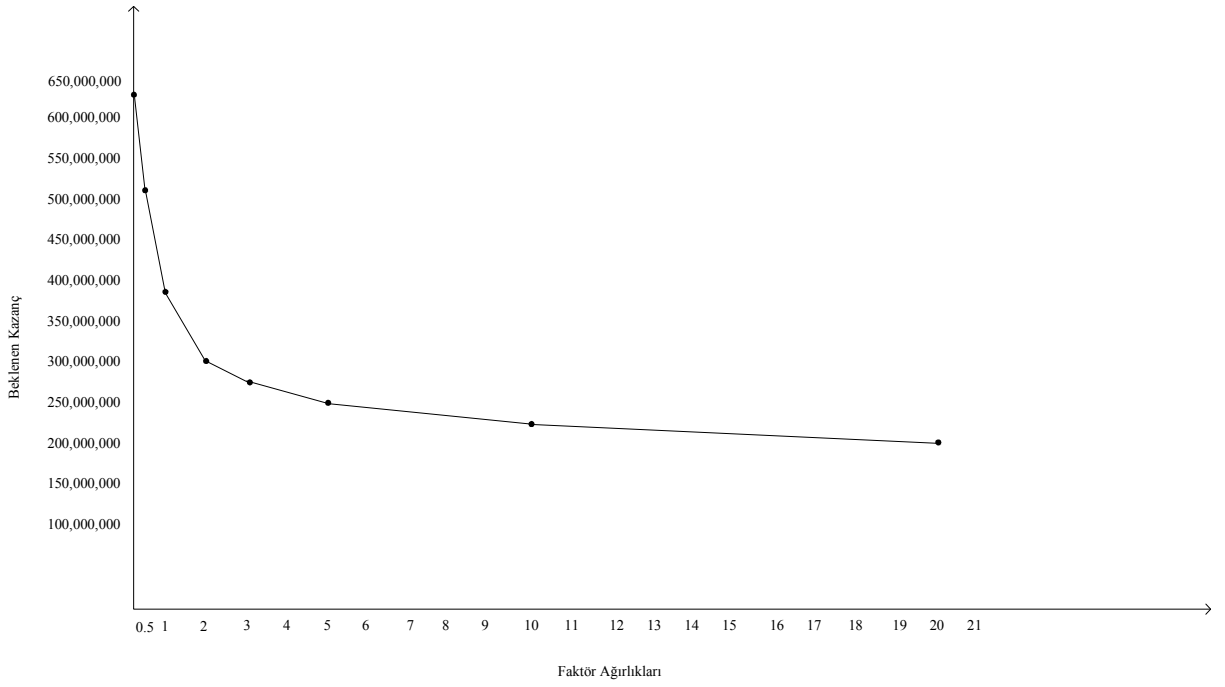
λ ve ω' değerleri arttıkça ceza fonksiyonu büyüdüğüden beklenen kazancın düştüğü görülmektedir. Kullanıcı, problemin cinsine göre hangi ağırlıkları kullanacağına karar verebilir. Seçilen alternatiflere bakıldığında ise tüm modeller toplama merkezi ve işleme merkezi açısından ana modelden farklı alternatifleri seçmişlerdir.

6.5 İşleme Merkezlerini Kapsayan Ağın RP ile Tasarımı

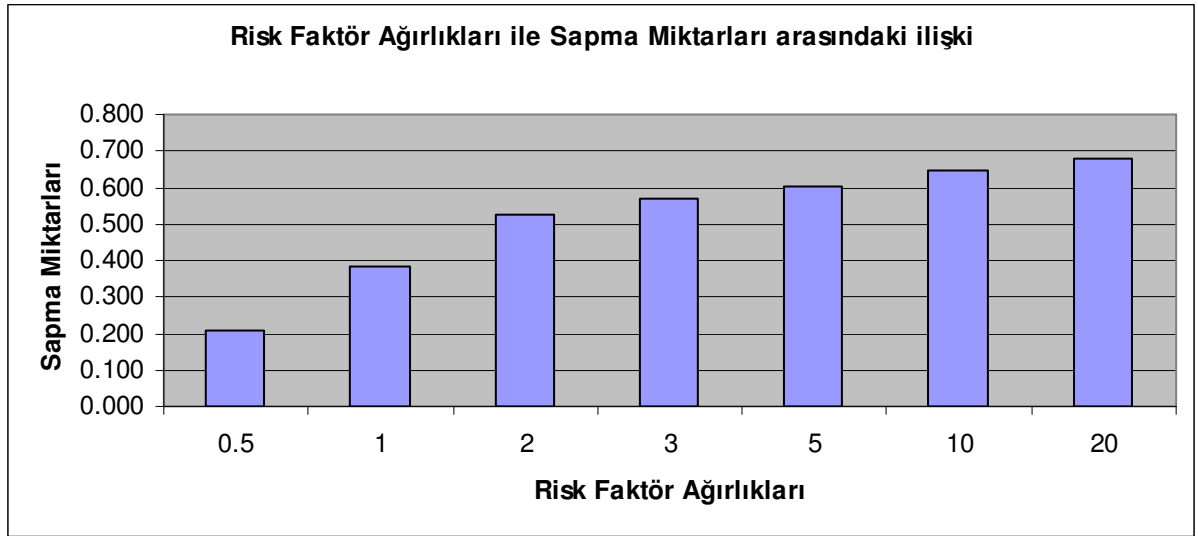
Bu bölümde, mevcut müşterilerden toplanan ürünlerin doğrudan İM'ye getirilmesini kapsayan ağın tasarımı, RP ile yapılmıştır. İlk modelin verileri aynen kullanılmış sadece ilave parametre ve değişkenler modele dahil edilmiştir. Bu ilave parametre ve değişkenler Çizelge 5.8'de gösterilmektedir. Model farklı λ ve ω' değerleri için çözülmüş ve ana modele göre sapma miktarları hesaplanmıştır. Çözüm kolaylığı olması açısından λ ve ω' değerleri eşit alınmıştır. Çizelge 6.12 hesaplanan beklenen kazançları, sapma miktarlarını ve seçilen alternatifleri göstermektedir. Şekil 6.14 beklenen kazanç ile risk faktör ağırlıkları arasındaki ilişkiyi, Şekil 6.15 ise risk faktör ağırlıkları ile elde edilen sapma miktarlarını grafiksel olarak göstermektedir.

Çizelge 6.12 Hesaplanan beklenen kazançlar, sapma miktarları ve seçilen alternatifler-2

	$\lambda = 0$ $\omega' = 0$	$\lambda = 0.5$ $\omega' = 0.5$	$\lambda = 1$ $\omega' = 1$	$\lambda = 2$ $\omega' = 2$	$\lambda = 3$ $\omega' = 3$	$\lambda = 5$ $\omega' = 5$	$\lambda = 10$ $\omega' = 10$	$\lambda = 20$ $\omega' = 20$
Beklenen Kazanç	634,017,537	503,517,905	390,367,784	300,745,953	273,552,083	252,246,845	224,109,096	201,900,110
Sapma Miktarı	-	0.206	0.384	0.526	0.569	0.602	0.647	0.682
1								
2								
3								
4								
5	İ.M	İ.M						
6								
7								
8								
9								
10			İ.M	İ.M	İ.M	İ.M	İ.M	İ.M
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								



Şekil 6.14 Risk faktör ağırlıkları ile beklenen kazanç arasındaki ilişki-2



Şekil 6.15 Risk faktör ağırlıkları ile sapma miktarları arasındaki ilişki-2

λ ve ω' değerleri arttıkça ceza fonksiyonu büyüdüğünden beklenen kazancın düştüğü görülmektedir. Kullanıcı problemin cinsine göre hangi ağırlıkları kullanacağına karar verebilir. Seçilen alternatiflere bakıldığında ise $\lambda = 0$, $\omega' = 0$ ve $\lambda = 0.5$, $\omega' = 0.5$ dışındaki modeller ana model ile farklı alternatifleri seçmişlerdir.

7. SONUÇ

Bazı ters lojistik faaliyetleri yıllardan beri kullanılmakta olduğu halde ters lojistik faaliyetleri şirketler için yeni bir konudur. Sayısı gün geçtikçe artan şirketler müşteri tatminini sağlamak için kurdukları tedarik zincirlerini, kullanılmış ürünlerin toplanıp yeniden işlenmesini kapsayan ters lojistik aktiviteleri ile entegre etmenin önemini daha fazla kavramaktadır. Bu da şirketlerin ağ yapılarını etkin şekilde tasarlamalarını zorunlu kılmaktadır. Bu süreçte bilimsel tekniklerden yararlanmak karar vericilere doğru kararlar verebilmelerini sağlamaktadır.

Günümüzün büyüyen ekonomisinde yeni merkezlerin kurulması farklı karar faktörlerine bağlıdır. Genellikle tedarik zincirinde yeni merkezlerin açılması, toplam maliyeti etkileyecek kurulum ve taşıma maliyetleri ile ilişkilendirilir. Ters lojistik sisteminde ise kullanılmış ürünler müşterilerden toplandığı için bu faktör de modele dahil edilmektedir. Genellikle çözümler, ters lojistik problemlerinin iki önemli karakteristiğini yansıtır. Bunlar müşterilerden kullanılmış ürünlerin toplanıp işlenmesi ve tekrardan müşteriye ulaştırılmasıdır. Görüldüğü gibi birçok faktör tasarım aşamasını etkilemektedir. Bu yüzden bütün bu faktörleri içine alan bir model tasarlamak, gerçekçi sonuçlar elde etmeyi sağlar.

Bu çalışma, ters lojistik sisteminin ağ tasarımını hem deterministik hem de belirsizliği için içine katan modellerle çözmeye çalışmıştır. Ağ tasarımından kasıt, belirli bir coğrafyaya yayılmış ağın düğümlerinin optimum yerlerini bulmak ve bu düğümler arasındaki akış miktarlarını hesaplamaktır.

Çalışmada önerilen model, literatürde kabul görmüş modellere dayanmakta olduğu gibi, yeni kısıtlar ve değişkenler de önermektedir. Önerilen bu kısıt ve değişkenler ağ tasarımı çalışmalarına farklı bir açıdan bakılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca kullanılan teknikler açısından da literatürdeki çalışmalardan farklılık göstermektedir. Bu çalışmada belirlenmesi gereken düğümler toplama ve işleme merkezi iken, bu düğümler arasındaki akışlar ise müşteriden toplanan ve yeni üretilen ürünlerdir. Çalışmada kullanılan veriler atık kağıt toplayan ve geri dönüşümünü sağlayan birden fazla şirketten toplandığından yeni kurulmakta olan şirketler için öneri niteliğindedir.

İki Aşamalı Stokastik Programlama ile yapılan çözümler sonucu iki durum için bazı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bunlar:

- 1- Toplama ve işleme merkezlerini kapsayan ağın tasarımında üretilen ürünler açısından inceleme yapıldığında, müşterilerin % 23'üne daha fazla sayıda senaryoda yeni hammaddeden üretilen ürünler yollanırken % 77'sine daha fazla sayıda senaryoda geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünler yollanmaktadır. İşleme merkezini

kapsayan ağıın tasarımında üretilen ürünler açısından inceleme yapıldığında, müşterilerin % 40'ına daha fazla sayıda senaryoda yeni hammaddeden üretilen ürünler yollanırken % 60'ına daha fazla sayıda senaryoda geri dönüştürülmüş hammaddeden üretilen ürünler yollanmaktadır. Görüldüğü gibi her iki durumda da geri dönüşüm yeni üretmekten daha fazla kullanılmış bu da geri dönüşümün daha kazançlı bir iş olduğunu ispatlamaktadır.

- 2- Tüm durumlarda model kötü durumda olan ürünlerin daha fazla maliyetle ayrıştırılması kararını vermektedir. Bu da geri dönüşümün daha karlı bir olduğunu ispatlayan diğer bir göstergedir.
- 3- Müşteriden toplanmayan ürün miktarlarına bakıldığında toplama ve işleme merkezlerini kapsayan ağda model % 40'a yakın ürününün toplanmamasına izin veriyorken işleme merkezlerini kapsayan ağda model neredeyse tüm ürünün toplanmasına karar veriyor. Bu da ikinci durumun daha karlı bir iş olduğunu ispatlamaktadır.
- 4- Amaç fonksiyonları incelendiğinde toplama ve işleme merkezlerini kapsayan ağdaki kazanç işleme merkezlerini kapsayan ağdaki kazançtan daha azdır. Bu da ikinci durumun daha karlı bir iş olduğunu ispatlayan başka bir göstergedir.

Bu sonuçlar iki adet önemli çıkarımı ortaya koymaktadır: geri dönüşüm yeni üretmeye göre karlı bir iştir ve uygulamada bahsedilen ters lojistik ağı için sadece işleme merkezini kapsayan ağıın hayata geçirilmesi şirket için daha kazançlı olacaktır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, önerilen modelimiz ters lojistik sistemini içeren şirketlerin ağıının tasarlanması gibi gerçekçi uygulamaların ihtiyaçlarına cevap verebilmektedir. Ayrıca daha önce stokastik programlama ile yapılmış ağ tasarımı çalışmalarına bakıldığında, kullanılan senaryo sayıları oldukça küçüktür. Fakat önerilen modele dahil edilen senaryo sayısı ise 40 adettir. Bu da gerçekçi sonuçlar elde etmemizi kolaylaştırmaktadır.

Deterministik model tüm parametrelerin bilindiği durumlar için uygulanmıştır. Fakat gerçek hayatta parametreler genellikle belirsizdir. Stokastik programlama belirsizliğin giderilmesi için etkin olarak kullanılabilir. Stokastik programlama da belirsizlik genellikle senaryo ile ifade edilir. Bu çalışmanın başında, ağ tasarımını etkileyen iki adet parametre olduğu saptanmıştır. Bunlar, müşteri talebi ve müşteriden toplanabilecek ürün adetleridir. Bu yüzden stokastik modelde, müşteri talebinin ve müşteriden toplanabilecek ürün adetlerinin belirsiz olduğu varsayılmış ve belirsizliğin giderilmesi aşamasında bu parametreler için 40 adet

senaryo üretilmiştir. Bu çalışma, belirsizliğin çözüme entegre edilmesi için stokastik programlamanın elverişli bir metot olduğunu göstermektedir. Stokastik programlamanın diğer bir faydalı yanı ise, belirsizlik giderilmeden önce ve sonra karar alabilme özgürlüğünü karar vericiye tanıyabilmesidir. Kullanılan diğer bir teknikte robust programlamadır. Bu tekniğin temeli, optimallik ve fizibilite arasında denge sağlama esasına dayanmaktadır. Bu teknikte tatmin edilemeyen kısıtlarla ilgili ceza fonksiyonu amaç fonksiyonuna dahil edilmektedir. Ayrıca kazanç ile beklenen değerinin arasındaki sapma miktarı da amaç fonksiyonuna dahil edilmektedir. Bu değer mutlak değer ile ifade edilir ve bu değer doğrusal hale getirilmesi için hedef programlamaya dayalı bir teknik kullanılmıştır. Bu model, hata miktarının en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmanın amacı, günümüzde hızla önem kazanmakta olan ters lojistik sisteminin tasarlanması aşamasında farklı bakış açılarını yansıtmaya çalışmaktır.

Yapılan çalışmalara ilave olarak ileriki çalışmalarda daha fazla müşteriye içeren, çok ürünlü ya da daha fazla aşamayı içeren daha karmaşık problemler ile ilgilenilebilir ki bu da farklı heuristikleri modelimize adapte ederek yapılabilir. Ayrıca üretilen senaryo sayıları da büyütülebilir. Zaman boyutu modelimize ilave edilerek uygulamanın gerçekçiliği pekiştirilebilir. Bunun yanında önerilen model, birden fazla amacı optimize etmeye çalışan çok amaçlı bir modele de genişletilebilir. Bu noktalar ileriki çalışmalarımızın temelini oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alumur, S., Kara, B.Y., (2007), "A new model for the hazardous waste location-routing problem", *Computers & Operations Research*, 34: 1406–1423.
- Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V., (1998), "A two-level network for recycling sand: A case study", *European Journal of Operational Research* 110: 199-214.
- Beamon, B.M., Fernandes, C., (2004), "Supply-chain network configuration for product recovery" *Production Planning & Control*, 15, No. 3: 270–281.
- Birge, J.R., Louveaux, F., (1997), *Introduction to Stochastic Programming*, Springer-Verlag, Berlin.
- Blanc, H.M., Fleuren, H.A., Krikke, H.R., (2004), "Redesign of a recycling system for LPG-tanks", *OR Spectrum*, 26: 283–304.
- Blumberg, D.F., (2005), *Introduction to Managament of Reverse Logistics and Closed Loop Supply Chain Processes*, Taylor& Francis Group, Florida.
- Chouinard, M., D'Amoursa, S., Ait-Kadi, D., (2008), "A stochastic programming approach for designing supply loops", *International. Journal Production Economics* 113: 657–677.
- Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Wassenhove L.N.V., (2004), *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chain*, Springer-Verlag, Berlin.
- Fleischmann, M. (2001), *Quantitative Models for Reverse Logistics*, Springer-Verlag, Berlin.
- 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.
- Jayaraman, V., Patterson, R.A., Rolland, E., (2003), "The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures", *European Journal of Operational Research*, 150: 128–149.
- Ko, H.J., Evans, G.W., (2007), "A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs", *Computers & Operations Research*, 34: 346–366.
- Krikke, H.R., Harten, A.V., Schuur, P.C., (1999), "Business case Oce: Reverse logistic network re-design for copiers", *OR Spectrum*, 21: 381–409.
- Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J., Wassenhove, L.N.V., (2003), "Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators" *International Journal of Production Research*, 41 (16): 3689–3719.
- Lai, K.K., Wang, M., Liang, L., (2007), "A stochastic approach to professional services firms' revenue optimization", *European Journal of Operational Research*, 182: 971–982.
- Lee, D-H., Dong, M., (2008), "A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery", *Transportation Research Part E*, 44: 455–474.
- Leung, S.C.H., Tsang, S.O.S., Ng, W.L., Wu, W.L., (2007), "A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment", *European Journal of Operational Research*, 181: 224–238.
- Lieckens, K., Vandaele, N., (2007), "Reverse logistics network design with stochastic lead times", *Computers & Operations Research*, 34: 395–416.

