



**T.C. İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE ÖMRÜNÜ
TAMAMLAMIŞ ARAÇLARIN TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI:
İSTANBUL İLİ ÖRNEĞİ**

Emine CİN

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI

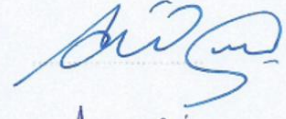
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
İSTANBUL-2017**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Emine CİN tarafından hazırlanan "**Bulanık Doğrusal Programlama İle Ömrünü Tamamlamış Araçların Tersine Lojistik Ağ Tasarımı: İstanbul İli Örneği**" adlı tez çalışması 19/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI
İstanbul Ticaret Üniversitesi



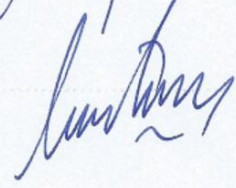
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Berk AYVAZ
İstanbul Ticaret Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Fatih ÖZTÜRK
İstanbul Medeniyet Üniversitesi



Onay Tarihi : 21/7/2017


Doç. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Tarih: 26/05/2017

İmza

Emine CİN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	13
2.1. İnceleme Yöntemi.....	13
2.1.1. Kümeleme Analizi	13
2.1.2. Özdenleyici Haritalar (SOM)	13
2.1.3. SOM Yöntemi ile Kümeleme	16
2.1.4. Kümeleme Sonuçları	20
2.2. İncelenen Çalışmaların Kümelemelere Göre Değerlendirilmesi	23
3. METODOLOJİ	28
3.1. Bulanıklık ve Bulanık Mantığın Tanımı.....	28
3.2. Bulanık Mantığın Tarihi	28
3.3. Bulanık Mantık ile Klasik Mantık Arasındaki Farklar	29
3.4. Bulanık Mantığın Kullanım Alanları	29
3.5. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları	29
3.6. Bulanık Küme Teorisi.....	30
3.7. Bulanık Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Sayılar	32
3.7.1. Üçgen (Triangular) üyelik fonksiyonları.....	32
3.7.2. Yamuk (Trapezoidal) üyelik fonksiyonları.....	33
3.7.3. Çan eğrisi üyelik fonksiyonları.....	33
3.7.4. Gaussal üyelik fonksiyonları	34
3.7.5. Sigmoidal üyelik fonksiyonları.....	35
3.8. Dilsel Değişkenler	35
3.9. Bulanık Küme İşlemleri.....	36
3.10. Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler	37
3.11. Bulanık Doğrusal Programlama	38
3.12. Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemleri	39
3.12.1. Amaç Fonksiyonu ve Kısıtları Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri	40
3.12.2. Kısıtları Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri.....	45
3.12.3. Amaç Fonksiyonu Parametreleri Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri.....	49
3.12.4. Sağ Taraf Sabiti ve Parametre Değerleri Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modeli	50
4. İSTANBUL İÇİN ÖTA AĞ TASARIMI UYGULAMASI	52
4.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi.....	52
4.2. Problemin Tanımlanması	53
4.3. Uygulamanın Çerçevesi ve Kullanılan Veriler	55
4.4. Uygulama	61

4.4.1. Klasik doğrusal programlama modelinin kurulması.....	62
4.4.2. Klasik doğrusal programlama modelinin çözümlenmesi	70
4.4.3. Bulanık doğrusal programlama modellerinin kurulması ve çözümlenmesi	81
4.4.3.1. Kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modelinin kurulması.....	81
4.4.3.2. Kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modelinin çözümlenmesi	84
4.4.3.3. Amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modelinin kurulması.....	90
4.4.3.4. Amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modelinin çözümlenmesi	94
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	106
KAYNAKLAR	108
EKLER.....	115
EK A. Deterministik Modelin Kodları	115
EK B. Bulanık Modelin Kodları (Zimmermann)	125
ÖZGEÇMİŞ.....	135

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ ARAÇLARIN TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI: İSTANBUL İLİ ÖRNEĞİ

Emine CİN

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI

2017, 135

Günümüzde kullanılmış ürün ve materyallerin geri dönüşümü giderek önem kazanan bir sektör haline gelmiştir. Daha az malzeme ve kaynak tüketimi ile ekonomik ve ekolojik fayda sağlamayı amaçlayan geri dönüşüm sektörü hem özel sektörün hem de yerel yönetimlerin katkılarıyla 5 milyar Euro'luk bir pazar haline gelmiş durumdadır.

Dünya ekonomisinin lokomotif sektörlerinden biri olan otomotiv sektöründe de geri dönüşüm ciddiye alınması gereken konuların başında gelmektedir. Çünkü sürekli artan otomotiv üretimi sanayinde doğal kaynaklar büyük ölçüde kullanılmaktadır. TUİK tarafından yayımlanan istatistiklere göre 2016 yılında Türkiye'de 118 bin 658 adet motorlu kara taşıtının trafikten kaydı silinmiştir. Ayrıca 2016 yılı rakamlarına göre Türkiye'de trafiğe kayıtlı 21 milyon 90 bin 424 araçtan 4 milyon 698 bin 633'ü 20 yaş üzeri olup ekonomik ömrünü tamamlamış araçlar kategorisine girmektedir (TUİK, 2017). Şüphesiz ki, bu rakamlar ÖTA için optimize edilmiş bir tersine lojistik ağının tasarlanmasının gerekliliğini kanıtlar niteliktedir.