- Listeş, O., (2007), "A generic stochastic model for supply-and-return network design", *Computers & Operations Research*, 34: 417–442.
- Listeş, O., Dekker, R., (2005), "A stochastic approach to a case study for product recovery network design", *European Journal of Operational Research* 160: 268–287.
- Lu, Z., Bostel, N. (2007), "A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities", *Computers & Operations Research*, 34: 299–323.
- Madansky, A., (1960), "Inequalities for stochastic linear programming problems", *Management Science*, 6: 197–204.
- Maqsood, I., Huang, G.H., (2003), "A two-stage interval stochastic programming model for waste management under uncertainty", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53: 540–552.
- Min, H., Ko, H.J., (2008), "The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers", *International Journal Production Economics*, 113: 176–192.
- 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: 56–69.
- Mulvey, J.M., Ruszczyński, A. (1995), "A new scenario decomposition method for large-scale stochastic optimization", *Operations Research*, 43: 477–490.
- Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J., Zenios, S.A. (1995), "Robust optimization of large-scale systems", *Operations Research*, 43: 264–281.
- Nema, A.K., Gupta, S.K., (1999), "Optimization of regional hazardous waste management systems: an improved formulation", *Waste Management*, 19: 441–451.
- Ruszczyński, A., Shapiro, A. (2003), *Handbooks in Operations Research and Management Science: Stochastic Programming*, Elsevier, Amsterdam.
- Pati, R.K., Vrat, P., Kumar, P., (2008), "A goal programming model for paper recycling system", *Omega*, 36: 405–417.
- Pohlen, T.L., Farris, M., (1992), "Reverse Logistics in plastic recycling", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 22 (7): 35–47.
- Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., (1998), *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, PA.
- Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q., (2007), "An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 179: 1063–1077.
- Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q., (2006), "A warehouse-based design model for reverse logistics", *Journal of the Operational Research Society*, 57: 615–629.
- Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M., Shapiro, A., (2005), "A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 167: 96–115.
- Sheu, J.B. (2007), "A coordinated reverse logistics system for regional management of multi-source hazardous wastes", *Computers & Operations Research*, 34: 1442–1462.
- Shih, L., (2001), "Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan", *Resources, Conservation and Recycling*, 32: 55–72.

Spengler, T., Püchert, H., Penkuhn, T., Rentz, O., (1997), “Environmental integrated production and recycling management”, *European Journal of Operational Research* 97: 308-326.

Stock, J.R., (1992), *Reverse Logistics*, Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.

Tibben-Lembke, R.S., Rogers, D.S., (2002) “Differences between forward and reverse logistics in a retail environment”, *Supply Chain Management: An International Journal*, 7 (5):271-282.

Tsiakis, P., Shah, N., Pantelides, C.C., (2001), “Design of Multi-echelon Supply Chain Networks under Demand Uncertainty”, *Industrial Engineering and Chemistry Research*, 40: 3585-3604.

Yu, C.S., Li, H.L., (2000), “A robust optimization model for stochastic logistic problems”, *International Journal of Production Economics*, 64, 385–397.

EKLER

Ek 1 Senaryo bazında müşterilerden toplanabilecek ürün miktarları

Ek 2 Senaryo bazında müşteri talebi

Ek 3 İşleme ve toplama merkezlerinin dahil olduğu durum için İASP modeli tarafından hesaplanan zf_{kis} , zr_{kis} , h_{iks} değerleri

Ek 4 Sadece İşleme merkezinin dahil olduğu durum için İASP modeli tarafından hesaplanan zf_{kis} , zr_{kis} , h_{iks} , w_{ijs} değerleri

Ek 1 Senaryo bazında müşterilerden toplanabilecek ürün miktarları

İs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	4,614	5,269	8,969	9,693	14,288	11,871	7,291	11,677	5,297	6,839	8,693	25,599	11,131	8,484	33,834
2	3,784	4,321	7,354	7,948	11,716	9,734	5,978	9,575	4,344	5,608	7,129	20,991	9,127	6,957	27,744
3	4,499	5,138	8,745	9,451	13,930	11,575	7,108	11,385	5,165	6,668	8,476	24,959	10,852	8,272	32,988
4	1,846	2,108	3,588	3,877	5,715	4,749	2,916	4,671	2,119	2,736	3,477	10,240	4,452	3,394	13,534
5	2,596	2,964	5,045	5,452	8,037	6,678	4,101	6,569	2,980	3,847	4,890	14,400	6,261	4,772	19,032
6	692	790	1,345	1,454	2,143	1,781	1,094	1,752	795	1,026	1,304	3,840	1,670	1,273	5,075
7	3,057	3,491	5,942	6,422	9,466	7,865	4,830	7,736	3,509	4,531	5,759	16,960	7,374	5,621	22,415
8	3,576	4,084	6,951	7,512	11,073	9,200	5,650	9,050	4,105	5,300	6,737	19,839	8,626	6,575	26,221
9	1,730	1,976	3,363	3,635	5,358	4,452	2,734	4,379	1,986	2,565	3,260	9,600	4,174	3,182	12,688
10	2,249	2,569	4,372	4,725	6,965	5,787	3,554	5,693	2,582	3,334	4,238	12,480	5,426	4,136	16,494
11	1,730	1,976	3,363	3,635	5,358	4,452	2,734	4,379	1,986	2,565	3,260	9,600	4,174	3,182	12,688
12	2,521	2,878	4,899	5,295	7,805	6,485	3,982	6,379	2,893	3,736	4,749	13,984	6,080	4,634	18,482
13	2,826	3,228	5,493	5,937	8,751	7,271	4,465	7,152	3,244	4,189	5,325	15,680	6,818	5,196	20,723
14	5,479	6,258	10,650	11,511	16,967	14,097	8,658	13,867	6,290	8,122	10,324	30,399	13,218	10,075	40,178
15	513	586	998	1,078	1,590	1,321	811	1,299	589	761	967	2,848	1,238	944	3,764
16	992	1,133	1,928	2,084	3,072	2,552	1,567	2,511	1,139	1,470	1,869	5,504	2,393	1,824	7,274
17	1,327	1,515	2,579	2,787	4,108	3,413	2,096	3,357	1,523	1,966	2,499	7,360	3,200	2,439	9,727
18	692	790	1,345	1,454	2,143	1,781	1,094	1,752	795	1,026	1,304	3,840	1,670	1,273	5,075
19	2,480	2,832	4,821	5,210	7,680	6,381	3,919	6,277	2,847	3,676	4,673	13,760	5,983	4,560	18,186
20	692	790	1,345	1,454	2,143	1,781	1,094	1,752	795	1,026	1,304	3,840	1,670	1,273	5,075
21	3,230	3,689	6,278	6,785	10,001	8,310	5,103	8,174	3,708	4,787	6,085	17,919	7,791	5,939	23,684
22	1,961	2,240	3,812	4,120	6,072	5,045	3,098	4,963	2,251	2,907	3,695	10,880	4,731	3,606	14,379

23	6,460	7,377	12,556	13,570	20,003	16,620	10,207	16,348	7,416	9,575	12,171	35,839	15,583	11,878	47,367
24	3,864	4,413	7,511	8,118	11,966	9,942	6,106	9,780	4,436	5,728	7,281	21,439	9,322	7,105	28,336
25	5,133	5,862	9,978	10,784	15,895	13,207	8,111	12,991	5,893	7,609	9,671	28,479	12,383	9,438	37,640
26	2,596	2,964	5,045	5,452	8,037	6,678	4,101	6,569	2,980	3,847	4,890	14,400	6,261	4,772	19,032
27	3,230	3,689	6,278	6,785	10,001	8,310	5,103	8,174	3,708	4,787	6,085	17,919	7,791	5,939	23,684
28	7,094	8,102	13,790	14,903	21,967	18,252	11,209	17,954	8,144	10,515	13,366	39,359	17,113	13,044	52,019
29	6,921	7,904	13,453	14,540	21,432	17,807	10,936	17,516	7,945	10,259	13,040	38,399	16,696	12,726	50,751
30	2,215	2,529	4,305	4,653	6,858	5,698	3,499	5,605	2,543	3,283	4,173	12,288	5,343	4,072	16,240
31	2,596	2,964	5,045	5,452	8,037	6,678	4,101	6,569	2,980	3,847	4,890	14,400	6,261	4,772	19,032
32	3,922	4,479	7,624	8,239	12,145	10,091	6,197	9,926	4,502	5,813	7,389	21,759	9,461	7,211	28,759
33	2,647	3,023	5,146	5,561	8,198	6,811	4,183	6,700	3,039	3,924	4,988	14,688	6,386	4,868	19,412
34	692	790	1,345	1,454	2,143	1,781	1,094	1,752	795	1,026	1,304	3,840	1,670	1,273	5,075
35	1,373	1,568	2,668	2,884	4,251	3,532	2,169	3,474	1,576	2,035	2,586	7,616	3,311	2,524	10,066
36	3,230	3,689	6,278	6,785	10,001	8,310	5,103	8,174	3,708	4,787	6,085	17,919	7,791	5,939	23,684
37	4,499	5,138	8,745	9,451	13,930	11,575	7,108	11,385	5,165	6,668	8,476	24,959	10,852	8,272	32,988
38	9,015	10,295	17,523	18,938	27,915	23,194	14,244	22,815	10,349	13,362	16,985	50,015	21,746	16,576	66,103
39	5,191	5,928	10,090	10,905	16,074	13,355	8,202	13,137	5,959	7,694	9,780	28,799	12,522	9,545	38,063
40	4,499	5,138	8,745	9,451	13,930	11,575	7,108	11,385	5,165	6,668	8,476	24,959	10,852	8,272	32,988
41	3,126	3,570	6,076	6,567	9,680	8,043	4,939	7,911	3,589	4,634	5,890	17,343	7,541	5,748	22,922
42	4,499	5,138	8,745	9,451	13,930	11,575	7,108	11,385	5,165	6,668	8,476	24,959	10,852	8,272	32,988
43	8,363	9,551	16,256	17,569	25,896	21,517	13,214	21,165	9,601	12,396	15,757	46,399	20,174	15,377	61,324
44	1,327	1,515	2,579	2,787	4,108	3,413	2,096	3,357	1,523	1,966	2,499	7,360	3,200	2,439	9,727
45	709	810	1,379	1,490	2,197	1,825	1,121	1,795	814	1,052	1,337	3,936	1,711	1,304	5,202
46	1,961	2,240	3,812	4,120	6,072	5,045	3,098	4,963	2,251	2,907	3,695	10,880	4,731	3,606	14,379
47	2,596	2,964	5,045	5,452	8,037	6,678	4,101	6,569	2,980	3,847	4,890	14,400	6,261	4,772	19,032
48	5,133	5,862	9,978	10,784	15,895	13,207	8,111	12,991	5,893	7,609	9,671	28,479	12,383	9,438	37,640

49	3,230	3,689	6,278	6,785	10,001	8,310	5,103	8,174	3,708	4,787	6,085	17,919	7,791	5,939	23,684
50	2,647	3,023	5,146	5,561	8,198	6,811	4,183	6,700	3,039	3,924	4,988	14,688	6,386	4,868	19,412
İs	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	6,920	39,128	7,015	4,036	6,799	8,501	8,878	10,142	3,655	10,269	8,056	4,276	10,455	4,293	6,469
2	5,674	32,085	5,753	3,310	5,575	6,971	7,280	8,317	2,997	8,420	6,606	3,506	8,573	3,520	5,304
3	6,747	38,149	6,840	3,935	6,629	8,288	8,656	9,889	3,563	10,012	7,855	4,169	10,193	4,186	6,307
4	2,768	15,651	2,806	1,614	2,720	3,400	3,551	4,057	1,462	4,108	3,223	1,710	4,182	1,717	2,587
5	3,892	22,009	3,946	2,270	3,825	4,782	4,994	5,705	2,056	5,776	4,532	2,405	5,881	2,415	3,639
6	1,038	5,869	1,052	605	1,020	1,275	1,332	1,521	548	1,540	1,208	641	1,568	644	970
7	4,584	25,922	4,648	2,674	4,504	5,632	5,881	6,719	2,421	6,803	5,337	2,833	6,926	2,844	4,285
8	5,363	30,324	5,437	3,128	5,269	6,588	6,880	7,860	2,832	7,958	6,244	3,314	8,102	3,327	5,013
9	2,595	14,673	2,631	1,514	2,550	3,188	3,329	3,803	1,370	3,851	3,021	1,603	3,920	1,610	2,426
10	3,373	19,075	3,420	1,968	3,315	4,144	4,328	4,944	1,782	5,006	3,927	2,084	5,097	2,093	3,153
11	2,595	14,673	2,631	1,514	2,550	3,188	3,329	3,803	1,370	3,851	3,021	1,603	3,920	1,610	2,426
12	3,780	21,373	3,832	2,205	3,714	4,643	4,849	5,540	1,996	5,609	4,401	2,336	5,711	2,345	3,533
13	4,238	23,966	4,297	2,472	4,164	5,207	5,438	6,212	2,238	6,290	4,935	2,619	6,403	2,629	3,962
14	8,217	46,464	8,331	4,793	8,074	10,095	10,542	12,044	4,340	12,194	9,567	5,077	12,415	5,098	7,681
15	770	4,353	780	449	756	946	988	1,128	407	1,142	896	476	1,163	478	720
16	1,488	8,412	1,508	868	1,462	1,828	1,909	2,181	786	2,208	1,732	919	2,248	923	1,391
17	1,989	11,249	2,017	1,160	1,955	2,444	2,552	2,916	1,051	2,952	2,316	1,229	3,006	1,234	1,860
18	1,038	5,869	1,052	605	1,020	1,275	1,332	1,521	548	1,540	1,208	641	1,568	644	970
19	3,719	21,031	3,771	2,169	3,655	4,569	4,772	5,452	1,964	5,519	4,330	2,298	5,619	2,308	3,477
20	1,038	5,869	1,052	605	1,020	1,275	1,332	1,521	548	1,540	1,208	641	1,568	644	970
21	4,844	27,389	4,911	2,825	4,759	5,950	6,214	7,100	2,558	7,188	5,639	2,993	7,318	3,005	4,528
22	2,941	16,629	2,982	1,715	2,890	3,613	3,773	4,310	1,553	4,364	3,424	1,817	4,443	1,825	2,749
23	9,688	54,779	9,821	5,651	9,519	11,901	12,429	14,199	5,116	14,376	11,279	5,986	14,636	6,010	9,056

24	5,795	32,769	5,875	3,380	5,694	7,119	7,435	8,494	3,061	8,600	6,747	3,581	8,756	3,595	5,417
25	7,698	43,530	7,805	4,490	7,564	9,457	9,876	11,283	4,066	11,424	8,963	4,757	11,631	4,776	7,196
26	3,892	22,009	3,946	2,270	3,825	4,782	4,994	5,705	2,056	5,776	4,532	2,405	5,881	2,415	3,639
27	4,844	27,389	4,911	2,825	4,759	5,950	6,214	7,100	2,558	7,188	5,639	2,993	7,318	3,005	4,528
28	10,639	60,159	10,786	6,206	10,454	13,070	13,649	15,594	5,619	15,788	12,387	6,574	16,074	6,601	9,945
29	10,380	58,692	10,523	6,054	10,199	12,751	13,317	15,213	5,482	15,403	12,085	6,414	15,682	6,440	9,703
30	3,321	18,781	3,367	1,937	3,264	4,080	4,261	4,868	1,754	4,929	3,867	2,052	5,018	2,061	3,105
31	3,892	22,009	3,946	2,270	3,825	4,782	4,994	5,705	2,056	5,776	4,532	2,405	5,881	2,415	3,639
32	5,882	33,259	5,963	3,431	5,779	7,226	7,546	8,621	3,106	8,728	6,848	3,634	8,886	3,649	5,498
33	3,970	22,450	4,025	2,316	3,901	4,877	5,094	5,819	2,097	5,892	4,622	2,453	5,998	2,463	3,711
34	1,038	5,869	1,052	605	1,020	1,275	1,332	1,521	548	1,540	1,208	641	1,568	644	970
35	2,059	11,640	2,087	1,201	2,023	2,529	2,641	3,017	1,087	3,055	2,397	1,272	3,110	1,277	1,924
36	4,844	27,389	4,911	2,825	4,759	5,950	6,214	7,100	2,558	7,188	5,639	2,993	7,318	3,005	4,528
37	6,747	38,149	6,840	3,935	6,629	8,288	8,656	9,889	3,563	10,012	7,855	4,169	10,193	4,186	6,307
38	13,519	76,446	13,706	7,886	13,284	16,608	17,345	19,816	7,140	20,063	15,740	8,354	20,426	8,388	12,638
39	7,785	44,019	7,892	4,541	7,649	9,563	9,987	11,410	4,111	11,552	9,063	4,810	11,761	4,830	7,277
40	6,747	38,149	6,840	3,935	6,629	8,288	8,656	9,889	3,563	10,012	7,855	4,169	10,193	4,186	6,307
41	4,688	26,509	4,753	2,735	4,606	5,759	6,015	6,871	2,476	6,957	5,458	2,897	7,083	2,909	4,382
42	6,747	38,149	6,840	3,935	6,629	8,288	8,656	9,889	3,563	10,012	7,855	4,169	10,193	4,186	6,307
43	12,542	70,919	12,715	7,316	12,323	15,407	16,091	18,383	6,624	18,612	14,602	7,750	18,949	7,781	11,724
44	1,989	11,249	2,017	1,160	1,955	2,444	2,552	2,916	1,051	2,952	2,316	1,229	3,006	1,234	1,860
45	1,064	6,016	1,079	621	1,045	1,307	1,365	1,559	562	1,579	1,239	657	1,607	660	995
46	2,941	16,629	2,982	1,715	2,890	3,613	3,773	4,310	1,553	4,364	3,424	1,817	4,443	1,825	2,749
47	3,892	22,009	3,946	2,270	3,825	4,782	4,994	5,705	2,056	5,776	4,532	2,405	5,881	2,415	3,639
48	7,698	43,530	7,805	4,490	7,564	9,457	9,876	11,283	4,066	11,424	8,963	4,757	11,631	4,776	7,196
49	4,844	27,389	4,911	2,825	4,759	5,950	6,214	7,100	2,558	7,188	5,639	2,993	7,318	3,005	4,528

50	3,970	22,450	4,025	2,316	3,901	4,877	5,094	5,819	2,097	5,892	4,622	2,453	5,998	2,463	3,711
İs	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40					
1	6,001	5,373	8,568	10,509	4,742	7,061	3,001	12,202	18,476	8,949					
2	4,921	4,406	7,026	8,617	3,888	5,790	2,461	10,006	15,150	7,338					
3	5,851	5,239	8,354	10,246	4,623	6,885	2,926	11,897	18,014	8,725					
4	2,400	2,149	3,427	4,204	1,897	2,825	1,200	4,881	7,390	3,580					
5	3,376	3,022	4,819	5,911	2,667	3,972	1,688	6,864	10,393	5,034					
6	900	806	1,285	1,576	711	1,059	450	1,830	2,771	1,342					
7	3,976	3,560	5,676	6,962	3,141	4,678	1,988	8,084	12,240	5,929					
8	4,651	4,164	6,640	8,144	3,675	5,473	2,326	9,457	14,319	6,935					
9	2,250	2,015	3,213	3,941	1,778	2,648	1,125	4,576	6,929	3,356					
10	2,926	2,619	4,177	5,123	2,312	3,442	1,463	5,949	9,007	4,363					
11	2,250	2,015	3,213	3,941	1,778	2,648	1,125	4,576	6,929	3,356					
12	3,278	2,935	4,680	5,741	2,590	3,857	1,639	6,665	10,093	4,888					
13	3,676	3,291	5,248	6,437	2,904	4,325	1,838	7,474	11,317	5,481					
14	7,126	6,380	10,174	12,479	5,631	8,385	3,564	14,490	21,940	10,627					
15	668	598	953	1,169	528	786	334	1,357	2,055	996					
16	1,290	1,155	1,842	2,259	1,020	1,518	645	2,623	3,972	1,924					
17	1,725	1,545	2,463	3,021	1,363	2,030	863	3,508	5,312	2,573					
18	900	806	1,285	1,576	711	1,059	450	1,830	2,771	1,342					
19	3,226	2,888	4,605	5,649	2,549	3,795	1,613	6,559	9,931	4,810					
20	900	806	1,285	1,576	711	1,059	450	1,830	2,771	1,342					
21	4,201	3,761	5,997	7,356	3,319	4,943	2,101	8,542	12,933	6,264					
22	2,551	2,284	3,641	4,466	2,015	3,001	1,275	5,186	7,852	3,803					
23	8,402	7,522	11,995	14,713	6,639	9,886	4,201	17,083	25,867	12,528					
24	5,026	4,500	7,176	8,801	3,971	5,914	2,513	10,219	15,474	7,495					

25	6,676	5,977	9,532	11,691	5,275	7,856	3,338	13,575	20,555	9,956					
26	3,376	3,022	4,819	5,911	2,667	3,972	1,688	6,864	10,393	5,034					
27	4,201	3,761	5,997	7,356	3,319	4,943	2,101	8,542	12,933	6,264					
28	9,227	8,261	13,173	16,158	7,291	10,857	4,614	18,761	28,407	13,759					
29	9,002	8,059	12,852	15,763	7,113	10,592	4,501	18,303	27,714	13,423					
30	2,881	2,579	4,113	5,044	2,276	3,389	1,440	5,857	8,869	4,295					
31	3,376	3,022	4,819	5,911	2,667	3,972	1,688	6,864	10,393	5,034					
32	5,101	4,567	7,283	8,933	4,031	6,002	2,551	10,372	15,705	7,607					
33	3,443	3,083	4,916	6,030	2,721	4,051	1,722	7,001	10,601	5,134					
34	900	806	1,285	1,576	711	1,059	450	1,830	2,771	1,342					
35	1,785	1,598	2,549	3,126	1,411	2,101	893	3,630	5,497	2,662					
36	4,201	3,761	5,997	7,356	3,319	4,943	2,101	8,542	12,933	6,264					
37	5,851	5,239	8,354	10,246	4,623	6,885	2,926	11,897	18,014	8,725					
38	11,725	10,497	16,739	20,532	9,264	13,796	5,863	23,840	36,098	17,484					
39	6,751	6,045	9,639	11,823	5,335	7,944	3,376	13,728	20,786	10,067					
40	5,851	5,239	8,354	10,246	4,623	6,885	2,926	11,897	18,014	8,725					
41	4,066	3,640	5,805	7,120	3,213	4,784	2,033	8,267	12,518	6,063					
42	5,851	5,239	8,354	10,246	4,623	6,885	2,926	11,897	18,014	8,725					
43	10,877	9,739	15,529	19,047	8,595	12,799	5,439	22,117	33,488	16,220					
44	1,725	1,545	2,463	3,021	1,363	2,030	863	3,508	5,312	2,573					
45	923	826	1,317	1,616	729	1,086	461	1,876	2,841	1,376					
46	2,551	2,284	3,641	4,466	2,015	3,001	1,275	5,186	7,852	3,803					
47	3,376	3,022	4,819	5,911	2,667	3,972	1,688	6,864	10,393	5,034					
48	6,676	5,977	9,532	11,691	5,275	7,856	3,338	13,575	20,555	9,956					
49	4,201	3,761	5,997	7,356	3,319	4,943	2,101	8,542	12,933	6,264					
50	3,443	3,083	4,916	6,030	2,721	4,051	1,722	7,001	10,601	5,134					

Ek 2 Senaryo bazında müşteri talebi

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	10,382	11,856	20,180	21,810	32,147	26,710	16,404	26,274	11,918	15,388	19,560	57,598	25,044	19,089	76,126
2	5,306	6,060	10,314	11,147	16,431	13,652	8,384	13,429	6,092	7,865	9,997	29,439	12,800	9,757	38,909
3	9,517	10,868	18,498	19,992	29,468	24,485	15,037	24,085	10,925	14,106	17,930	52,798	22,957	17,498	69,782
4	5,133	5,862	9,978	10,784	15,895	13,207	8,111	12,991	5,893	7,609	9,671	28,479	12,383	9,438	37,640
5	2,596	2,964	5,045	5,452	8,037	6,678	4,101	6,569	2,980	3,847	4,890	14,400	6,261	4,772	19,032
6	6,921	7,904	13,453	14,540	21,432	17,807	10,936	17,516	7,945	10,259	13,040	38,399	16,696	12,726	50,751
7	6,921	7,904	13,453	14,540	21,432	17,807	10,936	17,516	7,945	10,259	13,040	38,399	16,696	12,726	50,751
8	7,498	8,563	14,574	15,751	23,217	19,291	11,847	18,976	8,608	11,114	14,127	41,599	18,087	13,787	54,980
9	4,038	4,611	7,848	8,482	12,502	10,387	6,379	10,218	4,635	5,984	7,607	22,399	9,739	7,424	29,605
10	19,611	22,395	38,118	41,196	60,723	50,453	30,985	49,629	22,512	29,067	36,947	108,797	47,305	36,057	143,794
11	2,884	3,293	5,606	6,058	8,930	7,420	4,557	7,298	3,311	4,275	5,433	16,000	6,957	5,303	21,146
12	6,921	7,904	13,453	14,540	21,432	17,807	10,936	17,516	7,945	10,259	13,040	38,399	16,696	12,726	50,751
13	18,457	21,078	35,875	38,773	57,151	47,485	29,162	46,709	21,188	27,357	34,774	102,397	44,523	33,936	135,335
14	8,075	9,222	15,695	16,963	25,003	20,775	12,758	20,435	9,270	11,969	15,214	44,799	19,479	14,847	59,209
15	6,921	7,904	13,453	14,540	21,432	17,807	10,936	17,516	7,945	10,259	13,040	38,399	16,696	12,726	50,751
16	12,689	14,491	24,664	26,656	39,291	32,646	20,049	32,113	14,567	18,808	23,907	70,398	30,609	23,331	93,043
17	7,498	8,563	14,574	15,751	23,217	19,291	11,847	18,976	8,608	11,114	14,127	41,599	18,087	13,787	54,980
18	25,955	29,641	50,450	54,524	80,368	66,776	41,009	65,685	29,795	38,471	48,901	143,996	62,610	47,723	190,315
19	14,996	17,126	29,149	31,503	46,435	38,582	23,694	37,951	17,215	22,228	28,254	83,198	36,175	27,573	109,960
20	9,805	11,198	19,059	20,598	30,361	25,227	15,492	24,814	11,256	14,533	18,474	54,398	23,653	18,029	71,897
21	32,300	36,886	62,782	67,852	100,014	83,099	51,034	81,741	37,079	47,875	60,854	179,195	77,914	59,388	236,837

22	6,921	7,904	13,453	14,540	21,432	17,807	10,936	17,516	7,945	10,259	13,040	38,399	16,696	12,726	50,751
23	13,266	15,150	25,785	27,868	41,077	34,130	20,960	33,572	15,229	19,663	24,994	73,598	32,001	24,392	97,272
24	8,998	10,276	17,489	18,902	27,861	23,149	14,217	22,771	10,329	13,337	16,952	49,919	21,705	16,544	65,976
25	6,114	6,982	11,884	12,844	18,931	15,729	9,660	15,472	7,018	9,062	11,519	33,919	14,748	11,241	44,830
26	5,191	5,928	10,090	10,905	16,074	13,355	8,202	13,137	5,959	7,694	9,780	28,799	12,522	9,545	38,063
27	5,018	5,731	9,754	10,541	15,538	12,910	7,928	12,699	5,760	7,438	9,454	27,839	12,105	9,226	36,794
28	9,805	11,198	19,059	20,598	30,361	25,227	15,492	24,814	11,256	14,533	18,474	54,398	23,653	18,029	71,897
29	9,229	10,539	17,938	19,386	28,575	23,743	14,581	23,355	10,594	13,678	17,387	51,199	22,261	16,968	67,668
30	5,653	6,455	10,987	11,874	17,502	14,542	8,931	14,305	6,489	8,378	10,650	31,359	13,635	10,393	41,446
İs	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	15,569	88,037	15,784	9,081	15,298	19,126	19,975	22,820	8,223	23,105	18,127	9,620	23,523	9,659	14,554
2	7,958	44,997	8,068	4,642	7,819	9,776	10,209	11,664	4,203	11,809	9,265	4,917	12,023	4,937	7,439
3	14,272	80,701	14,469	8,325	14,023	17,533	18,310	20,919	7,537	21,179	16,616	8,819	21,562	8,854	13,341
4	7,698	43,530	7,805	4,490	7,564	9,457	9,876	11,283	4,066	11,424	8,963	4,757	11,631	4,776	7,196
5	3,892	22,009	3,946	2,270	3,825	4,782	4,994	5,705	2,056	5,776	4,532	2,405	5,881	2,415	3,639
6	10,380	58,692	10,523	6,054	10,199	12,751	13,317	15,213	5,482	15,403	12,085	6,414	15,682	6,440	9,703
7	10,380	58,692	10,523	6,054	10,199	12,751	13,317	15,213	5,482	15,403	12,085	6,414	15,682	6,440	9,703
8	11,244	63,582	11,400	6,559	11,049	13,814	14,426	16,481	5,939	16,687	13,092	6,948	16,989	6,976	10,511
9	6,055	34,237	6,138	3,532	5,949	7,438	7,768	8,875	3,198	8,985	7,049	3,741	9,148	3,756	5,660
10	29,409	166,293	29,815	17,154	28,896	36,128	37,730	43,105	15,532	43,642	34,240	18,172	44,432	18,245	27,491
11	4,325	24,455	4,385	2,523	4,249	5,313	5,549	6,339	2,284	6,418	5,035	2,672	6,534	2,683	4,043
12	10,380	58,692	10,523	6,054	10,199	12,751	13,317	15,213	5,482	15,403	12,085	6,414	15,682	6,440	9,703
13	27,679	156,511	28,061	16,145	27,197	34,003	35,511	40,569	14,618	41,075	32,225	17,103	41,818	17,172	25,874
14	12,109	68,473	12,277	7,063	11,899	14,876	15,536	17,749	6,395	17,970	14,099	7,482	18,295	7,513	11,320
15	10,380	58,692	10,523	6,054	10,199	12,751	13,317	15,213	5,482	15,403	12,085	6,414	15,682	6,440	9,703

16	19,029	107,601	19,292	11,100	18,698	23,377	24,414	27,891	10,050	28,239	22,155	11,758	28,750	11,806	17,788
17	11,244	63,582	11,400	6,559	11,049	13,814	14,426	16,481	5,939	16,687	13,092	6,948	16,989	6,976	10,511
18	38,923	220,093	39,461	22,704	38,245	47,816	49,937	57,051	20,557	57,762	45,317	24,051	58,807	24,148	36,385
19	22,489	127,165	22,800	13,118	22,097	27,627	28,853	32,963	11,877	33,373	26,183	13,896	33,977	13,952	21,023
20	14,704	83,146	14,908	8,577	14,448	18,064	18,865	21,552	7,766	21,821	17,120	9,086	22,216	9,123	13,746
21	48,438	273,894	49,107	28,254	47,594	59,505	62,144	70,996	25,582	71,881	56,395	29,930	73,182	30,051	45,280
22	10,380	58,692	10,523	6,054	10,199	12,751	13,317	15,213	5,482	15,403	12,085	6,414	15,682	6,440	9,703
23	19,894	112,492	20,169	11,604	19,548	24,439	25,523	29,159	10,507	29,523	23,162	12,293	30,057	12,343	18,597
24	13,493	76,299	13,680	7,871	13,258	16,576	17,312	19,778	7,126	20,024	15,710	8,338	20,386	8,371	12,614
25	9,169	51,844	9,295	5,348	9,009	11,263	11,763	13,439	4,842	13,606	10,675	5,665	13,852	5,688	8,571
26	7,785	44,019	7,892	4,541	7,649	9,563	9,987	11,410	4,111	11,552	9,063	4,810	11,761	4,830	7,277
27	7,525	42,551	7,629	4,389	7,394	9,244	9,655	11,030	3,974	11,167	8,761	4,650	11,369	4,669	7,034
28	14,704	83,146	14,908	8,577	14,448	18,064	18,865	21,552	7,766	21,821	17,120	9,086	22,216	9,123	13,746
29	13,839	78,255	14,031	8,072	13,598	17,001	17,755	20,285	7,309	20,538	16,113	8,551	20,909	8,586	12,937
30	8,477	47,931	8,594	4,944	8,329	10,413	10,875	12,424	4,477	12,579	9,869	5,238	12,807	5,259	7,924
is	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40					
1	13,503	12,089	19,278	23,645	10,669	15,888	6,752	27,455	41,571	20,135					
2	6,901	6,179	9,853	12,085	5,453	8,121	3,451	14,033	21,248	10,291					
3	12,378	11,082	17,671	21,675	9,780	14,564	6,189	25,167	38,107	18,457					
4	6,676	5,977	9,532	11,691	5,275	7,856	3,338	13,575	20,555	9,956					
5	3,376	3,022	4,819	5,911	2,667	3,972	1,688	6,864	10,393	5,034					
6	9,002	8,059	12,852	15,763	7,113	10,592	4,501	18,303	27,714	13,423					
7	9,002	8,059	12,852	15,763	7,113	10,592	4,501	18,303	27,714	13,423					
8	9,752	8,731	13,923	17,077	7,706	11,475	4,876	19,829	30,024	14,542					
9	5,251	4,701	7,497	9,195	4,149	6,179	2,626	10,677	16,167	7,830					

10	25,505	22,835	36,413	44,663	20,153	30,011	12,754	51,859	78,524	38,033					
11	3,751	3,358	5,355	6,568	2,964	4,413	1,876	7,626	11,548	5,593					
12	9,002	8,059	12,852	15,763	7,113	10,592	4,501	18,303	27,714	13,423					
13	24,005	21,492	34,271	42,036	18,967	28,245	12,003	48,809	73,905	35,796					
14	10,502	9,403	14,994	18,391	8,298	12,357	5,251	21,354	32,333	15,661					
15	9,002	8,059	12,852	15,763	7,113	10,592	4,501	18,303	27,714	13,423					
16	16,503	14,776	23,562	28,900	13,040	19,419	8,252	33,556	50,809	24,609					
17	9,752	8,731	13,923	17,077	7,706	11,475	4,876	19,829	30,024	14,542					
18	33,757	30,223	48,194	59,113	26,673	39,720	16,880	68,638	103,929	50,337					
19	19,504	17,462	27,845	34,154	15,411	22,949	9,753	39,657	60,048	29,084					
20	12,753	11,418	18,207	22,332	10,076	15,005	6,377	25,930	39,262	19,016					
21	42,009	37,611	59,975	73,563	33,193	49,429	21,006	85,416	129,333	62,642					
22	9,002	8,059	12,852	15,763	7,113	10,592	4,501	18,303	27,714	13,423					
23	17,254	15,447	24,633	30,213	13,633	20,301	8,627	35,081	53,119	25,728					
24	11,702	10,477	16,707	20,492	9,247	13,770	5,852	23,794	36,029	17,450					
25	7,952	7,119	11,352	13,924	6,283	9,356	3,976	16,168	24,481	11,857					
26	6,751	6,045	9,639	11,823	5,335	7,944	3,376	13,728	20,786	10,067					
27	6,526	5,843	9,318	11,428	5,157	7,679	3,263	13,270	20,093	9,732					
28	12,753	11,418	18,207	22,332	10,076	15,005	6,377	25,930	39,262	19,016					
29	12,002	10,746	17,136	21,018	9,484	14,123	6,002	24,404	36,952	17,898					
30	7,352	6,582	10,496	12,873	5,809	8,650	3,676	14,948	22,633	10,962					

Ek 3 İşleme ve toplama merkezlerinin dahil olduğu durum için İASP modeli tarafından hesaplanan zf_{kis} , zr_{kis} , h_{iks} ve w_{ijs} değerleri

s	$zf_{5.1.s}$	$zr_{5.1.s}$	$h_{1.5.s}$	$w_{1.6.s}$	$zf_{5.2.s}$	$zr_{5.2.s}$	$h_{2.5.s}$	$w_{2.15.s}$	$zf_{5.3.s}$	$zr_{5.3.s}$	$h_{3.5.s}$	$w_{3.6.s}$	$zf_{5.4.s}$	$zr_{5.4.s}$	$h_{4.5.s}$	$w_{4.6.s}$
1	.	10,382	.	2,768	5,306	.	.	2,270	9,517	.	1,350	1,350	.	5,133	.	1,108
2	11,856	.	.	3,161	6,060	.	.	2,593	10,868	.	1,541	1,541	5,862	.	.	1,265
3	9,785	10,395	.	5,381	10,314	.	.	4,412	18,498	.	2,624	2,624	.	9,978	.	2,153
4	21,810	.	.	5,816	11,147	.	.	4,769	19,992	.	2,835	2,835	.	10,784	.	2,326
5	32,147	.	.	8,573	16,431	.	.	7,030	29,468	.	4,179	4,179	15,895	.	.	3,429
6	26,710	.	.	7,123	13,652	.	.	5,840	24,485	.	3,473	3,473	13,207	.	.	2,849
7	16,404	.	.	4,375	8,384	.	.	3,587	.	15,037	2,132	2,132	8,111	.	.	1,750
8	26,274	.	.	7,006	13,429	.	.	5,745	13,469	10,616	3,416	3,416	12,991	.	.	2,803
9	11,918	.	.	3,178	6,092	.	.	2,606	.	10,925	1,550	1,550	.	5,893	.	1,271
10	.	15,388	.	4,103	7,865	.	.	3,365	14,106	.	2,000	2,000	7,609	.	.	1,642
11	19,560	.	.	5,216	9,997	.	.	4,277	.	17,930	2,543	2,543	9,671	.	.	2,086
12	.	57,598	.	15,359	29,439	.	.	12,595	.	52,798	7,488	7,488	28,479	.	.	6,144
13	.	25,044	.	6,679	12,800	.	.	5,476	.	22,957	3,256	3,256	12,383	.	.	2,671
14	19,089	.	.	5,090	9,757	.	.	4,174	.	17,498	2,482	2,482	.	9,438	.	2,036
15	.	76,126	.	20,300	.	38,909	.	16,646	.	69,782	9,896	9,896	37,640	.	.	8,120
16	.	15,569	.	4,152	7,958	.	.	3,404	.	14,272	2,024	2,024	7,698	.	.	1,661
17	.	88,037	.	23,477	.	44,997	.	19,251	80,701	.	11,445	11,445	43,530	.	.	9,391
18	15,784	.	.	4,209	8,068	.	.	3,452	14,469	.	2,052	2,052	7,805	.	.	1,684
19	.	9,081	.	2,422	4,642	.	.	1,986	8,325	.	1,181	1,181	4,490	.	.	968
20	15,298	.	.	4,079	.	7,819	.	3,345	14,023	.	1,989	1,989	7,564	.	.	1,632
21	19,126	.	.	5,101	9,776	.	.	4,183	12,357	5,176	2,486	2,486	9,457	.	.	2,040