Bu çalışma ülkemizdeki geri dönüşüm faaliyetlerine ciddi katkılar sağlayacak ve otomotiv sektörünün ihraç edilmiş hammadde ihtiyacını büyük oranlarda azaltacak olan ÖTA'ların geri dönüşümü için bulanık ortamda karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilecektir. Önerilen model İstanbul ilindeki ÖTA'ların geri dönüşüm ağ tasarımı için kurulacak olup, kâr maksimizasyonu amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, Bulanık doğrusal programlama, Ömrünü tamamlamış araçlar, ÖTA, Tersine lojistik,

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

WITH FUZZY LINEAR PROGRAMING THE END OF LIFE VEHICLES, REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN: THE EXAMPLE OF İSTANBUL CITY

Emine ÇİN

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali Osman KUŞAKCI

2017, 135

Today, recycling of used products and materials has become an increasingly important sector. The recycling industry, which aims to provide economic and ecological benefits with less material and resource consumption, has become a market of 5 billion Euros with the contributions of both private sector and local governments.

In the automotive sector, which is one of the locomotive sectors of the world economy, recycling is one of the issues that need to be taken seriously. Because of the constantly increasing automotive production industry, natural resources are excessively used. According to the statistics published by TUIK, the record of 118,658 motorized land vehicles in Turkey was deregeistered from traffic in 2016. In addition, according to the figures of the year of 2016, 4 million 698 thousand 633 of 21 million 90 thousand 424 vehicles registered in the traffic in Turkey are in the category of vehicles over 20 years old and have completed their economic life (TUIK, 2017). Certainly, these figures prove the necessity of designing a reverse logistics network optimized for ELV.

This study will provide a significant contribution to the recycling activities in Turkey and develop a mixed integer linear programming model for the recycling of ELV's, which will greatly reduce the exported raw material needs of the automotive industry. The proposed model will be set up for the recycling network design of ELV in Istanbul province and aims to maximize total profit of the network.

Keywords: End-Of- Life Vehicles, ELV, Fuzzy linear programming, Fuzzy logic, Reverse logistics,

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda her zaman yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Ali Osman Kuşakcı ve destekleriyle hep yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Berk Ayvaz hocamıza sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen ve her zorlukta yanımda olan Sevgili Babam Halil Cin ve Annem Elmas Cin başta olmak üzere tüm aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Emine Cin
İSTANBUL, 2017



ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 1.1. İllere göre motorlu kara taşıtları sayısı, 2016.....	9
Şekil 1.2. Yıllara göre İstanbul ilinde kaydı silinen otomobil sayıları	11
Şekil 2.1. Topolojilerin ortalama Dunn İndex değerleri	18
Şekil 2.2. 1x3 topoloji yapısı ve kümelerin eleman sayıları	20
Şekil 2.3. 1x3 topolojisine göre elde edilen kümeler için girdilerin ağırlıkları	22
Şekil 3.1. Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi	32
Şekil 3.2. Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	33
Şekil 3.3. Çan eğrili üyelik fonksiyonunun gösterimi	34
Şekil 3.4. Gaussal üyelik fonksiyonunun gösterimi	34
Şekil 3.5. Sigmoidal Üyelik Fonksiyonunun Gösterimi	35
Şekil 3.6. Sıcaklık için üyelik fonksiyonları.....	36
Şekil 4.1. ÖTA geri dönüşüm süreci.....	54
Şekil 4.2. ÖTA tersine lojistik ağında yer alan aktörler ve konumları.....	57
Şekil 4.3. İstanbul için trafikten kaydı silinen otomobil sayısına ait 2017 yılı tahmin değeri	58
Şekil 4.4. Deterministik modele göre açılan tesisler	70
Şekil 4.5. Deterministik amaç fonksiyonuna ait gelir ve maliyet kalemleri..	71
Şekil 4.6. Yetkili söküm tesisleri ile ikincil pazar/marketler arasındaki akış.....	74
Şekil 4.7. Yetkili söküm tesisleri ile geri dönüşüm tesisleri arasındaki akış	75
Şekil 4.8. Yetkili söküm tesisleri ile yeniden işleme parçalama tesisleri arasındaki akış.....	76
Şekil 4.9. Yeniden işleme parçalama tesisleri ile bertaraf merkezleri arasındaki akış.....	77
Şekil 4.10. Yeniden işleme parçalama tesisleri ile geri dönüşüm tesisleri arasındaki akış.....	77
Şekil 4.11. Geri dönüşüm tesisleri ile ikincil pazar/marketler arasındaki akış.....	79
Şekil 4.12. Geri dönüşüm tesisleri ile bertaraf merkezleri arasındaki akış ..	79
Şekil 4.13. Farklı λ değerleri için elde edilen amaç fonksiyonu değerleri	85
Şekil 4.14. $(Ax)_i \lesseqgtr b_i$ şeklindeki bulanık kısıtı temsil eden üyelik fonksiyonu	92
Şekil 4.15. Amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık modele ait maliyet kalemleri.....	94
Şekil 4.16. Yetkili söküm tesileri ile marketler arasındaki akış.....	98
Şekil 4.17. Yetkili söküm tesileri ile geri dönüşüm tesisleri arasındaki akış	99
Şekil 4.18. Yetkili söküm tesisleri ile yeniden işleme/parçalama merkezleri arasındaki akış	101
Şekil 4.19. Yeniden işleme/parçalama tesileri ile geri dönüşüm ve bertaraf merkezleri arasındaki akış.....	101
Şekil 4.20. Geri dönüşüm tesisleri ile ikincil pazarlar arasındaki akışlar	103
Şekil 4.21. Geri dönüşüm tesisleri ile bertaraf merkezleri arasındaki akışlar	104