22	.	19,975	.	5,327	10,209	.	.	4,368	18,310	.	2,597	2,597	9,876	.	.	2,131
23	.	22,820	.	6,085	11,664	.	.	4,990	20,919	.	2,967	2,967	11,283	.	.	2,434
24	.	8,223	.	2,193	4,203	.	.	1,798	7,537	.	1,069	1,069	4,066	.	.	877
25	.	23,105	.	6,161	.	11,809	.	5,052	21,179	.	3,004	3,004	11,424	.	.	2,465
26	18,127	.	.	4,834	9,265	.	.	3,964	16,616	.	2,357	2,357	8,963	.	.	1,934
27	9,620	.	.	2,566	4,917	.	.	2,104	8,819	.	1,251	1,251	4,757	.	.	1,026
28	23,523	.	.	6,273	12,023	.	.	5,144	21,562	.	3,058	3,058	11,631	.	.	2,509
29	9,659	.	.	2,576	4,937	.	.	2,112	8,854	.	1,256	1,256	4,776	.	.	1,030
30	14,554	.	.	3,881	7,439	.	.	3,182	13,341	.	1,892	1,892	7,196	.	.	1,552
31	13,503	.	.	3,601	6,901	.	.	2,953	12,378	.	1,755	1,755	6,676	.	.	1,440
32	12,089	.	.	3,224	6,179	.	.	2,644	11,082	.	1,572	1,572	5,977	.	.	1,289
33	19,278	.	.	5,141	9,853	.	.	4,216	17,671	.	2,506	2,506	9,532	.	.	2,056
34	23,645	.	.	6,305	12,085	.	.	5,170	21,675	.	3,074	3,074	11,691	.	.	2,522
35	10,669	.	.	2,845	5,453	.	.	2,333	9,780	.	1,387	1,387	.	5,275	.	1,138
36	15,888	.	.	4,237	8,121	.	.	3,474	14,564	.	2,066	2,066	.	7,856	.	1,695
37	6,752	.	.	1,801	.	3,451	.	1,477	6,189	.	878	878	.	3,338	.	720
38	27,455	.	.	7,321	.	14,033	.	6,004	11,178	13,989	3,569	3,569	13,575	.	.	2,929
39	.	41,571	.	11,086	.	21,248	.	9,090	38,107	.	5,404	5,404	20,555	.	.	4,434
40	.	20,135	.	5,369	.	10,291	.	4,403	18,457	.	2,618	2,618	.	9,956	.	2,148
s	$zf_{5.5.s}$	$zr_{5.5.s}$	$h_{5.5.s}$	$w_{5.6.s}$	$zf_{5.6.s}$	$zr_{5.6.s}$	$h_{6.5.s}$	$w_{6.6.s}$	$zf_{5.7.s}$	$zr_{5.7.s}$	$h_{7.5.s}$	$w_{7.6.s}$	$zf_{5.8.s}$	$zr_{5.8.s}$	$h_{8.5.s}$	$w_{8.15.s}$
1	.	2,596	779	779	6,921	.	.	415	.	6,921	917	917	.	7,498	.	2,146
2	.	2,964	889	889	.	7,904	.	474	7,904	.	1,047	1,047	8,563	.	.	2,450
3	5,045	.	1,514	1,514	13,453	.	.	807	.	13,453	1,783	1,783	14,574	.	.	4,171
4	.	5,452	1,636	1,636	14,540	.	.	872	14,540	.	1,927	1,927	.	15,751	.	4,507
5	8,037	.	2,411	2,411	21,432	.	.	1,286	21,432	.	2,840	2,840	23,217	.	.	6,644
6	6,678	.	2,003	2,003	17,807	.	.	1,069	17,807	.	2,360	2,360	19,291	.	.	5,520

7	4,101	.	1,230	1,230	10,936	.	.	656	10,936	.	1,449	1,449	11,847	.	.	3,390
8	.	6,569	1,971	1,971	.	17,516	.	1,051	.	17,516	2,321	2,321	.	18,976	.	5,430
9	2,980	.	894	894	7,945	.	.	477	.	7,945	1,053	1,053	8,608	.	.	2,463
10	3,847	.	1,154	1,154	10,259	.	.	616	10,259	.	1,359	1,359	.	11,114	.	3,180
11	4,890	.	1,467	1,467	13,040	.	.	782	13,040	.	1,728	1,728	14,127	.	.	4,042
12	14,400	.	4,320	4,320	38,399	.	.	2,304	38,399	.	5,088	5,088	.	.	.	11,903
13	.	6,261	1,878	1,878	16,696	.	.	1,002	16,696	.	2,212	2,212	18,087	.	.	5,176
14	.	4,772	1,432	1,432	12,726	.	.	764	12,726	.	1,686	1,686	13,787	.	.	3,945
15	.	19,032	5,710	5,710	.	50,751	.	3,045	.	50,751	6,725	6,725	.	.	.	15,733
16	.	3,892	1,168	1,168	10,380	.	.	623	10,380	.	1,375	1,375	.	11,244	.	3,218
17	.	22,009	6,603	6,603	.	58,692	.	3,521	58,692	.	7,777	7,777	.	.	.	18,194
18	.	3,946	1,184	1,184	10,523	.	.	631	7,829	2,694	1,394	1,394	11,400	.	.	3,262
19	.	2,270	681	681	6,054	.	.	363	.	6,054	802	802	6,559	.	.	1,877
20	.	3,825	1,148	1,148	10,199	.	.	612	10,199	.	1,351	1,351	11,049	.	.	3,161
21	.	4,782	1,435	1,435	12,751	.	.	765	12,751	.	1,690	1,690	13,814	.	.	3,953
22	.	4,994	1,498	1,498	13,317	.	.	799	13,317	.	1,764	1,764	14,426	.	.	4,128
23	.	5,705	1,712	1,712	15,213	.	.	913	15,213	.	2,016	2,016	16,481	.	.	4,716
24	.	2,056	617	617	5,482	.	.	329	5,482	.	726	726	5,939	.	.	1,699
25	.	5,776	1,733	1,733	15,403	.	.	924	15,403	.	2,041	2,041	16,687	.	.	4,775
26	.	4,532	1,360	1,360	12,085	.	.	725	12,085	.	1,601	1,601	13,092	.	.	3,746
27	.	2,405	722	722	6,414	.	.	385	6,414	.	850	850	6,948	.	.	1,988
28	.	5,881	1,764	1,764	15,682	.	.	941	15,682	.	2,078	2,078	16,989	.	.	4,861
29	.	2,415	725	725	6,440	.	.	386	6,440	.	853	853	6,976	.	.	1,996
30	.	3,639	1,092	1,092	9,703	.	.	582	9,703	.	1,286	1,286	10,511	.	.	3,008
31	.	3,376	1,013	1,013	9,002	.	.	540	9,002	.	1,193	1,193	.	9,752	.	2,791
32	.	3,022	907	907	8,059	.	.	484	8,059	.	1,068	1,068	.	8,731	.	2,498

33	.	4,819	1,446	1,446	12,852	.	.	771	12,852	.	1,703	1,703	.	13,923	.	3,984
34	.	5,911	1,773	1,773	15,763	.	.	946	15,763	.	2,089	2,089	.	17,077	.	4,886
35	.	2,667	800	800	7,113	.	.	427	7,113	.	942	942	.	7,706	.	2,205
36	.	3,972	1,192	1,192	10,592	.	.	635	10,592	.	1,403	1,403	.	11,475	.	3,284
37	.	1,688	506	506	4,501	.	.	270	4,501	.	596	596	.	4,876	.	1,396
38	6,864	.	2,059	2,059	18,303	.	.	1,098	18,303	.	2,425	2,425	19,829	.	.	5,674
39	10,393	.	3,118	3,118	27,714	.	.	1,663	27,714	.	3,672	3,672	.	30,024	.	8,591
40	5,034	.	1,510	1,510	13,423	.	.	805	13,423	.	1,779	1,779	.	14,542	.	4,161
s	$zf_{5.9.s}$	$zr_{5.9.s}$	$h_{9.5.s}$	$w_{9.15.s}$	$zf_{5.10.s}$	$zr_{5.10.s}$	$h_{10.5.s}$	$w_{10.6.s}$	$zf_{5.11.s}$	$zr_{5.11.s}$	$h_{11.5.s}$	$w_{11.15.s}$	$zf_{5.12.s}$	$zr_{5.12.s}$	$h_{12.5.s}$	$w_{12.15.s}$
1	4,038	.	.	1,038	.	19,611	.	1,349	.	2,884	.	1,038	6,921	.	.	1,513
2	4,611	.	.	1,186	22,395	.	.	1,541	3,293	.	.	1,186	.	7,904	.	1,727
3	7,848	.	.	2,018	38,118	.	.	2,623	5,606	.	.	2,018	13,453	.	.	2,939
4	8,482	.	.	2,181	41,196	.	.	2,835	6,058	.	.	2,181	14,540	.	.	3,177
5	12,502	.	.	3,215	33,267	27,456	.	4,179	8,930	.	.	3,215	21,432	.	.	4,683
6	.	10,387	.	2,671	50,453	.	.	3,472	.	7,420	.	2,671	.	17,807	.	3,891
7	6,379	.	.	1,640	.	30,985	.	2,132	4,557	.	.	1,640	.	10,936	.	2,389
8	10,218	.	.	2,627	49,629	.	.	3,416	7,298	.	.	2,627	17,516	.	.	3,827
9	4,635	.	.	1,192	22,512	.	.	1,549	3,311	.	.	1,192	7,945	.	.	1,736
10	.	5,984	.	1,539	.	29,067	.	2,000	4,275	.	.	1,539	10,259	.	.	2,242
11	.	7,607	.	1,956	36,947	.	.	2,543	5,433	.	.	1,956	13,040	.	.	2,849
12	.	22,399	.	5,760	108,800	.	.	7,488	.	16,000	.	5,760	.	38,399	.	8,390
13	.	9,739	.	2,504	.	47,305	.	3,256	6,957	.	.	2,504	16,696	.	.	3,648
14	.	7,424	.	1,909	.	36,057	.	2,482	5,303	.	.	1,909	12,726	.	.	2,780
15	.	.	.	7,613	143,790	.	.	9,896	.	.	.	7,613	.	.	.	11,089
16	.	6,055	.	1,557	.	29,409	.	2,024	4,325	.	.	1,557	10,380	.	.	2,268
17	.	.	.	8,804	147,950	18,338	.	11,445	.	.	.	8,804	.	.	.	12,824

18	6,138	.	.	1,579	.	29,815	.	2,052	4,385	.	.	1,579	10,523	.	.	2,299
19	.	3,532	.	908	11,167	5,987	.	1,181	2,523	.	.	908	6,054	.	.	1,323
20	.	5,949	.	1,530	.	28,896	.	1,989	4,249	.	.	1,530	10,199	.	.	2,228
21	.	7,438	.	1,913	.	36,128	.	2,486	5,313	.	.	1,913	12,751	.	.	2,786
22	.	7,768	.	1,997	23,113	14,617	.	2,597	5,549	.	.	1,997	13,317	.	.	2,909
23	.	8,875	.	2,282	22,985	20,120	.	2,966	6,339	.	.	2,282	15,213	.	.	3,324
24	.	3,198	.	822	12,257	3,275	.	1,069	2,284	.	.	822	5,482	.	.	1,198
25	.	8,985	.	2,311	24,811	18,831	.	3,004	6,418	.	.	2,311	15,403	.	.	3,365
26	.	7,049	.	1,813	.	34,240	.	2,356	5,035	.	.	1,813	12,085	.	.	2,641
27	.	3,741	.	962	.	18,172	.	1,250	2,672	.	.	962	6,414	.	.	1,402
28	.	9,148	.	2,352	.	44,432	.	3,058	6,534	.	.	2,352	15,682	.	.	3,427
29	.	3,756	.	966	.	18,245	.	1,256	2,683	.	.	966	6,440	.	.	1,407
30	.	5,660	.	1,456	.	27,491	.	1,892	4,043	.	.	1,456	9,703	.	.	2,120
31	.	5,251	.	1,350	.	25,505	.	1,756	3,751	.	.	1,350	9,002	.	.	1,967
32	.	4,701	.	1,209	.	22,835	.	1,571	3,358	.	.	1,209	8,059	.	.	1,761
33	.	7,497	.	1,928	.	36,413	.	2,506	5,355	.	.	1,928	12,852	.	.	2,808
34	.	9,195	.	2,365	.	44,663	.	3,074	6,568	.	.	2,365	15,763	.	.	3,445
35	.	4,149	.	1,067	2,983	17,170	.	1,387	2,964	.	.	1,067	7,113	.	.	1,554
36	.	6,179	.	1,589	4,440	25,571	.	2,065	4,413	.	.	1,589	10,592	.	.	2,314
37	.	2,626	.	675	5,336	7,418	.	878	1,876	.	.	675	4,501	.	.	983
38	10,677	.	.	2,746	51,859	.	.	3,569	7,626	.	.	2,746	18,303	.	.	3,999
39	.	16,167	.	4,157	78,524	.	.	5,404	.	11,548	.	4,157	27,714	.	.	6,056
40	.	7,830	.	2,014	38,033	.	.	2,618	5,593	.	.	2,014	13,423	.	.	2,933
s	$zf_{5.13.s}$	$zr_{5.13.s}$	$h_{13.5.s}$	$w_{13.15.s}$	$zf_{5.14.s}$	$zr_{5.14.s}$	$h_{14.5.s}$	$w_{14.6.s}$	$zf_{5.15.s}$	$zr_{5.15.s}$	$h_{15.5.s}$	$w_{15.15.s}$	$zf_{5.16.s}$	$zr_{5.16.s}$	$h_{16.5.s}$	$w_{16.15.s}$
1	18,457	.	.	1,696	8,075	.	.	3,287	6,921	.	.	308	12,689	.	.	595
2	612	20,466	.	1,937	9,222	.	.	3,755	7,904	.	.	352	14,491	.	.	680

3	.	35,875	.	3,296	15,695	.	.	6,390	13,453	.	.	599	.	24,664	.	1,157
4	.	38,773	.	3,562	.	16,963	.	6,907	.	14,540	.	647	26,656	.	.	1,250
5	57,151	.	.	5,251	25,003	.	.	10,180	21,432	.	.	954	.	39,291	.	1,843
6	47,485	.	.	4,363	20,775	.	.	8,458	17,807	.	.	793	.	32,646	.	1,531
7	29,162	.	.	2,679	12,758	.	.	5,195	.	10,936	.	487	20,049	.	.	940
8	.	46,709	.	4,291	20,435	.	.	8,320	17,516	.	.	779	32,113	.	.	1,507
9	.	21,188	.	1,946	9,270	.	.	3,774	.	7,945	.	353	14,567	.	.	683
10	27,357	.	.	2,513	11,969	.	.	4,873	10,259	.	.	457	18,808	.	.	882
11	34,774	.	.	3,195	.	15,214	.	6,194	13,040	.	.	580	23,907	.	.	1,121
12	.	.	.	9,408	44,799	.	.	18,239	.	.	.	1,709	.	.	.	3,302
13	44,523	.	.	4,091	.	19,479	.	7,931	16,696	.	.	743	30,609	.	.	1,436
14	33,936	.	.	3,118	.	14,847	.	6,045	12,726	.	.	566	23,331	.	.	1,094
15	.	.	.	12,434	.	59,209	.	24,107	.	.	.	2,258	.	.	.	4,364
16	27,679	.	.	2,543	12,109	.	.	4,930	10,380	.	.	462	19,029	.	.	893
17	.	.	.	14,380	68,473	.	.	27,878	.	.	.	2,612	.	.	.	5,047
18	28,061	.	.	2,578	12,277	.	.	4,999	10,523	.	.	468	19,292	.	.	905
19	16,145	.	.	1,483	.	7,063	.	2,876	6,054	.	.	269	11,100	.	.	521
20	27,197	.	.	2,498	11,899	.	.	4,844	10,199	.	.	454	18,698	.	.	877
21	34,003	.	.	3,124	14,876	.	.	6,057	12,751	.	.	568	23,377	.	.	1,097
22	35,511	.	.	3,263	15,536	.	.	6,325	13,317	.	.	593	24,414	.	.	1,145
23	40,569	.	.	3,727	17,749	.	.	7,226	15,213	.	.	677	.	27,891	.	1,309
24	14,618	.	.	1,343	6,395	.	.	2,604	5,482	.	.	244	.	10,050	.	472
25	41,075	.	.	3,774	17,970	.	.	7,316	15,403	.	.	685	.	28,239	.	1,325
26	32,225	.	.	2,961	14,099	.	.	5,740	12,085	.	.	538	.	22,155	.	1,039
27	17,103	.	.	1,571	7,482	.	.	3,046	6,414	.	.	286	.	11,758	.	551
28	41,818	.	.	3,842	18,295	.	.	7,449	15,682	.	.	698	.	28,750	.	1,349

29	17,172	.	.	1,577	7,513	.	.	3,059	6,440	.	.	287	.	11,806	.	554
30	25,874	.	.	2,377	11,320	.	.	4,609	9,703	.	.	432	.	17,788	.	835
31	24,005	.	.	2,206	10,502	.	.	4,276	9,002	.	.	401	.	16,503	.	774
32	21,492	.	.	1,975	9,403	.	.	3,828	8,059	.	.	359	.	14,776	.	693
33	34,271	.	.	3,149	14,994	.	.	6,104	12,852	.	.	572	.	23,562	.	1,105
34	42,036	.	.	3,862	18,391	.	.	7,487	15,763	.	.	701	.	28,900	.	1,355
35	18,967	.	.	1,742	8,298	.	.	3,379	7,113	.	.	317	.	13,040	.	612
36	28,245	.	.	2,595	12,357	.	.	5,031	10,592	.	.	472	.	19,419	.	911
37	12,003	.	.	1,103	5,251	.	.	2,138	4,501	.	.	200	.	8,252	.	387
38	48,809	.	.	4,484	21,354	.	.	8,694	18,303	.	.	814	33,556	.	.	1,574
39	.	73,905	.	6,790	32,333	.	.	13,164	.	27,714	.	1,233	.	11,462	.	2,383
40	35,796	.	.	3,289	15,661	.	.	6,376	13,423	.	.	598	.	24,609	.	1,154
s	$zf_{5,17,s}$	$zr_{5,17,s}$	$h_{17,5,s}$	$w_{i,15,17}$	$zf_{5,18,s}$	$zr_{5,18,s}$	$h_{18,5,s}$	$w_{i,15,18}$	$zf_{5,19,s}$	$zr_{5,19,s}$	$h_{19,5,s}$	$w_{i,6,19}$	$zf_{5,20,s}$	$zr_{5,20,s}$	$h_{20,5,s}$	$w_{i,15,20}$
1	7,498	.	.	796	25,955	.	.	415	7,747	7,249	.	1,488	.	9,805	.	415
2	8,563	.	.	909	29,641	.	.	474	.	17,126	.	1,699	11,198	.	.	474
3	14,574	.	.	1,547	50,450	.	.	807	.	29,149	.	2,893	19,059	.	.	807
4	.	15,751	.	1,672	54,524	.	.	872	31,503	.	.	3,126	20,598	.	.	872
5	.	23,217	.	2,465	.	80,368	.	1,286	46,435	.	.	4,608	.	30,361	.	1,286
6	.	19,291	.	2,048	66,776	.	.	1,069	38,582	.	.	3,829	.	25,227	.	1,069
7	11,847	.	.	1,258	.	41,009	.	656	.	23,694	.	2,351	15,492	.	.	656
8	18,976	.	.	2,014	65,685	.	.	1,051	.	37,951	.	3,766	24,814	.	.	1,051
9	.	8,608	.	914	29,795	.	.	477	17,215	.	.	1,708	.	11,256	.	477
10	.	11,114	.	1,180	38,471	.	.	616	.	22,228	.	2,206	.	14,533	.	616
11	14,127	.	.	1,499	.	48,901	.	782	28,254	.	.	2,804	3,402	15,072	.	782
12	.	41,599	.	4,416	.	52,552	.	2,304	.	83,198	.	8,256	54,398	.	.	2,304
13	.	18,087	.	1,920	62,610	.	.	1,002	.	36,175	.	3,590	.	23,653	.	1,002

14	.	13,787	.	1,463	47,723	.	.	764	.	27,573	.	2,736	.	18,029	.	764
15	.	54,980	.	5,836	.	.	.	3,045	.	109,960	.	10,912	.	71,897	.	3,045
16	.	11,244	.	1,193	38,923	.	.	623	.	22,489	.	2,231	.	14,704	.	623
17	.	63,582	.	6,749	.	.	.	3,521	.	127,170	.	12,619	.	83,146	.	3,521
18	.	11,400	.	1,210	.	39,461	.	631	.	22,800	.	2,263	14,908	.	.	631
19	.	6,559	.	696	.	22,704	.	363	.	13,118	.	1,301	8,577	.	.	363
20	.	11,049	.	1,173	.	38,245	.	612	.	22,097	.	2,193	3,677	10,771	.	612
21	.	13,814	.	1,466	.	47,816	.	765	.	27,627	.	2,741	.	18,064	.	765
22	.	14,426	.	1,531	.	49,937	.	799	.	28,853	.	2,863	18,865	.	.	799
23	.	16,481	.	1,750	.	57,051	.	913	.	32,963	.	3,271	21,552	.	.	913
24	.	5,939	.	631	.	20,557	.	329	.	11,877	.	1,178	7,766	.	.	329
25	.	16,687	.	1,771	.	57,762	.	924	.	33,373	.	3,311	21,821	.	.	924
26	.	13,092	.	1,390	.	45,317	.	725	.	26,183	.	2,598	132	16,988	.	725
27	.	6,948	.	737	.	24,051	.	385	.	13,896	.	1,379	70	9,016	.	385
28	.	16,989	.	1,804	.	58,807	.	941	.	33,977	.	3,371	169	22,047	.	941
29	.	6,976	.	740	.	24,148	.	386	.	13,952	.	1,385	4,896	4,227	.	386
30	.	10,511	.	1,116	.	36,385	.	582	.	21,023	.	2,086	104	13,642	.	582
31	.	9,752	.	1,035	.	33,757	.	540	.	19,504	.	1,936	9,849	2,904	.	540
32	.	8,731	.	927	.	30,223	.	484	.	17,462	.	1,733	8,816	2,602	.	484
33	.	13,923	.	1,478	.	48,194	.	771	.	27,845	.	2,763	14,061	4,146	.	771
34	.	17,077	.	1,813	.	59,113	.	946	.	34,154	.	3,389	17,248	5,084	.	946
35	.	7,706	.	818	.	26,673	.	427	.	15,411	.	1,529	10,076	.	.	427
36	.	11,475	.	1,218	.	39,720	.	635	.	22,949	.	2,277	15,005	.	.	635
37	.	4,876	.	518	.	16,880	.	270	.	9,753	.	968	6,377	.	.	270
38	19,829	.	.	2,105	.	68,638	.	1,098	.	39,657	.	3,935	25,930	.	.	1,098
39	.	30,024	.	3,187	78,044	25,885	.	1,663	.	60,048	.	5,959	.	39,262	.	1,663

40	.	14,542	.	1,544	.	50,337	.	805	.	29,084	.	2,886	12,000	7,016	.	805
s	$zf_{5.21.s}$	$zr_{5.21.s}$	$h_{21.5.s}$	$w_{21.6.s}$	$zf_{5.22.s}$	$zr_{5.22.s}$	$h_{22.5.s}$	$w_{22.6.s}$	$zf_{5.23.s}$	$zr_{5.23.s}$	$h_{23.5.s}$	$w_{23.6.s}$	$zf_{5.24.s}$	$zr_{5.24.s}$	$h_{24.5.s}$	$w_{24.15.s}$
1	32,300	.	.	1,938	6,921	.	.	1,177	.	13,266	.	3,876	8,998	.	.	2,318
2	.	36,886	.	2,213	7,904	.	.	1,344	15,150	.	.	4,426	10,276	.	.	2,648
3	62,782	.	.	3,767	13,453	.	.	2,287	.	25,785	.	7,534	.	17,489	.	4,507
4	32,143	35,709	.	4,071	14,540	.	.	2,472	.	27,868	.	8,142	18,902	.	.	4,871
5	.	100,010	.	6,001	21,432	.	.	3,643	41,077	.	.	12,002	27,861	.	.	7,180
6	.	83,099	.	4,986	17,807	.	.	3,027	34,130	.	.	9,972	18,143	5,006	.	5,965
7	51,034	.	.	3,062	10,936	.	.	1,859	20,960	.	.	6,124	14,217	.	.	3,664
8	81,741	.	.	4,904	.	17,516	.	2,978	.	33,572	.	9,809	22,771	.	.	5,868
9	37,079	.	.	2,225	.	7,945	.	1,351	15,229	.	.	4,450	4,054	6,275	.	2,662
10	41,403	6,472	.	2,872	10,259	.	.	1,744	.	19,663	.	5,745	13,337	.	.	3,437
11	.	60,854	.	3,651	13,040	.	.	2,217	24,994	.	.	7,303	16,952	.	.	4,369
12	109,280	69,917	.	10,751	38,399	.	.	6,528	73,598	.	.	21,503	.	49,919	.	12,863
13	77,914	.	.	4,675	5,884	10,812	.	2,839	32,001	.	.	9,350	21,705	.	.	5,593
14	53,372	6,016	.	3,563	.	12,726	.	2,164	24,392	.	.	7,127	16,544	.	.	4,263
15	204,390	32,448	.	14,210	50,751	.	.	8,627	97,272	.	.	28,420	.	.	.	17,002
16	40,157	8,281	.	2,906	10,380	.	.	1,765	19,894	.	.	5,813	13,493	.	.	3,477
17	273,890	.	.	16,433	.	58,692	.	9,977	.	112,490	.	32,867	.	.	.	19,661
18	49,107	.	.	2,947	10,523	.	.	1,789	20,169	.	.	5,893	13,680	.	.	3,525
19	28,254	.	.	1,695	6,054	.	.	1,029	11,604	.	.	3,391	7,871	.	.	2,028
20	47,594	.	.	2,855	10,199	.	.	1,734	19,548	.	.	5,711	13,258	.	.	3,416
21	59,505	.	.	3,570	12,751	.	.	2,168	24,439	.	.	7,141	16,576	.	.	4,271
22	62,144	.	.	3,728	13,317	.	.	2,264	25,523	.	.	7,457	17,312	.	.	4,461
23	70,996	.	.	4,260	15,213	.	.	2,586	29,159	.	.	8,519	19,778	.	.	5,096
24	25,582	.	.	1,535	5,482	.	.	932	10,507	.	.	3,070	7,126	.	.	1,837

25	71,881	.	.	4,313	15,403	.	.	2,618	29,523	.	.	8,626	20,024	.	.	5,160
26	56,395	.	.	3,383	12,085	.	.	2,054	23,162	.	.	6,767	15,710	.	.	4,048
27	29,930	.	.	1,796	6,414	.	.	1,090	12,293	.	.	3,592	8,338	.	.	2,149
28	73,182	.	.	4,391	15,682	.	.	2,666	30,057	.	.	8,782	20,386	.	.	5,254
29	30,051	.	.	1,803	6,440	.	.	1,095	12,343	.	.	3,606	8,371	.	.	2,157
30	45,280	.	.	2,717	9,703	.	.	1,649	18,597	.	.	5,434	12,614	.	.	3,250
31	42,009	.	.	2,521	9,002	.	.	1,531	17,254	.	.	5,041	11,702	.	.	3,016
32	37,611	.	.	2,257	8,059	.	.	1,370	15,447	.	.	4,513	10,477	.	.	2,700
33	59,975	.	.	3,598	12,852	.	.	2,185	24,633	.	.	7,197	16,707	.	.	4,306
34	73,563	.	.	4,414	15,763	.	.	2,680	30,213	.	.	8,828	20,492	.	.	5,281
35	33,193	.	.	1,991	7,113	.	.	1,209	13,633	.	.	3,983	9,247	.	.	2,383
36	49,429	.	.	2,966	10,592	.	.	1,801	20,301	.	.	5,932	13,770	.	.	3,548
37	21,006	.	.	1,261	4,501	.	.	765	8,627	.	.	2,521	5,852	.	.	1,508
38	.	85,416	.	5,125	18,303	.	.	3,112	.	35,081	.	10,250	23,794	.	.	6,131
39	129,330	.	.	7,760	27,714	.	.	4,711	53,119	.	.	15,520	36,029	.	.	9,284
40	62,642	.	.	3,758	13,423	.	.	2,282	25,728	.	.	7,517	17,450	.	.	4,497
s	$zf_{5.25,s}$	$zr_{5.25,s}$	$h_{25.5,s}$	$w_{25.15,s}$	$zf_{5.26,s}$	$zr_{5.26,s}$	$h_{26.5,s}$	$w_{26.15,s}$	$zf_{5.27,s}$	$zr_{5.27,s}$	$h_{27.5,s}$	$w_{27.15,s}$	$zf_{5.28,s}$	$zr_{5.28,s}$	$h_{28.5,s}$	$w_{28.15,s}$
1	.	6,114	.	3,080	5,191	.	.	1,558	5,018	.	.	1,938	9,805	.	.	4,256
2	6,982	.	.	3,517	5,928	.	.	1,778	5,731	.	.	2,213	.	11,198	.	4,861
3	.	11,884	.	5,987	.	10,090	.	3,027	9,754	.	.	3,767	19,059	.	.	8,274
4	12,844	.	.	6,470	10,905	.	.	3,271	.	10,541	.	4,071	20,598	.	.	8,942
5	18,931	.	.	9,537	16,074	.	.	4,822	15,538	.	.	6,001	30,361	.	.	13,180
6	15,729	.	.	7,924	13,355	.	.	4,007	12,910	.	.	4,986	.	25,227	.	10,951
7	9,660	.	.	4,867	2,852	5,350	.	2,461	7,928	.	.	3,062	.	15,492	.	6,725
8	.	15,472	.	7,795	13,137	.	.	3,941	12,699	.	.	4,904	24,814	.	.	10,772
9	7,018	.	.	3,536	5,959	.	.	1,788	.	5,760	.	2,225	.	11,256	.	4,886

10	9,062	.	.	4,565	7,694	.	.	2,308	7,438	.	.	2,872	14,533	.	.	6,309
11	11,519	.	.	5,803	9,780	.	.	2,934	9,454	.	.	3,651	18,474	.	.	8,020
12	33,919	.	.	17,087	28,799	.	.	8,640	27,839	.	.	10,751	.	54,398	.	23,615
13	.	14,748	.	7,430	12,522	.	.	3,757	12,105	.	.	4,675	23,653	.	.	10,268
14	11,241	.	.	5,663	9,545	.	.	2,863	9,226	.	.	3,563	18,029	.	.	7,826
15	40,026	.	.	22,584	38,063	.	.	11,419	.	36,794	.	14,210	71,897	.	.	31,211
16	9,169	.	.	4,619	7,785	.	.	2,335	7,525	.	.	2,906	14,704	.	.	6,383
17	.	.	.	26,118	.	44,019	.	13,205	.	42,551	.	16,433	.	11,848	.	36,095
18	9,295	.	.	4,683	7,892	.	.	2,368	7,629	.	.	2,947	.	14,908	.	6,472
19	5,348	.	.	2,694	4,541	.	.	1,362	4,389	.	.	1,695	.	8,577	.	3,724
20	9,009	.	.	4,538	7,649	.	.	2,295	7,394	.	.	2,855	.	14,448	.	6,272
21	11,263	.	.	5,674	9,563	.	.	2,869	9,244	.	.	3,570	.	18,064	.	7,842
22	11,763	.	.	5,926	9,987	.	.	2,996	.	9,655	.	3,728	.	18,865	.	8,189
23	13,439	.	.	6,770	11,410	.	.	3,423	11,030	.	.	4,260	.	21,552	.	9,356
24	4,842	.	.	2,440	4,111	.	.	1,234	.	3,974	.	1,535	.	7,766	.	3,371
25	13,606	.	.	6,854	.	11,552	.	3,466	11,167	.	.	4,313	21,821	.	.	9,473
26	10,675	.	.	5,378	9,063	.	.	2,719	8,761	.	.	3,383	17,120	.	.	7,432
27	5,665	.	.	2,854	4,810	.	.	1,443	4,650	.	.	1,796	9,086	.	.	3,944
28	13,852	.	.	6,979	11,761	.	.	3,529	11,369	.	.	4,391	22,216	.	.	9,644
29	5,688	.	.	2,866	.	4,830	.	1,449	4,669	.	.	1,803	9,123	.	.	3,961
30	8,571	.	.	4,318	7,277	.	.	2,183	7,034	.	.	2,717	13,746	.	.	5,967
31	7,952	.	.	4,006	6,751	.	.	2,026	6,526	.	.	2,521	12,753	.	.	5,536
32	7,119	.	.	3,586	6,045	.	.	1,813	5,843	.	.	2,257	11,418	.	.	4,957
33	11,352	.	.	5,719	9,639	.	.	2,891	9,318	.	.	3,598	18,207	.	.	7,904
34	13,924	.	.	7,015	11,823	.	.	3,547	11,428	.	.	4,414	22,332	.	.	9,695
35	6,283	.	.	3,165	5,335	.	.	1,600	5,157	.	.	1,991	10,076	.	.	4,375

36	9,356	.	.	4,714	7,944	.	.	2,383	7,679	.	.	2,966	15,005	.	.	6,514
37	3,976	.	.	2,003	3,376	.	.	1,013	3,263	.	.	1,261	6,377	.	.	2,768
38	16,168	.	.	8,145	13,728	.	.	4,118	13,270	.	.	5,125	25,930	.	.	11,257
39	24,481	.	.	12,333	20,786	.	.	6,236	20,093	.	.	7,760	39,262	.	.	17,044
40	11,857	.	.	5,974	10,067	.	.	3,020	9,732	.	.	3,758	19,016	.	.	8,255
s	$zf_{5.29.s}$	$zr_{5.29.s}$	$h_{29.5.s}$	$w_{29.15.s}$	$zf_{5.30.s}$	$zr_{5.30.s}$	$h_{30.5.s}$	$w_{30.15.s}$	$zf_{5.31.s}$	$zr_{5.31.s}$	$h_{31.5.s}$	$w_{31.15.s}$	$zf_{5.32.s}$	$zr_{5.32.s}$	$h_{32.5.s}$	$w_{32.6.s}$
1	9,229	.	.	4,153	.	5,653	.	1,329			.	1,558			.	2,353
2	10,539	.	.	4,742	.	6,455	.	1,517			.	1,778			.	2,687
3	17,938	.	.	8,072	10,987	.	.	2,583			.	3,027			.	4,574
4	19,386	.	.	8,724	.	11,874	.	2,792			.	3,271			.	4,943
5	28,575	.	.	12,859	17,502	.	.	4,115			.	4,822			.	7,287
6	.	23,743	.	10,684	14,542	.	.	3,419			.	4,007			.	6,055
7	14,581	.	.	6,562	8,931	.	.	2,099			.	2,461			.	3,718
8	.	23,355	.	10,510	14,305	.	.	3,363			.	3,941			.	5,956
9	10,594	.	.	4,767	.	6,489	.	1,526			.	1,788			.	2,701
10	13,678	.	.	6,155	.	8,378	.	1,970			.	2,308			.	3,488
11	.	17,387	.	7,824	10,650	.	.	2,504			.	2,934			.	4,433
12	51,199	.	.	23,039	31,359	.	.	7,373			.	8,640			.	13,055
13	22,261	.	.	10,018	13,635	.	.	3,206			.	3,757			.	5,677
14	16,968	.	.	7,636	.	10,393	.	2,443			.	2,863			.	4,327
15	67,668	.	.	30,451	.	41,446	.	9,744			.	11,419			.	17,255
16	13,839	.	.	6,228	.	8,477	.	1,993			.	2,335			.	3,529
17	78,255	.	.	35,215	.	47,931	.	11,269			.	13,205			.	19,955
18	.	14,031	.	6,314	.	8,594	.	2,020			.	2,368			.	3,578
19	8,072	.	.	3,632	4,944	.	.	1,162			.	1,362			.	2,059
20	13,598	.	.	6,119	8,329	.	.	1,958			.	2,295			.	3,467

21	17,001	.	.	7,651	10,413	.	.	2,448			.	2,869			.	4,336
22	.	17,755	.	7,990	10,875	.	.	2,557			.	2,996			.	4,528
23	20,285	.	.	9,128	12,424	.	.	2,921			.	3,423			.	5,173
24	7,309	.	.	3,289	4,477	.	.	1,052			.	1,234			.	1,864
25	20,538	.	.	9,242	12,579	.	.	2,957			.	3,466			.	5,237
26	16,113	.	.	7,251	9,869	.	.	2,320			.	2,719			.	4,109
27	8,551	.	.	3,848	5,238	.	.	1,231			.	1,443			.	2,180
28	20,909	.	.	9,409	12,807	.	.	3,011			.	3,529			.	5,332
29	8,586	.	.	3,864	5,259	.	.	1,237			.	1,449			.	2,189
30	12,937	.	.	5,822	7,924	.	.	1,863			.	2,183			.	3,299
31	12,002	.	.	5,401	7,352	.	.	1,729			.	2,026			.	3,061
32	10,746	.	.	4,835	6,582	.	.	1,547			.	1,813			.	2,740
33	17,136	.	.	7,711	10,496	.	.	2,468			.	2,891			.	4,370
34	21,018	.	.	9,458	12,873	.	.	3,026			.	3,547			.	5,360
35	9,484	.	.	4,268	5,809	.	.	1,366			.	1,600			.	2,419
36	14,123	.	.	6,355	8,650	.	.	2,033			.	2,383			.	3,601
37	6,002	.	.	2,701	3,676	.	.	864			.	1,013			.	1,531
38	24,404	.	.	10,982	14,948	.	.	3,514			.	4,118			.	6,223
39	36,952	.	.	16,628	22,633	.	.	5,321			.	6,236			.	9,423
40	17,898	.	.	8,054	10,962	.	.	2,577			.	3,020			.	4,564
s	$zf_{5,33,s}$	$zr_{5,33,s}$	$h_{33,5,s}$	$w_{33,15,s}$	$zf_{5,34,s}$	$zr_{5,34,s}$	$h_{34,5,s}$	$w_{34,15,s}$	$zf_{5,35,s}$	$zr_{5,35,s}$	$h_{35,5,s}$	$w_{35,15,s}$	$zf_{5,36,s}$	$zr_{5,36,s}$	$h_{36,5,s}$	$w_{36,15,s}$
1			.	1,588			.	415			.	824			.	1,938
2			.	1,814			.	474			.	941			.	2,213
3			.	3,088			.	807			.	1,601			.	3,767
4			.	3,337			.	872			.	1,730			.	4,071
5			.	4,919			.	1,286			.	2,551			.	6,001