ÇİZELGELER

	Sayfa
Çizelge 1.1. Türkiye’de 2004-2016 yılları arasında kaydı yapılan ve kaydı silinen motorlu kara taşıt sayısı	4
Çizelge 1.2. Ülke ve bölgelere göre ÖTA yönetim sistemlerinin karşılaştırması.....	6
Çizelge 1.3. İstanbul’da yıllara göre kaydı yapılan ve silinen motorlu kara taşıt sayısı.....	10
Çizelge 2.1. SOM kümeleme sürecinin adımları.....	15
Çizelge 2.2. Değişkenlerin alacağı değerler	16
Çizelge 2.3. Değişkenlerin gösterim şekli.....	17
Çizelge 2.4. ÖTA’ların tersine lojistik ağı tasarımı üzerine literatür taraması özeti	19
Çizelge 2.5. 1x3 topolojisindeki kümelerin elemanları.....	20
Çizelge 2.6. 1x3 topolojisine göre her küme için değişkenlerin ortalama değeri	21
Çizelge 3.1. Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki farklar	29
Çizelge 3.2. Bulanık mantığın avantajları ve dezavantajları	30
Çizelge 3.3. Klasik mantık ile bulanık mantığın kullanım şekillerine örnek..	31
Çizelge 3.4. Bulanık küme işlemleri.....	37
Çizelge 3.5. Bulanık sayılarla temel aritmetik işlemler.....	37
Çizelge 3.6. Parametrik bir programlama sonucu olası çözüm değerleri	47
Çizelge 4.1. İstanbul ilçelerinin kordinatları ve nüfusu	59
Çizelge 4.2. Değerli parça ve materyallerin satışından elde edilen gelirler..	61
Çizelge 4.3. İlçelerden LAT ve YST’ye gönderilen ÖTA miktarı	72
Çizelge 4.4. Lisanslı araç toplayıcılarından yetkili söküm tesislerine gönderilen ÖTA miktarı	73
Çizelge 4.5. Yetkili söküm tesisinden ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir komponent/materyaller ile miktarları.....	74
Çizelge 4.6. Yetkili söküm tesisinden geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak olan komponent/materyal miktarı .	75
Çizelge 4.7. Yetkili söküm tesisinden I yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı	76
Çizelge 4.8. Yeniden işleme/parçalama tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen ASR’ nin miktarı	78
Çizelge 4.9. Yeniden işleme/parçalama tesisinden geri dönüşüm tesislerine gönderilen materyal miktarı	78
Çizelge 4.10. Geri dönüşüm tesisinden ikincil pazara gönderilen ham madde miktarı	80
Çizelge 4.11. Geri dönüşüm tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen bertaraf miktarı	80
Çizelge 4.12. Verdegay yaklaşımına göre tesis açma kararları	85
Çizelge 4.13. Yetkili söküm tesisinden geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak olan komponent/materyal miktarı .	86
Çizelge 4.14. Yetkili söküm tesisinden ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir komponent/materyal miktarı.....	87
Çizelge 4.15. Yetkili söküm tesisinden yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı	87

Çizelge 4.16. Yeniden işleme/parçalama tesisinden geri dönüşüm tesislerine gönderilen materyal miktarı	87
Çizelge 4.17. Yeniden işleme/parçalama tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen ASR' nin miktarı.....	88
Çizelge 4.18. Geri dönüşüm tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen bertaraf miktarı	88
Çizelge 4.19. Geri dönüşüm tesisinden ikincil pazara gönderilen ham madde miktarı	89
Çizelge 4.20. Zimmermann yaklaşımına göre tesis açma kararları	95
Çizelge 4.21. İlçelerden lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ÖTA miktarı	96
Çizelge 4.22. İlçelerden yetkili söküm tesislerine gönderilen ÖTA miktarı..	97
Çizelge 4.23. Lisanslı araç toplayıcılarından yetkili söküm tesislerine gönderilen ÖTA miktarı	98
Çizelge 4.24. Yetkili söküm tesisinden ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir komponent/materyaller ile miktarları.....	99
Çizelge 4.25. Yetkili söküm tesisinden geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak olan komponent/materyal miktarı .	100
Çizelge 4.26. Yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı	100
Çizelge 4.27. Yeniden işleme/parçalama tesisinden geri dönüşüm tesislerine gönderilen materyal miktarı	102
Çizelge 4.28. Yeniden işleme/parçalama tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen ASR' nin miktarı.....	102
Çizelge 4.29. Geri dönüşüm tesisinden ikincil pazara gönderilen ham madde miktarı	103
Çizelge 4.30. Geri dönüşüm tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen bertaraf miktarı	104
Çizelge 4.31. Kurulan model çözümlerinin karşılaştırılması.....	106