6			.	4,087			.	1,069			.	2,119			.	4,986
7			.	2,510			.	656			.	1,301			.	3,062
8			.	4,020			.	1,051			.	2,084			.	4,904
9			.	1,823			.	477			.	946			.	2,225
10			.	2,354			.	616			.	1,221			.	2,872
11			.	2,993			.	782			.	1,552			.	3,651
12			.	8,813			.	2,304			.	4,570			.	10,751
13			.	3,832			.	1,002			.	1,987			.	4,675
14			.	2,921			.	764			.	1,514			.	3,563
15			.	11,647			.	3,045			.	6,040			.	14,210
16			.	2,382			.	623			.	1,235			.	2,906
17			.	13,470			.	3,521			.	6,984			.	16,433
18			.	2,415			.	631			.	1,252			.	2,947
19			.	1,390			.	363			.	721			.	1,695
20			.	2,341			.	612			.	1,214			.	2,855
21			.	2,926			.	765			.	1,517			.	3,570
22			.	3,056			.	799			.	1,585			.	3,728
23			.	3,491			.	913			.	1,810			.	4,260
24			.	1,258			.	329			.	652			.	1,535
25			.	3,535			.	924			.	1,833			.	4,313
26			.	2,773			.	725			.	1,438			.	3,383
27			.	1,472			.	385			.	763			.	1,796
28			.	3,599			.	941			.	1,866			.	4,391
29			.	1,478			.	386			.	766			.	1,803
30			.	2,227			.	582			.	1,154			.	2,717
31			.	2,066			.	540			.	1,071			.	2,521

32			.	1,850			.	484			.	959			.	2,257
33			.	2,950			.	771			.	1,529			.	3,598
34			.	3,618			.	946			.	1,876			.	4,414
35			.	1,633			.	427			.	847			.	1,991
36			.	2,431			.	635			.	1,261			.	2,966
37			.	1,033			.	270			.	536			.	1,261
38			.	4,201			.	1,098			.	2,178			.	5,125
39			.	6,361			.	1,663			.	3,298			.	7,760
40			.	3,080			.	805			.	1,597			.	3,758
s	$zf_{5,37,s}$	$zr_{5,37,s}$	$h_{37,5,s}$	$w_{37,15,s}$	$zf_{5,38,s}$	$zr_{5,38,s}$	$h_{38,5,s}$	$w_{38,6,s}$	$zf_{5,39,s}$	$zr_{5,39,s}$	$h_{39,5,s}$	$w_{39,15,s}$	$zf_{5,40,s}$	$zr_{5,40,s}$	$h_{40,5,s}$	$w_{40,15,s}$
1			.	2,699			.	5,409			.	3,115			.	2,699
2			.	3,083			.	6,177			.	3,557			.	3,083
3			.	5,247			.	10,514			.	6,054			.	5,247
4			.	5,671			.	11,363			.	6,543			.	5,671
5			.	8,358			.	16,749			.	9,644			.	8,358
6			.	6,945			.	13,916			.	8,013			.	6,945
7			.	4,265			.	8,546			.	4,921			.	4,265
8			.	6,831			.	13,689			.	7,882			.	6,831
9			.	3,099			.	6,209			.	3,575			.	3,099
10			.	4,001			.	8,017			.	4,616			.	4,001
11			.	5,086			.	10,191			.	5,868			.	5,086
12			.	14,975			.	30,009			.	17,279			.	14,975
13			.	6,511			.	13,048			.	7,513			.	6,511
14			.	4,963			.	9,946			.	5,727			.	4,963
15			.	19,793			.	39,662			.	22,838			.	19,793
16			.	4,048			.	8,111			.	4,671			.	4,048

17			.	22,889			.	45,868			.	26,411			.	22,889
18			.	4,104			.	8,224			.	4,735			.	4,104
19			.	2,361			.	4,732			.	2,725			.	2,361
20			.	3,977			.	7,970			.	4,589			.	3,977
21			.	4,973			.	9,965			.	5,738			.	4,973
22			.	5,194			.	10,407			.	5,992			.	5,194
23			.	5,933			.	11,890			.	6,846			.	5,933
24			.	2,138			.	4,284			.	2,467			.	2,138
25			.	6,007			.	12,038			.	6,931			.	6,007
26			.	4,713			.	9,444			.	5,438			.	4,713
27			.	2,501			.	5,012			.	2,886			.	2,501
28			.	6,116			.	12,256			.	7,057			.	6,116
29			.	2,512			.	5,033			.	2,898			.	2,512
30			.	3,784			.	7,583			.	4,366			.	3,784
31			.	3,511			.	7,035			.	4,051			.	3,511
32			.	3,143			.	6,298			.	3,627			.	3,143
33			.	5,012			.	10,043			.	5,783			.	5,012
34			.	6,148			.	12,319			.	7,094			.	6,148
35			.	2,774			.	5,558			.	3,201			.	2,774
36			.	4,131			.	8,278			.	4,766			.	4,131
37			.	1,756			.	3,518			.	2,026			.	1,756
38			.	7,138			.	14,304			.	8,237			.	7,138
39			.	10,808			.	21,659			.	12,472			.	10,808
40			.	5,235			.	10,490			.	6,040			.	5,235
s	$zf_{5.41.s}$	$zr_{5.41.s}$	$h_{41.5.s}$	$w_{41.6.s}$	$zf_{5.42.s}$	$zr_{5.42.s}$	$h_{42.5.s}$	$w_{42.6.s}$	$zf_{5.43.s}$	$zr_{5.43.s}$	$h_{43.5.s}$	$w_{43.15.s}$	$zf_{5.44.s}$	$zr_{5.44.s}$	$h_{44.5.s}$	$w_{44.15.s}$
1			.	1,876			.	2,699			.	5,018			.	796

2			.	2,142			.	3,083			.	5,731			.	909
3			.	3,646			.	5,247			.	9,754			.	1,547
4			.	3,940			.	5,671			.	10,541			.	1,672
5			.	5,808			.	8,358			.	15,538			.	2,465
6			.	4,826			.	6,945			.	12,910			.	2,048
7			.	2,963			.	4,265			.	7,928			.	1,258
8			.	4,747			.	6,831			.	12,699			.	2,014
9			.	2,153			.	3,099			.	5,761			.	914
10			.	2,780			.	4,001			.	7,438			.	1,180
11			.	3,534			.	5,086			.	9,454			.	1,499
12			.	10,406			.	14,975			.	27,839			.	4,416
13			.	4,525			.	6,511			.	12,104			.	1,920
14			.	3,449			.	4,963			.	9,226			.	1,463
15			.	13,753			.	19,793			.	36,794			.	5,836
16			.	2,813			.	4,048			.	7,525			.	1,193
17			.	15,905			.	22,889			.	42,551			.	6,749
18			.	2,852			.	4,104			.	7,629			.	1,210
19			.	1,641			.	2,361			.	4,390			.	696
20			.	2,764			.	3,977			.	7,394			.	1,173
21			.	3,455			.	4,973			.	9,244			.	1,466
22			.	3,609			.	5,194			.	9,655			.	1,531
23			.	4,123			.	5,933			.	11,030			.	1,750
24			.	1,486			.	2,138			.	3,974			.	631
25			.	4,174			.	6,007			.	11,167			.	1,771
26			.	3,275			.	4,713			.	8,761			.	1,390
27			.	1,738			.	2,501			.	4,650			.	737

28			.	4,250			.	6,116			.	11,369			.	1,804
29			.	1,745			.	2,512			.	4,669			.	740
30			.	2,629			.	3,784			.	7,034			.	1,116
31			.	2,440			.	3,511			.	6,526			.	1,035
32			.	2,184			.	3,143			.	5,843			.	927
33			.	3,483			.	5,012			.	9,317			.	1,478
34			.	4,272			.	6,148			.	11,428			.	1,813
35			.	1,928			.	2,774			.	5,157			.	818
36			.	2,870			.	4,131			.	7,679			.	1,218
37			.	1,220			.	1,756			.	3,263			.	518
38			.	4,960			.	7,138			.	13,270			.	2,105
39			.	7,511			.	10,808			.	20,093			.	3,187
40			.	3,638			.	5,235			.	9,732			.	1,544
s	$zf_{5.45.s}$	$zr_{5.45.s}$	$h_{45.5.s}$	$w_{45.15.s}$	$zf_{5.46.s}$	$zr_{5.46.s}$	$h_{46.5.s}$	$w_{46.15.s}$	$zf_{5.47.s}$	$zr_{5.47.s}$	$h_{47.5.s}$	$w_{47.15.s}$	$zf_{5.48.s}$	$zr_{5.48.s}$	$h_{48.5.s}$	$w_{48.15.s}$
1			.	425			.	1,177			.	1,558			.	3,080
2			.	486			.	1,344			.	1,778			.	3,517
3			.	827			.	2,287			.	3,027			.	5,987
4			.	894			.	2,472			.	3,271			.	6,470
5			.	1,318			.	3,643			.	4,822			.	9,537
6			.	1,095			.	3,027			.	4,007			.	7,924
7			.	673			.	1,859			.	2,461			.	4,867
8			.	1,077			.	2,978			.	3,941			.	7,795
9			.	488			.	1,351			.	1,788			.	3,536
10			.	631			.	1,744			.	2,308			.	4,565
11			.	802			.	2,217			.	2,934			.	5,803
12			.	2,362			.	6,528			.	8,640			.	17,087

13			.	1,027			.	2,839			.	3,757			.	7,430
14			.	782			.	2,164			.	2,863			.	5,663
15			.	3,121			.	8,627			.	11,419			.	22,584
16			.	638			.	1,765			.	2,335			.	4,619
17			.	3,610			.	9,977			.	13,205			.	26,118
18			.	647			.	1,789			.	2,368			.	4,683
19			.	373			.	1,029			.	1,362			.	2,694
20			.	627			.	1,734			.	2,295			.	4,538
21			.	784			.	2,168			.	2,869			.	5,674
22			.	819			.	2,264			.	2,996			.	5,926
23			.	935			.	2,586			.	3,423			.	6,770
24			.	337			.	932			.	1,234			.	2,440
25			.	947			.	2,618			.	3,466			.	6,854
26			.	743			.	2,054			.	2,719			.	5,378
27			.	394			.	1,090			.	1,443			.	2,854
28			.	964			.	2,666			.	3,529			.	6,979
29			.	396			.	1,095			.	1,449			.	2,866
30			.	597			.	1,649			.	2,183			.	4,318
31			.	554			.	1,531			.	2,026			.	4,006
32			.	496			.	1,370			.	1,813			.	3,586
33			.	790			.	2,185			.	2,891			.	5,719
34			.	970			.	2,680			.	3,547			.	7,015
35			.	437			.	1,209			.	1,600			.	3,165
36			.	652			.	1,801			.	2,383			.	4,714
37			.	277			.	765			.	1,013			.	2,003
38			.	1,126			.	3,112			.	4,118			.	8,145

39			.	1,705			.	4,711			.	6,236			.	12,333
40			.	826			.	2,282			.	3,020			.	5,974
s	<i>zf_{5.49.s}</i>	<i>zr_{5.49.s}</i>	<i>h_{49.5.s}</i>	<i>w_{49.15.s}</i>	<i>zf_{5.50.s}</i>	<i>zr_{5.50.s}</i>	<i>h_{50.5.s}</i>	<i>w_{50.15.s}</i>								
1			.	1,938			.	1,588								
2			.	2,213			.	1,814								
3			.	3,767			.	3,088								
4			.	4,071			.	3,337								
5			.	6,001			.	4,919								
6			.	4,986			.	4,087								
7			.	3,062			.	2,510								
8			.	4,904			.	4,020								
9			.	2,225			.	1,823								
10			.	2,872			.	2,354								
11			.	3,651			.	2,993								
12			.	10,751			.	8,813								
13			.	4,675			.	3,832								
14			.	3,563			.	2,921								
15			.	14,210			.	11,647								
16			.	2,906			.	2,382								
17			.	16,433			.	13,470								
18			.	2,947			.	2,415								
19			.	1,695			.	1,390								
20			.	2,855			.	2,341								
21			.	3,570			.	2,926								
22			.	3,728			.	3,056								
23			.	4,260			.	3,491								

24			.	1,535			.	1,258								
25			.	4,313			.	3,535								
26			.	3,383			.	2,773								
27			.	1,796			.	1,472								
28			.	4,391			.	3,599								
29			.	1,803			.	1,478								
30			.	2,717			.	2,227								
31			.	2,521			.	2,066								
32			.	2,257			.	1,850								
33			.	3,598			.	2,950								
34			.	4,414			.	3,618								
35			.	1,991			.	1,633								
36			.	2,966			.	2,431								
37			.	1,261			.	1,033								
38			.	5,125			.	4,201								
39			.	7,760			.	6,361								
40			.	3,758			.	3,080								

Ek 4 Sadece işleme merkezinin dahil olduğu durum için İASP modeli tarafından hesaplanan zf_{kis} , zr_{kis} ve h_{iks} değerleri

s	$zf_{5.1.s}$	$zr_{5.1.s}$	$h_{1.5.s}$	$zf_{5.2.s}$	$zr_{5.2.s}$	$h_{2.5.s}$	$zf_{5.3.s}$	$zr_{5.3.s}$	$h_{3.5.s}$	$zf_{5.4.s}$	$zr_{5.4.s}$	$h_{4.5.s}$	$zf_{5.5.s}$	$zr_{5.5.s}$	$h_{5.5.s}$
1	.	10,382	4,614	5,306	.	3,784	9,517	.	4,499	.	5,133	1,846	.	2,596	2,596
2	10,723	1,133	5,269	.	6,060	4,321	.	10,868	5,138	.	5,862	2,108	.	2,964	2,964
3	.	20,180	8,969	.	10,314	7,354	.	18,498	8,745	.	9,978	3,588	5,045	.	5,045
4	21,810	.	9,693	.	11,147	7,948	19,363	629	9,451	.	10,784	3,877	.	5,452	5,452
5	32,147	.	14,288	16,431	.	11,716	.	29,468	13,930	.	15,895	5,715	.	8,037	8,037
6	26,710	.	11,871	.	13,652	9,734	.	24,485	11,575	13,207	.	4,749	.	6,678	6,678
7	16,404	.	7,291	8,384	.	5,978	.	15,037	7,108	8,111	.	2,916	.	4,101	4,101
8	26,274	.	11,677	13,429	.	9,575	.	24,085	11,385	.	12,991	4,671	.	6,569	6,569
9	11,918	.	5,297	6,092	.	4,344	.	10,925	5,165	.	5,893	2,119	.	2,980	2,980
10	.	15,388	6,839	7,865	.	5,608	14,106	.	6,668	7,609	.	2,736	3,847	.	3,847
11	.	19,560	8,693	9,997	.	7,129	.	17,930	8,476	9,671	.	3,477	4,890	.	4,890
12	.	57,598	25,599	.	29,439	20,991	.	52,798	24,959	.	28,479	10,240	.	14,400	14,400
13	.	25,044	11,131	12,800	.	9,127	.	22,957	10,852	12,383	.	4,452	.	6,261	6,261
14	19,089	.	8,484	9,757	.	6,957	.	17,498	8,272	.	9,438	3,394	.	4,772	4,772
15	.	76,126	33,834	38,909	.	27,744	.	69,782	32,988	37,640	.	13,534	19,032	.	19,032
16	.	15,569	6,920	7,958	.	5,674	.	14,272	6,747	4,393	3,305	2,768	.	3,892	3,892
17	.	88,037	23,477	44,997	.	19,251	80,701	.	38,149	43,530	.	15,533	22,009	.	22,009
18	15,784	.	7,015	8,068	.	5,753	14,469	.	6,840	.	7,805	2,806	.	3,946	3,946
19	.	9,081	4,036	4,642	.	3,310	.	8,325	3,935	4,490	.	1,614	.	2,270	2,270
20	15,298	.	6,799	.	7,819	5,575	.	14,023	6,629	7,564	.	2,720	.	3,825	3,825

21	19,126	.	8,501	9,776	.	6,971	.	17,533	8,288	9,457	.	3,400	.	4,782	4,782
22	.	19,975	8,878	10,209	.	7,280	.	18,310	8,656	9,876	.	3,551	.	4,994	4,994
23	.	22,820	10,142	11,664	.	8,317	.	20,919	9,889	11,283	.	4,057	.	5,705	5,705
24	.	8,223	3,655	4,203	.	2,997	1,865	5,672	3,563	4,066	.	1,462	.	2,056	2,056
25	.	23,105	10,269	.	11,809	8,420	8,192	12,987	10,012	11,424	.	4,108	.	5,776	5,776
26	.	18,127	8,056	9,265	.	6,606	.	16,616	7,855	8,963	.	3,223	.	4,532	4,532
27	.	9,620	4,276	4,917	.	3,506	205	8,614	4,169	4,757	.	1,710	.	2,405	2,405
28	23,523	.	10,455	12,023	.	8,573	.	21,562	10,193	11,631	.	4,182	.	5,881	5,881
29	9,659	.	4,293	4,937	.	3,520	1,810	7,044	4,186	4,776	.	1,717	.	2,415	2,415
30	14,554	.	6,469	7,439	.	5,304	.	13,341	6,307	7,196	.	2,587	.	3,639	3,639
31	13,503	.	6,001	6,901	.	4,921	.	12,378	5,851	6,676	.	2,400	.	3,376	3,376
32	12,089	.	5,373	6,179	.	4,406	.	11,082	5,239	5,977	.	2,149	.	3,022	3,022
33	19,278	.	8,568	9,853	.	7,026	.	17,671	8,354	9,532	.	3,427	.	4,819	4,819
34	23,645	.	10,509	12,085	.	8,617	17,581	4,094	10,246	11,691	.	4,204	.	5,911	5,911
35	10,669	.	4,742	5,453	.	3,888	9,780	.	4,623	.	5,275	1,897	.	2,667	2,667
36	15,888	.	7,061	8,121	.	5,790	14,564	.	6,885	.	7,856	2,825	.	3,972	3,972
37	6,752	.	3,001	.	3,451	2,461	6,189	.	2,926	.	3,338	1,200	.	1,688	1,688
38	27,455	.	12,202	.	14,033	10,006	.	25,167	11,897	.	13,575	4,881	.	6,864	6,864
39	.	41,571	18,476	.	21,248	15,150	.	38,107	18,014	.	20,555	7,390	.	10,393	10,393
40	.	20,135	8,949	.	10,291	7,338	18,457	.	8,725	.	9,956	3,580	.	5,034	5,034
s	$zf_{5.6.s}$	$zr_{5.6.s}$	$h_{6.5.s}$	$zf_{5.7.s}$	$zr_{5.7.s}$	$h_{7.5.s}$	$zf_{5.8.s}$	$zr_{5.8.s}$	$h_{8.5.s}$	$zf_{5.9.s}$	$zr_{5.9.s}$	$h_{9.5.s}$	$zf_{5.10.s}$	$zr_{5.10.s}$	$h_{10.5.s}$
1	6,921	.	692	.	6,921	3,057	.	7,498	3,576	4,038	.	1,730	.	19,611	2,249
2	.	7,904	790	7,904	.	3,491	8,563	.	4,084	.	4,611	1,976	.	22,395	2,569
3	13,453	.	1,345	.	13,453	5,942	14,574	.	6,951	7,848	.	3,363	24,530	13,588	4,372
4	14,540	.	1,454	14,540	.	6,422	.	15,751	7,512	8,482	.	3,635	41,196	.	4,725

5	21,432	.	2,143	.	21,432	9,466	.	23,217	11,073	.	12,502	5,358	.	60,723	6,965
6	.	17,807	1,781	.	17,807	7,865	.	19,291	9,200	.	10,387	4,452	.	50,453	5,787
7	.	10,936	1,094	10,936	.	4,830	11,847	.	5,650	6,379	.	2,734	.	30,985	3,554
8	.	17,516	1,752	.	17,516	7,736	.	18,976	9,050	10,218	.	4,379	49,629	.	5,693
9	7,945	.	795	.	7,945	3,509	4,221	4,387	4,105	4,635	.	1,986	.	22,512	2,582
10	10,259	.	1,026	.	10,259	4,531	.	11,114	5,300	.	5,984	2,565	.	29,067	3,334
11	13,040	.	1,304	13,040	.	5,759	14,127	.	6,737	.	7,607	3,260	.	36,947	4,238
12	.	38,399	3,840	.	38,399	16,960	.	41,599	19,839	.	22,399	9,600	108,800	.	12,480
13	.	16,696	1,670	16,696	.	7,374	18,087	.	8,626	.	9,739	4,174	.	47,305	5,426
14	.	12,726	1,273	12,726	.	5,621	13,787	.	6,575	.	7,424	3,182	.	36,057	4,136
15	.	50,751	5,075	50,751	.	22,415	.	.	15,733	29,605	.	7,613	143,790	.	16,494
16	.	10,380	1,038	10,380	.	4,584	.	11,244	5,363	.	6,055	2,595	.	29,409	3,373
17	.	58,692	3,521	.	58,692	25,922	.	.	18,194	.	.	8,804	166,290	.	11,445
18	10,523	.	1,052	.	10,523	4,648	11,400	.	5,437	6,138	.	2,631	.	29,815	3,420
19	6,054	.	605	.	6,054	2,674	6,559	.	3,128	.	3,532	1,514	.	17,154	1,968
20	10,199	.	1,020	10,199	.	4,504	11,049	.	5,269	.	5,949	2,550	.	28,896	3,315
21	.	12,751	1,275	12,751	.	5,632	13,814	.	6,588	.	7,438	3,188	.	36,128	4,144
22	13,317	.	1,332	13,317	.	5,881	14,426	.	6,880	.	7,768	3,329	.	37,730	4,328
23	15,213	.	1,521	15,213	.	6,719	16,481	.	7,860	.	8,875	3,803	.	43,105	4,944
24	5,482	.	548	5,482	.	2,421	5,939	.	2,832	.	3,198	1,370	.	15,532	1,782
25	15,403	.	1,540	15,403	.	6,803	16,687	.	7,958	.	8,985	3,851	.	43,642	5,006
26	12,085	.	1,208	12,085	.	5,337	13,092	.	6,244	.	7,049	3,021	.	34,240	3,927
27	6,414	.	641	6,414	.	2,833	6,948	.	3,314	.	3,741	1,603	.	18,172	2,084
28	15,682	.	1,568	.	15,682	6,926	16,989	.	8,102	.	9,148	3,920	.	44,432	5,097
29	6,440	.	644	6,440	.	2,844	6,976	.	3,327	.	3,756	1,610	.	18,245	2,093

30	9,703	.	970	9,703	.	4,285	10,511	.	5,013	.	5,660	2,426	.	27,491	3,153
31	9,002	.	900	9,002	.	3,976	.	9,752	4,651	.	5,251	2,250	.	25,505	2,926
32	8,059	.	806	8,059	.	3,560	.	8,731	4,164	.	4,701	2,015	.	22,835	2,619
33	12,852	.	1,285	12,852	.	5,676	.	13,923	6,640	.	7,497	3,213	.	36,413	4,177
34	15,763	.	1,576	15,763	.	6,962	.	17,077	8,144	.	9,195	3,941	.	44,663	5,123
35	7,113	.	711	7,113	.	3,141	.	7,706	3,675	.	4,149	1,778	.	20,153	2,312
36	10,592	.	1,059	10,592	.	4,678	.	11,475	5,473	.	6,179	2,648	.	30,011	3,442
37	4,501	.	450	4,501	.	1,988	.	4,876	2,326	.	2,626	1,125	.	12,754	1,463
38	.	18,303	1,830	18,303	.	8,084	.	19,829	9,457	.	10,677	4,576	51,859	.	5,949
39	.	27,714	2,771	27,714	.	12,240	30,024	.	14,319	.	16,167	6,929	78,524	.	9,007
40	13,423	.	1,342	13,423	.	5,929	.	14,542	6,935	.	7,830	3,356	.	38,033	4,363
s	$zf_{5.11.s}$	$zr_{5.11.s}$	$h_{11.5.s}$	$zf_{5.12.s}$	$zr_{5.12.s}$	$h_{12.5.s}$	$zf_{5.13.s}$	$zr_{5.13.s}$	$h_{13.5.s}$	$zf_{5.14.s}$	$zr_{5.14.s}$	$h_{14.5.s}$	$zf_{5.15.s}$	$zr_{5.15.s}$	$h_{15.5.s}$
1	.	2,884	1,730	6,921	.	2,521	.	18,457	2,826	.	8,075	5,479	6,921	.	513
2	.	3,293	1,976	.	7,904	2,878	.	21,078	3,228	9,222	.	6,258	.	7,904	586
3	5,606	.	3,363	.	13,453	4,899	.	35,875	5,493	15,695	.	10,650	13,453	.	998
4	6,058	.	3,635	14,540	.	5,295	.	38,773	5,937	.	16,963	11,511	.	14,540	1,078
5	4,071	4,859	5,358	.	21,432	7,805	.	57,151	8,751	25,003	.	16,967	21,432	.	1,590
6	.	7,420	4,452	.	17,807	6,485	.	47,485	7,271	.	20,775	14,097	.	17,807	1,321
7	4,557	.	2,734	.	10,936	3,982	.	29,162	4,465	12,758	.	8,658	.	10,936	811
8	7,298	.	4,379	17,516	.	6,379	.	46,709	7,152	.	20,435	13,867	.	17,516	1,299
9	.	3,311	1,986	7,945	.	2,893	.	21,188	3,244	9,270	.	6,290	.	7,945	589
10	.	4,275	2,565	10,259	.	3,736	27,357	.	4,189	.	11,969	8,122	10,259	.	761
11	.	5,433	3,260	13,040	.	4,749	34,774	.	5,325	.	15,214	10,324	.	13,040	967
12	.	16,000	9,600	.	38,399	13,984	102,400	.	15,680	44,799	.	30,399	.	38,399	2,848
13	.	6,957	4,174	16,696	.	6,080	44,523	.	6,818	.	19,479	13,218	16,696	.	1,238

14	.	5,303	3,182	12,726	.	4,634	33,936	.	5,196	.	14,847	10,075	12,726	.	944
15	21,146	.	7,613	50,751	.	11,089	.	.	12,434	.	59,209	40,178	.	.	2,258
16	.	4,325	2,595	10,380	.	3,780	27,679	.	4,238	12,109	.	8,217	10,380	.	770
17	.	.	8,804	.	.	12,824	.	.	14,380	68,473	.	27,878	.	.	2,612
18	.	4,385	2,631	10,523	.	3,832	28,061	.	4,297	.	12,277	8,331	10,523	.	780
19	.	2,523	1,514	6,054	.	2,205	16,145	.	2,472	.	7,063	4,793	6,054	.	449
20	1,341	2,908	2,550	10,199	.	3,714	.	27,197	4,164	11,899	.	8,074	10,199	.	756
21	.	5,313	3,188	12,751	.	4,643	34,003	.	5,207	14,876	.	10,095	12,751	.	946
22	.	5,549	3,329	13,317	.	4,849	35,511	.	5,438	15,536	.	10,542	13,317	.	988
23	.	6,339	3,803	15,213	.	5,540	40,569	.	6,212	17,749	.	12,044	15,213	.	1,128
24	2,284	.	1,370	5,482	.	1,996	14,618	.	2,238	6,395	.	4,340	5,482	.	407
25	6,418	.	3,851	15,403	.	5,609	41,075	.	6,290	17,970	.	12,194	15,403	.	1,142
26	.	5,035	3,021	12,085	.	4,401	32,225	.	4,935	14,099	.	9,567	12,085	.	896
27	.	2,672	1,603	6,414	.	2,336	17,103	.	2,619	7,482	.	5,077	6,414	.	476
28	.	6,534	3,920	15,682	.	5,711	41,818	.	6,403	18,295	.	12,415	15,682	.	1,163
29	.	2,683	1,610	6,440	.	2,345	17,172	.	2,629	7,513	.	5,098	6,440	.	478
30	.	4,043	2,426	9,703	.	3,533	25,874	.	3,962	11,320	.	7,681	9,703	.	720
31	.	3,751	2,250	9,002	.	3,278	24,005	.	3,676	10,502	.	7,126	9,002	.	668
32	.	3,358	2,015	8,059	.	2,935	21,492	.	3,291	9,403	.	6,380	8,059	.	598
33	.	5,355	3,213	12,852	.	4,680	34,271	.	5,248	14,994	.	10,174	12,852	.	953
34	.	6,568	3,941	15,763	.	5,741	42,036	.	6,437	18,391	.	12,479	15,763	.	1,169
35	.	2,964	1,778	7,113	.	2,590	18,967	.	2,904	8,298	.	5,631	7,113	.	528
36	.	4,413	2,648	10,592	.	3,857	28,245	.	4,325	12,357	.	8,385	10,592	.	786
37	.	1,876	1,125	4,501	.	1,639	12,003	.	1,838	5,251	.	3,564	4,501	.	334
38	.	7,626	4,576	.	18,303	6,665	.	48,809	7,474	.	21,354	14,490	.	18,303	1,357

39	.	11,548	6,929	.	27,714	10,093	.	73,905	11,317	32,333	.	21,940	.	27,714	2,055
40	5,593	.	3,356	13,423	.	4,888	35,796	.	5,481	15,661	.	10,627	13,423	.	996
s	$zf_{5,16,s}$	$zr_{5,16,s}$	$h_{16,5,s}$	$zf_{5,17,s}$	$zr_{5,17,s}$	$h_{17,5,s}$	$zf_{5,18,s}$	$zr_{5,18,s}$	$h_{18,5,s}$	$zf_{5,19,s}$	$zr_{5,19,s}$	$h_{19,5,s}$	$zf_{5,20,s}$	$zr_{5,20,s}$	$h_{20,5,s}$
1	.	12,689	992	7,498	.	1,327	25,955	.	692	.	14,996	2,480	.	9,805	692
2	14,491	.	1,133	8,563	.	1,515	29,641	.	790	.	17,126	2,832	.	11,198	790
3	.	24,664	1,928	14,574	.	2,579	50,450	.	1,345	.	29,149	4,821	19,059	.	1,345
4	.	26,656	2,084	.	15,751	2,787	.	54,524	1,454	31,503	.	5,210	20,598	.	1,454
5	.	39,291	3,072	.	23,217	4,108	.	80,368	2,143	.	46,435	7,680	30,361	.	2,143
6	.	32,646	2,552	.	19,291	3,413	66,776	.	1,781	.	38,582	6,381	25,227	.	1,781
7	15,841	4,208	1,567	11,847	.	2,096	.	41,009	1,094	.	23,694	3,919	15,492	.	1,094
8	32,113	.	2,511	18,976	.	3,357	.	65,685	1,752	.	37,951	6,277	24,814	.	1,752
9	14,567	.	1,139	.	8,608	1,523	29,795	.	795	17,215	.	2,847	.	11,256	795
10	18,808	.	1,470	.	11,114	1,966	38,471	.	1,026	.	22,228	3,676	.	14,533	1,026
11	23,907	.	1,869	14,127	.	2,499	.	48,901	1,304	28,254	.	4,673	.	18,474	1,304
12	70,398	.	5,504	.	41,599	7,360	106,810	37,185	3,840	.	83,198	13,760	.	54,398	3,840
13	30,609	.	2,393	.	18,087	3,200	62,610	.	1,670	.	36,175	5,983	.	23,653	1,670
14	23,331	.	1,824	.	13,787	2,439	47,723	.	1,273	.	27,573	4,560	.	18,029	1,273
15	.	.	4,364	54,980	.	5,836	34,133	.	3,045	109,960	.	18,186	.	71,897	3,045
16	19,029	.	1,488	.	11,244	1,989	.	38,923	1,038	.	22,489	3,719	.	14,704	1,038
17	.	.	5,047	.	63,582	6,749	.	.	3,521	.	127,170	12,619	83,146	.	3,521
18	19,292	.	1,508	.	11,400	2,017	.	39,461	1,052	.	22,800	3,771	.	14,908	1,052
19	11,100	.	868	.	6,559	1,160	.	22,704	605	.	13,118	2,169	8,577	.	605
20	18,698	.	1,462	.	11,049	1,955	.	38,245	1,020	.	22,097	3,655	.	14,448	1,020
21	23,377	.	1,828	.	13,814	2,444	.	47,816	1,275	.	27,627	4,569	.	18,064	1,275
22	24,414	.	1,909	.	14,426	2,552	.	49,937	1,332	.	28,853	4,772	.	18,865	1,332

23	.	27,891	2,181	.	16,481	2,916	.	57,051	1,521	.	32,963	5,452	12,910	8,642	1,521
24	.	10,050	786	.	5,939	1,051	.	20,557	548	.	11,877	1,964	.	7,766	548
25	.	28,239	2,208	.	16,687	2,952	.	57,762	1,540	.	33,373	5,519	.	21,821	1,540
26	.	22,155	1,732	.	13,092	2,316	.	45,317	1,208	.	26,183	4,330	.	17,120	1,208
27	.	11,758	919	.	6,948	1,229	.	24,051	641	.	13,896	2,298	.	9,086	641
28	.	28,750	2,248	.	16,989	3,006	.	58,807	1,568	.	33,977	5,619	.	22,216	1,568
29	.	11,806	923	.	6,976	1,234	.	24,148	644	.	13,952	2,308	.	9,123	644
30	.	17,788	1,391	.	10,511	1,860	.	36,385	970	.	21,023	3,477	.	13,746	970
31	.	16,503	1,290	.	9,752	1,725	.	33,757	900	.	19,504	3,226	.	12,753	900
32	.	14,776	1,155	.	8,731	1,545	.	30,223	806	.	17,462	2,888	.	11,418	806
33	.	23,562	1,842	.	13,923	2,463	.	48,194	1,285	.	27,845	4,605	.	18,207	1,285
34	.	28,900	2,259	.	17,077	3,021	.	59,113	1,576	.	34,154	5,649	.	22,332	1,576
35	.	13,040	1,020	.	7,706	1,363	.	26,673	711	.	15,411	2,549	.	10,076	711
36	.	19,419	1,518	.	11,475	2,030	.	39,720	1,059	.	22,949	3,795	.	15,005	1,059
37	.	8,252	645	.	4,876	863	.	16,880	450	.	9,753	1,613	.	6,377	450
38	.	33,556	2,623	.	19,829	3,508	68,638	.	1,830	.	39,657	6,559	25,930	.	1,830
39	34,831	15,978	3,972	30,024	.	5,312	.	103,930	2,771	.	60,048	9,931	.	39,262	2,771
40	.	24,609	1,924	.	14,542	2,573	.	50,337	1,342	.	29,084	4,810	.	19,016	1,342
s	$zf_{5.21.s}$	$zr_{5.21.s}$	$h_{21.5.s}$	$zf_{5.22.s}$	$zr_{5.22.s}$	$h_{22.5.s}$	$zf_{5.23.s}$	$zr_{5.23.s}$	$h_{23.5.s}$	$zf_{5.24.s}$	$zr_{5.24.s}$	$h_{24.5.s}$	$zf_{5.25.s}$	$zr_{5.25.s}$	$h_{25.5.s}$
1	32,300	.	3,230	.	6,921	1,961	.	13,266	6,460	.	8,998	3,864	.	6,114	5,133
2	.	36,886	3,689	7,904	.	2,240	15,150	.	7,377	10,276	.	4,413	6,982	.	5,862
3	62,782	.	6,278	.	13,453	3,812	.	25,785	12,556	.	17,489	7,511	.	11,884	9,978
4	.	67,852	6,785	14,540	.	4,120	.	27,868	13,570	18,902	.	8,118	12,844	.	10,784
5	100,010	.	10,001	21,432	.	6,072	.	41,077	20,003	27,861	.	11,966	18,931	.	15,895
6	83,099	.	8,310	17,807	.	5,045	34,130	.	16,620	.	23,149	9,942	12,727	3,002	13,207

7	.	51,034	5,103	10,936	.	3,098	20,960	.	10,207	14,217	.	6,106	9,660	.	8,111
8	47,992	33,749	8,174	.	17,516	4,963	.	33,572	16,348	22,771	.	9,780	.	15,472	12,991
9	.	37,079	3,708	.	7,945	2,251	15,229	.	7,416	.	10,329	4,436	7,018	.	5,893
10	.	47,875	4,787	2,979	7,280	2,907	.	19,663	9,575	.	13,337	5,728	9,062	.	7,609
11	.	60,854	6,085	.	13,040	3,695	5,090	19,904	12,171	16,952	.	7,281	11,519	.	9,671
12	179,200	.	17,919	38,399	.	10,880	.	73,598	35,839	.	49,919	21,439	.	33,919	28,479
13	.	77,914	7,791	.	16,696	4,731	19,175	12,826	15,583	21,705	.	9,322	.	14,748	12,383
14	.	59,388	5,939	.	12,726	3,606	.	24,392	11,878	4,538	12,006	7,105	.	11,241	9,438
15	93,131	143,710	23,684	.	50,751	14,379	.	97,272	47,367	.	65,976	17,002	.	44,830	22,584
16	.	48,438	4,844	10,380	.	2,941	19,894	.	9,688	13,493	.	5,795	9,169	.	7,698
17	.	273,890	16,433	.	58,692	16,629	112,490	.	54,779	.	.	19,661	.	23,703	26,118
18	.	49,107	4,911	8,402	2,121	2,982	20,169	.	9,821	13,680	.	5,875	9,295	.	7,805
19	.	28,254	2,825	4,637	1,417	1,715	11,604	.	5,651	7,871	.	3,380	5,348	.	4,490
20	.	47,594	4,759	10,199	.	2,890	19,548	.	9,519	13,258	.	5,694	9,009	.	7,564
21	.	59,505	5,950	.	12,751	3,613	18,256	6,183	11,901	16,576	.	7,119	11,263	.	9,457
22	27,609	34,535	6,214	.	13,317	3,773	25,523	.	12,429	17,312	.	7,435	11,763	.	9,876
23	.	70,996	7,100	15,213	.	4,310	29,159	.	14,199	19,778	.	8,494	13,439	.	11,283
24	.	25,582	2,558	5,482	.	1,553	10,507	.	5,116	7,126	.	3,061	4,842	.	4,066
25	.	71,881	7,188	15,403	.	4,364	29,523	.	14,376	20,024	.	8,600	13,606	.	11,424
26	.	56,395	5,639	11,465	620	3,424	23,162	.	11,279	15,710	.	6,747	10,675	.	8,963
27	.	29,930	2,993	6,414	.	1,817	12,293	.	5,986	8,338	.	3,581	5,665	.	4,757
28	.	73,182	7,318	8,340	7,342	4,443	30,057	.	14,636	20,386	.	8,756	13,852	.	11,631
29	.	30,051	3,005	.	6,440	1,825	12,343	.	6,010	8,371	.	3,595	5,688	.	4,776
30	.	45,280	4,528	.	9,703	2,749	308	18,289	9,056	12,614	.	5,417	8,571	.	7,196
31	.	42,009	4,201	.	9,002	2,551	10,040	7,214	8,402	11,702	.	5,026	7,952	.	6,676