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Doğrusal programlama modelinde teknoloji katsayıları matrisi
ADTZ	Açık döngü tedarik zinciri
ASR	Araç parça kalıntıları
b	Doğrusal programlama modelinde kaynak katsayıları vektörü
BDP	Bulanık doğrusal programlama
c	Doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonu katsayıları vektörü
DA	Duyarlılık analizi
DI	Dunn indeksi
DP	Doğrusal programlama
DOP	Doğrusal olmayan programlama
ELV	End-of-Life Vecihles
Enb	En büyükleme
Enk	En küçükleme
GDT	Geri dönüşüm tesisi
K	Kesin
KDTZ	Kapalı döngü tedarik zinciri
Kst	Kısıtlar
KTDP	Karma tamsayılı doğrusal programlama
KTROP	Karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama
K1	İstanbul ilinin Başakşehir ilçesinde yer alan yetkili söküm tesisi
K2	İstanbul ilinin Ataşehir ilçesinde yer alan yetkili söküm tesisi
K3	İstanbul ilinin Maltepe ilçesinde yer alan yetkili söküm tesisi
K4	İstanbul ilinin Başakşehir ilçesinde yer alan yetkili söküm tesisi
K5	İstanbul ilinin Esenyurt ilçesinde yer alan yetkili söküm tesisi
LAT	Lisanslı araç toplayıcıları
L1	İstanbul Bahçelievler ilçesinde yer alan yeniden işleme/parçalama tesisi
L2	İstanbul Tuzla ilçesinde yer alan yeniden işleme/parçalama tesisi
L3	İstanbul Başakşehir ilçesinde yer alan yeniden işleme/parçalama tesisi
L4	İstanbul Tuzla ilçesinde yer alan yeniden işleme/parçalama tesisi
ÖTA	Ömrünü tamamlamış araçlar
SA	Senaryo Analizi
SOM	Self Organizing Maps
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ÜBS	Üçgen Bulanık Sayı
YBS	Yamuk Bulanık Sayı
YİPT	Yeniden İşleme Parçalama Tesisi
YST	Yetkili söküm tesisi
x	Doğrusal programlama modelinde karar değişkenleri vektörü
$\mu(\cdot)$	Bulanık küme veya sayıların üyelik derecesi fonksiyonu
~	Üzerine konulan ifadenin bulanık sayı veya bulanık küme olduğunu gösterir

1. GİRİŞ

Son yıllarda hızla gelişen teknolojiler rahatlığı beraberinde getirirken bir yandan da ürünlerin kullanım sürelerinin kısalmasına neden olmaktadır. Çünkü günümüz rekabet koşullarında piyasaya her geçen gün “yeni”, hatta birbirinin alternatifi birçok ürün sürülmeye başlanmıştır. Bilinçsiz insanları tüketim çılgınlığına zorlayan bu durum kurum ve kuruluşlara ekonomik fayda getirse de aslında çevreye verdiği zarar oldukça büyüktür.

Ürünlerdeki sürekli değişim trendi, nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselmesi ile doğal kaynaklarımız hızlı bir şekilde tüketilmekte ve çevreye aylarca, yıllarca hatta yüzyıllarca kaybolmayan atık maddeler olarak geri dönmektedir. Doğal kaynakların ciddi boyutlarda tükendiğinin ve atıkların çevreye verdikleri zararların farkına varan ülke ve üreticiler çareyi “Geri Dönüşüm” yöntemleri geliştirmekte bulmuşlardır.

Kullanım süresini doldurmuş demir, çelik, bakır, kurşun, kâğıt, plastik, kauçuk, cam gibi bazı atık malzemelerin çeşitli yöntemler sayesinde tekrar ham madde olarak imalat süreçlerine kazandırılmasına geri dönüşüm denilmektedir. Geri dönüşüm ile doğaya verilen zararlar önemli ölçüde önlenirken bir yandan da sınırlı kaynaklar kontrol altına alınmaktadır. Geri dönüştürülebilen atık maddelerin tekrar ham madde olarak kullanılması ile büyük miktarda enerji tasarrufu elde edilmektedir. Örneğin, sıfırdan imal edilecek alüminyumun yerine yeniden kazanılabilir alüminyumun kullanılması %35'e varan enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca atık malzemelerin ham madde olarak kullanılması çevre kirliliğinin engellenmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Kullanılmış kâğıdın tekrar kâğıt imalatında kullanılması hava kirliliğini %74-94, su kirliliğini %35, su kullanımını ise %45 oranlarında azaltabilmektedir.

Geri dönüşüm sürecine verilen önem, bu sürecin hangi kanallar üzerinden maliyet etkin bir şekilde gerçekleştirileceğinin tanımlandığı tersine lojistik kavramını da ön plana çıkarmıştır. Uzun vadede verimli bir ekonomik yatırım

aracı olarak görülen geri dönüşüm ile doğal kaynakların hızla tüketilmesinin önüne geçilmesi, üretilen atıkların çevre ve insan sağlığı için bir tehdit olmaktan çıkarılarak ekonomi için bir girdi ve değere dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

Bu amaçla değerlendirilebilir nitelikli atık malzemelerin toplanması, ayrıştırılması, depolanması, geri dönüşüm tesislerine nakliye edilmesi ve yeni ürünün minimum maliyetle ekonomiye kazandırılması için gerekli olan sistemi optimize eden tersine lojistik ağlara ihtiyaç duyulmaktadır. Tersine lojistik yönetiminin ekonomik ve ekolojik açıdan önemini fark eden firmalar ürettikleri ürünlerin geri kazanımı için tersine lojistik stratejileri geliştirmekte ve etkili sistemler tasarlamaya çalışmaktadırlar.