32	.	37,611	3,761	.	8,059	2,284	8,985	6,462	7,522	10,477	.	4,500	7,119	.	5,977
33	.	59,975	5,997	.	12,852	3,641	14,333	10,300	11,995	16,707	.	7,176	11,352	.	9,532
34	.	73,563	7,356	.	15,763	4,466	.	30,213	14,713	20,492	.	8,801	13,924	.	11,691
35	.	33,193	3,319	.	7,113	2,015	3,430	10,203	6,639	9,247	.	3,971	6,283	.	5,275
36	.	49,429	4,943	.	10,592	3,001	5,103	15,198	9,886	13,770	.	5,914	9,356	.	7,856
37	.	21,006	2,101	.	4,501	1,275	5,618	3,009	4,201	5,852	.	2,513	3,976	.	3,338
38	85,416	.	8,542	18,303	.	5,186	17,662	17,419	17,083	23,794	.	10,219	.	16,168	13,575
39	129,330	.	12,933	27,714	.	7,852	53,119	.	25,867	.	36,029	15,474	24,481	.	20,555
40	.	62,642	6,264	5,571	7,852	3,803	25,728	.	12,528	17,450	.	7,495	11,857	.	9,956
s	$\mathbf{zf}_{5,26,s}$	$\mathbf{zr}_{5,26,s}$	$\mathbf{h}_{26,5,s}$	$\mathbf{zf}_{5,27,s}$	$\mathbf{zr}_{5,27,s}$	$\mathbf{h}_{27,5,s}$	$\mathbf{zf}_{5,28,s}$	$\mathbf{zr}_{5,28,s}$	$\mathbf{h}_{28,5,s}$	$\mathbf{zf}_{5,29,s}$	$\mathbf{zr}_{5,29,s}$	$\mathbf{h}_{29,5,s}$	$\mathbf{zf}_{5,30,s}$	$\mathbf{zr}_{5,30,s}$	$\mathbf{h}_{30,5,s}$
1	5,191	.	2,596	5,018	.	3,230	9,805	.	7,094	7,374	1,855	6,921	.	5,653	2,215
2	5,928	.	2,964	5,731	.	3,689	.	11,198	8,102	10,539	.	7,904	.	6,455	2,529
3	.	10,090	5,045	.	9,754	6,278	.	19,059	13,790	.	17,938	13,453	10,987	.	4,305
4	.	10,905	5,452	.	10,541	6,785	20,598	.	14,903	19,386	.	14,540	.	11,874	4,653
5	.	16,074	8,037	15,538	.	10,001	30,361	.	21,967	28,575	.	21,432	17,502	.	6,858
6	.	13,355	6,678	12,910	.	8,310	25,227	.	18,252	23,743	.	17,807	.	14,542	5,698
7	.	8,202	4,101	7,928	.	5,103	.	15,492	11,209	14,581	.	10,936	8,931	.	3,499
8	13,137	.	6,569	12,699	.	8,174	24,814	.	17,954	.	23,355	17,516	14,305	.	5,605
9	5,959	.	2,980	.	5,760	3,708	.	11,256	8,144	10,594	.	7,945	.	6,489	2,543
10	7,694	.	3,847	.	7,438	4,787	14,533	.	10,515	13,678	.	10,259	.	8,378	3,283
11	9,780	.	4,890	9,454	.	6,085	18,474	.	13,366	.	17,387	13,040	.	10,650	4,173
12	.	28,799	14,400	.	27,839	17,919	54,398	.	39,359	.	51,199	38,399	31,359	.	12,288
13	12,522	.	6,261	12,105	.	7,791	23,653	.	17,113	.	22,261	16,696	.	13,635	5,343
14	9,545	.	4,772	9,226	.	5,939	18,029	.	13,044	16,968	.	12,726	.	10,393	4,072
15	.	38,063	11,419	.	36,794	14,210	.	71,897	31,211	67,668	.	30,451	.	41,446	9,744

16	7,785	.	3,892	7,525	.	4,844	14,704	.	10,639	13,839	.	10,380	.	8,477	3,321
17	3,673	40,346	13,205	.	42,551	16,433	.	83,146	36,095	78,255	.	35,215	47,931	.	11,269
18	7,892	.	3,946	7,629	.	4,911	.	14,908	10,786	.	14,031	10,523	.	8,594	3,367
19	4,541	.	2,270	4,389	.	2,825	.	8,577	6,206	8,072	.	6,054	.	4,944	1,937
20	7,649	.	3,825	7,394	.	4,759	.	14,448	10,454	13,598	.	10,199	8,329	.	3,264
21	9,563	.	4,782	9,244	.	5,950	.	18,064	13,070	17,001	.	12,751	.	10,413	4,080
22	9,987	.	4,994	.	9,655	6,214	.	18,865	13,649	.	17,755	13,317	.	10,875	4,261
23	11,410	.	5,705	11,030	.	7,100	.	21,552	15,594	20,285	.	15,213	.	12,424	4,868
24	4,111	.	2,056	.	3,974	2,558	.	7,766	5,619	7,309	.	5,482	4,477	.	1,754
25	.	11,552	5,776	11,167	.	7,188	21,821	.	15,788	20,538	.	15,403	.	12,579	4,929
26	9,063	.	4,532	8,761	.	5,639	17,120	.	12,387	.	16,113	12,085	9,869	.	3,867
27	4,810	.	2,405	4,650	.	2,993	.	9,086	6,574	8,551	.	6,414	5,238	.	2,052
28	11,761	.	5,881	11,369	.	7,318	.	22,216	16,074	20,909	.	15,682	12,807	.	5,018
29	.	4,830	2,415	4,669	.	3,005	.	9,123	6,601	8,586	.	6,440	5,259	.	2,061
30	7,277	.	3,639	7,034	.	4,528	13,746	.	9,945	12,937	.	9,703	7,924	.	3,105
31	6,751	.	3,376	6,526	.	4,201	12,753	.	9,227	12,002	.	9,002	7,352	.	2,881
32	6,045	.	3,022	5,843	.	3,761	11,418	.	8,261	10,746	.	8,059	6,582	.	2,579
33	9,639	.	4,819	9,318	.	5,997	18,207	.	13,173	17,136	.	12,852	10,496	.	4,113
34	11,823	.	5,911	11,428	.	7,356	22,332	.	16,158	21,018	.	15,763	12,873	.	5,044
35	5,335	.	2,667	5,157	.	3,319	10,076	.	7,291	9,484	.	7,113	5,809	.	2,276
36	7,944	.	3,972	7,679	.	4,943	15,005	.	10,857	14,123	.	10,592	8,650	.	3,389
37	3,376	.	1,688	3,263	.	2,101	6,377	.	4,614	6,002	.	4,501	3,676	.	1,440
38	13,728	.	6,864	.	13,270	8,542	.	25,930	18,761	.	24,404	18,303	.	14,948	5,857
39	20,786	.	10,393	20,093	.	12,933	.	39,262	28,407	.	36,952	27,714	22,633	.	8,869
40	10,067	.	5,034	9,732	.	6,264	19,016	.	13,759	17,898	.	13,423	10,962	.	4,295

s	$zf_{5.31.s}$	$zr_{5.31.s}$	$h_{31.5.s}$	$zf_{5.32.s}$	$zr_{5.32.s}$	$h_{32.5.s}$	$zf_{5.33.s}$	$zr_{5.33.s}$	$h_{33.5.s}$	$zf_{5.34.s}$	$zr_{5.34.s}$	$h_{34.5.s}$	$zf_{5.35.s}$	$zr_{5.35.s}$	$h_{35.5.s}$
1			2,596			3,922			2,647			692			1,373
2			2,964			4,479			3,023			790			1,568
3			5,045			7,624			5,146			1,345			2,668
4			5,452			8,239			5,561			1,454			2,884
5			8,037			12,145			8,198			2,143			4,251
6			6,678			10,091			6,811			1,781			3,532
7			4,101			6,197			4,183			1,094			2,169
8			6,569			9,926			6,700			1,752			3,474
9			2,980			4,502			3,039			795			1,576
10			3,847			5,813			3,924			1,026			2,035
11			4,890			7,389			4,988			1,304			2,586
12			14,400			21,759			14,688			3,840			7,616
13			6,261			9,461			6,386			1,670			3,311
14			4,772			7,211			4,868			1,273			2,524
15			11,419			28,759			18,594			3,045			6,040
16			3,892			5,882			3,970			1,038			2,059
17			13,205			19,955			13,470			3,521			6,984
18			3,946			5,963			4,025			1,052			2,087
19			2,270			3,431			2,316			605			1,201
20			3,825			5,779			3,901			1,020			2,023
21			4,782			7,226			4,877			1,275			2,529
22			4,994			7,546			5,094			1,332			2,641
23			5,705			8,621			5,819			1,521			3,017
24			2,056			3,106			2,097			548			1,087

25			5,776			8,728			5,892			1,540			3,055
26			4,532			6,848			4,622			1,208			2,397
27			2,405			3,634			2,453			641			1,272
28			5,881			8,886			5,998			1,568			3,110
29			2,415			3,649			2,463			644			1,277
30			3,639			5,498			3,711			970			1,924
31			3,376			5,101			3,443			900			1,785
32			3,022			4,567			3,083			806			1,598
33			4,819			7,283			4,916			1,285			2,549
34			5,911			8,933			6,030			1,576			3,126
35			2,667			4,031			2,721			711			1,411
36			3,972			6,002			4,051			1,059			2,101
37			1,688			2,551			1,722			450			893
38			6,864			10,372			7,001			1,830			3,630
39			10,393			15,705			10,601			2,771			5,497
40			5,034			7,607			5,134			1,342			2,662
s	$zf_{5.36.s}$	$zr_{5.36.s}$	$h_{36.5.s}$	$zf_{5.37.s}$	$zr_{5.37.s}$	$h_{37.5.s}$	$zf_{5.38.s}$	$zr_{5.38.s}$	$h_{38.5.s}$	$zf_{5.39.s}$	$zr_{5.39.s}$	$h_{39.5.s}$	$zf_{5.40.s}$	$zr_{5.40.s}$	$h_{40.5.s}$
1			3,230			4,499			9,015			22,838			4,499
2			3,689			5,138			10,295			7,785			5,138
3			6,278			8,745			17,523			26,411			8,745
4			6,785			9,451			18,938			7,892			9,451
5			10,001			13,930			27,915			4,541			13,930
6			8,310			11,575			23,194			7,649			11,575
7			5,103			7,108			14,244			9,563			7,108
8			8,174			11,385			22,815			9,987			11,385

9			3,708			5,165			10,349			11,410			5,165
10			4,787			6,668			13,362			4,111			6,668
11			6,085			8,476			16,985			11,552			8,476
12			17,919			24,959			50,015			9,063			24,959
13			7,791			10,852			21,746			4,810			10,852
14			5,939			8,272			16,576			11,761			8,272
15			14,210			32,988			66,103			4,830			19,793
16			4,844			6,747			13,519			7,277			6,747
17			16,433			22,889			45,868			6,751			22,889
18			4,911			6,840			13,706			6,045			6,840
19			2,825			3,935			7,886			9,639			3,935
20			4,759			6,629			13,284			11,823			6,629
21			5,950			8,288			16,608			5,335			8,288
22			6,214			8,656			17,345			7,944			8,656
23			7,100			9,889			19,816			3,376			9,889
24			2,558			3,563			7,140			13,728			3,563
25			7,188			10,012			20,063			20,786			10,012
26			5,639			7,855			15,740			10,067			7,855
27			2,993			4,169			8,354						4,169
28			7,318			10,193			20,426						10,193
29			3,005			4,186			8,388						4,186
30			4,528			6,307			12,638						6,307
31			4,201			5,851			11,725						5,851
32			3,761			5,239			10,497						5,239
33			5,997			8,354			16,739						8,354

34			7,356			10,246			20,532						10,246
35			3,319			4,623			9,264						4,623
36			4,943			6,885			13,796						6,885
37			2,101			2,926			5,863						2,926
38			8,542			11,897			23,840						11,897
39			12,933			18,014			36,098						18,014
40			6,264			8,725			17,484						8,725
s	$zf_{5.41.s}$	$zr_{5.41.s}$	$h_{41.5.s}$	$zf_{5.42.s}$	$zr_{5.42.s}$	$h_{42.5.s}$	$zf_{5.43.s}$	$zr_{5.43.s}$	$h_{43.5.s}$	$zf_{5.44.s}$	$zr_{5.44.s}$	$h_{44.5.s}$	$zf_{5.45.s}$	$zr_{5.45.s}$	$h_{45.5.s}$
1			3,126			4,499			8,363			1,327			709
2			3,570			5,138			9,551			1,515			810
3			6,076			8,745			16,256			2,579			1,379
4			6,567			9,451			17,569			2,787			1,490
5			9,680			13,930			25,896			4,108			2,197
6			8,043			11,575			21,517			3,413			1,825
7			4,939			7,108			13,214			2,096			1,121
8			7,911			11,385			21,165			3,357			1,795
9			3,589			5,165			9,601			1,523			814
10			4,634			6,668			12,396			1,966			1,052
11			5,890			8,476			15,757			2,499			1,337
12			17,343			24,959			46,399			7,360			3,936
13			7,541			10,852			20,174			3,200			1,711
14			5,748			8,272			15,377			2,439			1,304
15			22,922			32,988			36,794			5,836			3,121
16			4,688			6,747			12,542			1,989			1,064
17			26,509			38,149			42,551			6,749			3,610

18			4,753			6,840			12,715			2,017			1,079
19			2,735			3,935			7,316			1,160			621
20			4,606			6,629			12,323			1,955			1,045
21			5,759			8,288			15,407			2,444			1,307
22			6,015			8,656			16,091			2,552			1,365
23			6,871			9,889			18,383			2,916			1,559
24			2,476			3,563			6,624			1,051			562
25			6,957			10,012			18,612			2,952			1,579
26			5,458			7,855			14,602			2,316			1,239
27			2,897			4,169			7,750			1,229			657
28			7,083			10,193			18,949			3,006			1,607
29			2,909			4,186			7,781			1,234			660
30			4,382			6,307			11,724			1,860			995
31			4,066			5,851			10,877			1,725			923
32			3,640			5,239			9,739			1,545			826
33			5,805			8,354			15,529			2,463			1,317
34			7,120			10,246			19,047			3,021			1,616
35			3,213			4,623			8,595			1,363			729
36			4,784			6,885			12,799			2,030			1,086
37			2,033			2,926			5,439			863			461
38			8,267			11,897			22,117			3,508			1,876
39			12,518			18,014			33,488			5,312			2,841
40			6,063			8,725			16,220			2,573			1,376
s	$zf_{5.46.s}$	$zr_{5.46.s}$	$h_{46.5.s}$	$zf_{5.47.s}$	$zr_{5.47.s}$	$h_{47.5.s}$	$zf_{5.48.s}$	$zr_{5.48.s}$	$h_{48.5.s}$	$zf_{5.49.s}$	$zr_{5.49.s}$	$h_{49.5.s}$	$zf_{5.50.s}$	$zr_{5.50.s}$	$h_{50.5.s}$
1			1,961			2,596			5,133			3,230			2,647

2			2,240			2,964			5,862			3,689			3,023
3			3,812			5,045			9,978			6,278			5,146
4			4,120			5,452			10,784			6,785			5,561
5			6,072			8,037			15,895			10,001			8,198
6			5,045			6,678			13,207			8,310			6,811
7			3,098			4,101			8,111			5,103			4,183
8			4,963			6,569			12,991			8,174			6,700
9			2,251			2,980			5,893			3,708			3,039
10			2,907			3,847			7,609			4,787			3,924
11			3,695			4,890			9,671			6,085			4,988
12			10,880			14,400			28,479			17,919			14,688
13			4,731			6,261			12,383			7,791			6,386
14			3,606			4,772			9,438			5,939			4,868
15			8,627			11,419			22,584			14,210			11,647
16			2,941			3,892			7,698			4,844			3,970
17			9,977			13,205			26,118			16,433			13,470
18			2,982			3,946			7,805			4,911			4,025
19			1,715			2,270			4,490			2,825			2,316
20			2,890			3,825			7,564			4,759			3,901
21			3,613			4,782			9,457			5,950			4,877
22			3,773			4,994			9,876			6,214			5,094
23			4,310			5,705			11,283			7,100			5,819
24			1,553			2,056			4,066			2,558			2,097
25			4,364			5,776			11,424			7,188			5,892
26			3,424			4,532			8,963			5,639			4,622

27			1,817			2,405			4,757			2,993			2,453
28			4,443			5,881			11,631			7,318			5,998
29			1,825			2,415			4,776			3,005			2,463
30			2,749			3,639			7,196			4,528			3,711
31			2,551			3,376			6,676			4,201			3,443
32			2,284			3,022			5,977			3,761			3,083
33			3,641			4,819			9,532			5,997			4,916
34			4,466			5,911			11,691			7,356			6,030
35			2,015			2,667			5,275			3,319			2,721
36			3,001			3,972			7,856			4,943			4,051
37			1,275			1,688			3,338			2,101			1,722
38			5,186			6,864			13,575			8,542			7,001
39			7,852			10,393			20,555			12,933			10,601
40			3,803			5,034			9,956			6,264			5,134

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 12.10.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1995-1998

Akdeniz Koleji Fen Lisesi

Lisans 1998-2002

Yıldız Üniversitesi Makina Fak.
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2004

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Müh. Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bölümü Programı

Doktora 2004-2008

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Müh. Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bölümü Programı

Çalıştığı kurumlar

2003-Devam ediyor

Yıldız Teknik Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü Araştırma
Görevlisi