Geri dönüşümü tetikleyen bir başka önemli unsurda yasal baskılardır. Son yıllarda konuya ilişkin hassasiyetin artması ile birçok ürünle ilgili tersine lojistik kanalları kanunen tanımlanmış ve bu düzenlemelere göre sürecin paydaşlarının sorumlulukları da belirlenmiştir.

2016 yılı itibarıyla 4 trilyon dolar ile dünya ekonomisinin yaklaşık %5'ini oluşturan ve dünyanın en büyük 4. ekonomisine tekabül eden otomotiv sektöründe de doğal kaynaklar büyük ölçüde kullanılmaktadır (Pişkin, 2017).

Otomotiv sektörü diğer sektörlerle kurduğu girdi-çıkıtı ilişkisi açısından diğer pek çok sektörden daha geniş bir etki alanına sahiptir. Sektörün üretim aşamasındaki temel girdileri, motor ve aktarma organları, metal sac, plastik ve kauçuk ile elektronik devreler ve gömülü yazılımlar olarak sıralanmaktadır. Bunların yanı sıra AR-GE ve lojistik altyapı da üretimde önem arz eden unsurlardır. Söz konusu girdiler, otomotiv sektörü gelişmiş olan ülkelerde başta makine, elektronik, demir çelik, plastik ve kimya olmak üzere pek çok sektörün gelişimine doğrudan katkı sağlamaktadır (Şahin, 2015).

Hem ekonomik büyüklüğü hem de farklı endüstrilerde ortaya çıkardığı çarpan etkisi dikkate alındığında geri dönüştürülmesi gereken en önemli ürünlerden biride ömrünü tamamlamış araçlardır.

Ömrünü tamamlamış araçlar (ÖTA); otomotiv sektörünün diğer çevresel etkilerinden farklı olarak yalnızca çevresel kirleticiler değil, aynı zamanda içerdikleri geri dönüştürülebilir, geri kazanılabilir ve yeniden kullanılabilir malzemeler nedeniyle ekonomik birer değerdirler. Genel olarak ömrünü tamamlamış bir aracın %85'i yeniden kullanılabilir, geri kazanılabilir ve geri dönüştürülebilir parça ve malzemelerden oluşmaktadır. Bu nedenle ekonomik ömrünü doldurmuş bu araçların en uygun yöntemlerle geri kazanılması, oluşan zararlı atık ve sıvıların ise uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Avrupa'da 2009 yılı istatistiklerine göre 9 milyondan fazla araç ekonomik ömrünü tamamlamakta ve hurda araç olarak trafikten çekilmektedir (Phuc vd., 2016). Türkiye'de ise 2016 sonundaki rakamlara göre 21 milyon 90 bin 424 adet araç trafiktir. Bu rakamın 2005 yılında sadece 11 milyon civarında olduğu göz önüne alınırsa ne kadar hızlı bir artış trendine girildiği gözlemlenebilir. Sadece 2016 yılında 1.214.610 araç trafiğe kaydolmuştur (TUİK, 2017). Ancak TUİK tarafından yayımlanan rakamlarda dikkati çeken başka bir konuda trafikten silinen toplam araç sayısının aynı yılda sadece 118 bin 658 olmasıdır. Şüphesiz bu rakam resmi kayıtları dikkate almaktadır ve pratikte kullanılmayan ve trafikten çıkan araç sayısını tam olarak göstermemektedir. Bu sayılar dünya genelinde ve özellikle kalkınmakta olan ülkelerde kalkınma sürecine uyumlu bir şekilde artmaya devam etmektedir. Ayrıca Suriye'de devam eden iç savaştan kaçarak Türkiye'ye sığınan mültecilerin beraberinde getirdikleri özel araçlarda Karayolları Trafik Yönetmeliği'nin 51'inci maddesinde yapılan değişiklikle kayıt altına alınmaya başlanmıştır. 22 Kasım 2014'te Resmi Gazetede yayımlanan Karayolları Trafik Yönetmeliği'nin 51'inci maddesinde yapılan değişiklikle "ülkelerindeki olağanüstü haller nedeniyle Türkiye'ye giriş yapan yabancılara ait araçlara geçici trafik belgesi ve tescil plakası verilmesinin" kararlaştırıldığı belirtilmiştir. Yapılan uygulamalar ve yayınlanan veriler Türkiye'deki trafiğe kayıtlı araç sayısının giderek artış göstereceğini destekler niteliktedir.

TUİK verilerine göre Türkiye'de 2016 yılı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı 21 milyon 90 bin 424 adet motorlu kara taşıtı için ortalama yaş 12,9 olarak

hesaplanmıştır. Ortalama yaş otomobillerde 12,2 iken minibüslerde 12,4, otobüslerde 12,2, kamyonetlerde 10,1, kamyonlarda 15, motosikletlerde 12,4, özel amaçlı taşıtlarda 11,6, traktörlerde ise 22,9'dur. Trafiğe kayıtlı olan 21 milyon 90 bin 424 araçtan 4 milyon 698 bin 633'ü ise 20 yaş üzeri olup ekonomik ömrünü tamamlamış araçlar kategorisine girmektedir (TUİK, 2017). Çizelge 1.1'de 2004-2016 yılları arasında Türkiye'de kaydı yapılan ve kaydı silinen motorlu kara taşıtlarına ait sayısal bilgiler detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye'de 2004-2016 yılları arasında kaydı yapılan ve kaydı silinen motorlu kara taşıt sayısı

Yıllar	Trafiğe kaydı yapılan motorlu kara taşıt sayısı								
	Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel A.	Traktör
2004	838447	432728	19276	11979	211505	37638	92187	2021	31113
2005	988620	406807	28546	14371	227859	39414	227657	3242	40724
2006	1149744	396542	22696	16139	229824	45022	389503	4558	45460
2007	862392	353495	18731	16944	203182	35127	191810	4686	38417
2008	829680	353168	16318	16111	186368	29923	192534	1781	33477
2009	715090	357986	9526	9322	163355	14787	141663	1449	17002
2010	930603	485619	10628	12708	219167	26347	135608	2277	38249
2011	1192726	602248	13542	19302	250962	43272	199083	1682	62635
2012	1069292	565791	13915	20673	197643	38616	179226	1305	52123
2013	1131390	654905	16049	18407	164102	35118	185507	3499	53803
2014	1042328	585814	18559	9562	146757	35520	180010	3374	62732
2015	1272589	746395	23920	12685	206712	42010	165127	5412	70328
2016	1214610	746074	15553	10195	193931	28461	143678	4121	72597
Yıllar	Trafikten kaydı silinen motorlu kara taşıt sayısı								
	Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel A.	Traktör
2004	298285	250630	4829	1922	21662	14838	2643	779	982
2005	79151	34502	8961	3693	12669	9905	5268	913	3240
2006	68177	28295	3712	3580	9257	12416	7738	631	2548
2007	66840	22331	3653	3765	8347	15460	11149	373	1762
2008	87230	28695	5371	5305	10820	14908	14643	5254	2234
2009	163785	60651	9021	8223	24411	31702	19785	2445	7547
2010	151700	34712	7708	5231	25080	27290	49381	889	1409
2011	198801	34008	11080	7906	38896	41173	61381	3058	1299
2012	125407	30027	7231	4630	14141	15424	48694	2350	2910
2013	225356	29713	8344	7262	25637	29911	120482	525	3482
2014	153054	31589	7240	3576	18795	15099	74466	448	1841
2015	106838	17039	5858	2720	14532	8777	55157	484	2271
2016	118658	16735	4268	3597	7619	5520	78430	448	2041

Otomotiv sanayi, tüm sanayileşmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye ekonomisinin de lokomotif sektörlerinden birisidir. Türkiye, 2015 yılında ulaştığı taşıt araçları üretimi seviyesi ile Avrupa'da 5'inci, dünyada ise 15'inci sırada yer almaktadır (Pişkin, 2017).

TUİK tarafından açıklanan ve Çizelge 1.1'de yer alan veriler dikkate alındığında otomotiv sektöründeki geri dönüşümün çevre ve ülke ekonomisine olan katkısı apaçık ortadadır.

Ülkemizde ÖTA geri dönüşümü ile ilgili çalışmalar Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 30 Aralık 2009'da 27448 no'lu Resmî Gazete'de yayınlanan ve Ocak 2011 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren "Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik" ile kontrol altına alınmıştır.

Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkındaki Yönetmeliğin amacı; çevre ve insan sağlığının korunması için araçlardan kaynaklanan atıkların oluşumunu engellemek, ömrünü tamamlamış araçlar ve bunlara ait parçaların yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım işlemleri ile bertaraf edilecek atık miktarını azaltmak, ekonomik operatörlerin ve geçici depolama alanlarının tabi olacakları standartları ve yükümlülükleri belirlemektir.

Yönetmeliğe göre, ömrünü tamamlamış araçların ekonomiye kazandırılmasında sorumlu olan kişi/kuruluşlar: araç kullanıcıları, ekonomik operatörler (Araç ve araç parça ve malzemelerinin üretici, dağıtıcı ve ithalatçıları ile ömrünü tamamlamış araçların toplama, sökme, kesme, parçalama, geri kazanma, geri dönüştürme işlemlerinden herhangi birini yapan kuruluşlar), sigorta şirketleri ve Çevre ve Orman Bakanlığıdır.

Bu Yönetmelik; 18.7.1997 tarihli ve 23053 mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Karayolları Trafik Yönetmeliğinin 3'üncü maddesinin birinci fıkrasının (d) bendinin 2.1 ve 3.1 numaralı alt bentlerinde belirtilen M1, N1 kategorisindeki araçları, motosiklet ve motorlu bisiklet haricindeki üç tekerlekli

araçları, bu kategorilerdeki ömrünü tamamlamış araçlar ile bunlara ait aksam parçaları ve malzemeleri kapsamaktadır.

Bu yönetmelik ile ömrünü tamamlamış araçların son sahibinden maliyetsiz bir şekilde geri alınması, lisanslı toplama, parçalama ve geri kazanma sistemlerinin kurulması ve hurda araçların en az yüzde 85 oranında geri kazanılmasının sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca yönetmelikte 1/1/2020 tarihinden itibaren ömrünü tamamlamış araçlardaki yeniden kullanım-geri kazanım oranlarının ortalama araç ağırlığının en az %95'ine çıkarılması hedefi konulmuştur.

Türkiye'de 2011 yılında yürürlüğe giren Ömrünü Tamamlamış Araçların (ÖTA) Kontrolü Hakkındaki Yönetmelik bu konudaki kayıtların daha aktüel olarak tutulması, geri kazanım kanallarının belirlenmesi, geri dönüşüm ile ilgili hedeflerin belirlenmesi gibi farklı amaçlar da gütmektedir.

Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü ile ilgili uluslararası çapta uygulanmakta olan mevzuat, yönetmelik ve uygulamalar hakkındaki bilgiler ise Çizelge 1.2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 1.2. Ülke ve bölgelere göre ÖTA yönetim sistemlerinin karşılaştırması

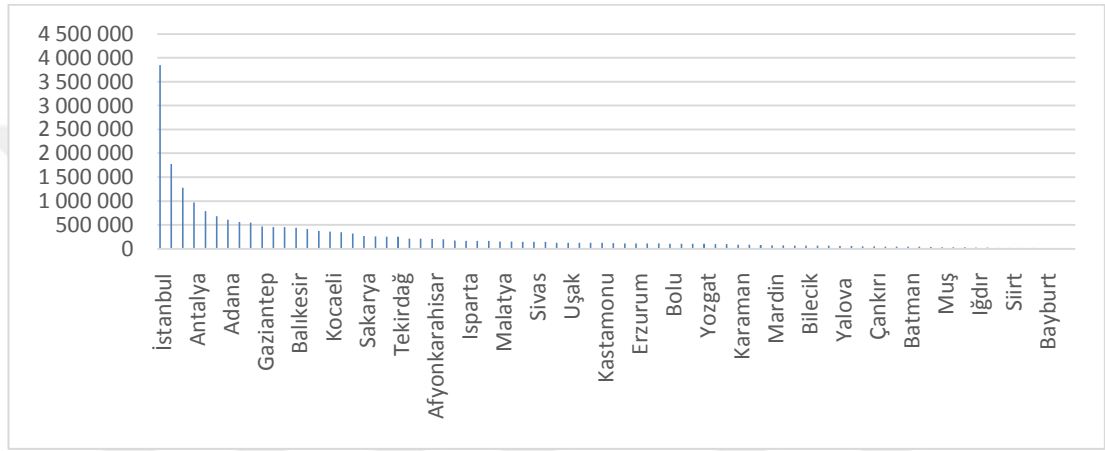
Ülkeler	ÖTA Yönetim Sistemi
AB	2000/53 / EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve 18 Eylül 2000 tarihli Konsey'in Ömrünü Tamamlamış Taşıtlar Hakkında Kanun (2000'de yürürlüğe girmiştir) (DIRECTIVE 2000/53/EC)
Japonya	Hayat Sonrası Araçların Geri Dönüşümü Hakkında Kanun (2005 yılında yürürlüğe girmiştir) (Act on Recycling, etc. of End-of-Life Vehicles, 2002)
Kore	Elektrikli / Elektronik Ekipmanların ve Araçların Geri Dönüşümü Hakkında Kanun (2008'de yürürlüğe girmiştir) (Yun ve Park, 2007)
Çin	Kullanım Ömrü Sonrası Araç Geri Dönüşüm Yönetmeliği (2001'de yürürlüğe girmiştir) Otomotiv Ürünleri Geri Dönüşüm Teknolojisi Politikası (Şubat 2006'da ilan edilmiştir)
İngiltere	Kaynak Koruma Kurtarma Yasası Temiz Hava Kanunu, vb. (Jody ve Daniels, 2006)
	Yönetim Sisteminin Geçmişi

AB	Artan ASR'ye karşı önlemler Terk edilmiş otomobiller için önlemler Söküm alanlarının çevresel önlemleri (Smink, 2007)
Japonya	Nihai imha alanlarının olmaması ASR'nin yasadışı olarak boşaltılması Kaynakların etkin kullanımı (Sakai vd., 2014)
Kore	ÖTA'lar için önlemler Kaynakların etkin kullanımı ÖTA'lar hakkında bilgi yönetimi (Sakai vd., 2014)
Çin	Yasadışı toplanma önlemleri Kaynakların etkin kullanımı Ekonomiyi geri kazanma önlemleri (Zhao ve Chen, 2011)
İngiltere	Yönetmeliklerin sıkı uygulanması (Jody ve Daniels, 2006) ÖTA geri dönüşümüyle ilgili çevre koruma önlemleri
Geri Dönüşüm Masraflarından Sorumlu Taraflar	
AB	Otomobil üreticileri ve ithalatçıları (geri dönüşüm maliyetli ise), son kullanıcılar
Japonya	Kullanıcılar
Kore	Otomobil üreticileri ve ithalatçıları (geri dönüşüm maliyetli ise), son kullanıcılar
Çin	Düzenleme yok (değerli bir ikincil kaynak olarak ticareti yapılan)
İngiltere	Düzenleme yok (değerli bir ikincil kaynak olarak ticareti yapılan)
Hedefteki Araçlar	
AB	M1, N1
Japonya	İki tekerlekli araçlar hariç tüm araçlar (otobüsler, kamyonlar vb. dâhil)
Kore	M1, N1
Çin	M1, M2, M3, N1, N2, N3
İngiltere	Düzenleme yok
Geri Dönüşüm Hedefi	
AB	2006 yılına kadar: <ul style="list-style-type: none"> • Yeniden kullanma + Kurtarma: %85 • Yeniden kullanma+ Geri Dönüşüm: %80 2015 yılına kadar: <ul style="list-style-type: none"> • Yeniden kullanma + Kurtarma: %95 • Yeniden kullanma + Geri dönüşüm: %85 (DIRECTIVE 2000/53/EC)
Japonya	2005-2009 yılları arasında %30 2010-2014 yılları arasında %50 2015 yılından itibaren <ul style="list-style-type: none"> • Hava Yastığı: %85 • ASR: %70% (Act on Recycling, etc. of End-of-Life Vehicles, 2002)
Kore	2014 yılına kadar Malzeme + Enerji geri kazanımı %85 (enerji geri kazanım oranı%5 dâhilinde) 'dir. 2015 yılından sonra Malzeme+ Enerji geri kazanımı%95'e (enerji geri kazanım oranı% 10 dâhilinde) çıkarılmıştır (Sakai vd., 2014).

Çin	<p>Geri dönüşüm imkanı: 2010: yaklaşık%85 (%80 veya daha fazla maddenin geri dönüşümü) 2012: yaklaşık%90 (%80 veya daha fazla maddenin geri dönüşümü) 2017: yaklaşık%95 (%85 veya daha fazla maddenin geri dönüşümü)</p>
İngiltere	<p>Belirli bir hedef yoktur. (ÖTA'ların %95'i geri dönüşüm rotasına girmekte ve bu metallerin %80'i geri dönüştürülebilir niteliktedir) (Kumar ve Sutherland, 2009)</p>
Bilgi Yönetimi	
AB	<p>Tahribat Belgesi'nin (CoD) verilmesi, hedef değerlerin hükümet tarafından izlenmesi</p>
Japonya	<p>Elektronik beyan sistemi</p>
Kore	<p>Kayıttan kaldırma ve geri dönüşüm hakkında yoğunlaştırılmış bilgi toplama</p>
Çin	<p>ÖTA toplama belgesinin verilmesi</p>
İngiltere	<p>Geri dönüşüm sanayi grupları ile bilgi toplama yönetimi</p>
Sistemin Karakteristiği	
AB	<p>Yerine getirme ve Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu ilkesine dayanmaktadır. Ağır metallerin (cıva, kadmiyum, krom, kurşun) dâhil edilmesini yasaklayan yönetmelik dikkate alınmaktadır. Dâhili kanunlar uygulanmakta ancak çalışma tarzı ülkeye göre değişiklik göstermektedir. (Smink, 2007)</p>
Japonya	<p>Otomobil üreticileri ve ithalatçıları geri dönüşüm sorumluluğunu almaktadır. Toplam otomobil ağırlığı ile ilgili geri dönüşüm oranı / geri kazanım oranı hedefi yoktur. Isıl geri kazanım ASR geri dönüşümünde kabul edilmektedir.</p>
Kore	<p>Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) temelinde ÖTA fiyatındaki dalgalanmalara göre ayarlanmış sistem planlaması yapılmaktadır. Eko-güvence sistemi uyarınca işletilmektedir.</p>
Çin	<p>Yaşam Sonu Araç Geri Dönüşüm Yönetmeliği'nde yasadışı yeniden yapılanma ve yaşlanan otomobillerin kullanılmasından kaynaklanan kazaları önlemek amacıyla ÖTA yönetimi yapılmaktadır. 5 bileşenin (motor, direksiyon, şanzıman, aks ve çerçeve) geri dönüşümü yukarıda bahsedilen yasayla yasaklanmıştır. Ancak yasak sonrasında Otomotiv Parçalarının Yeniden İmalatı Yönetmeliği esas alınarak tekrar yürürlükten kaldırılmıştır (Xiang ve Ming, 2011).</p>
İngiltere	<p>ÖTA'yı doğrudan ulusal düzeyde yöneten herhangi bir düzenleyici sistem bulunmamaktadır (Jody ve Daniels, 2006). Araba Hırsızlığı Önleme Yasası uyarınca (1992), geri dönüştürücüler tarafından toplanan araçlarla ilgili bilgiler, Ulusal Motorlu Taşıtlı Vergisi Bilgi Sistemi tarafından yönetilmektedir. ÖTA geri dönüşüm endüstrisinin Otomotiv Geri Dönüşüm Derneği, daha sıkı uyum sağlamak için ilgili düzenlemelerin yer</p>

aldığı bir web sitesini işletmektedir.

TÜİK verilerine göre Türkiye’de 2016 yılında kayıtlı motorlu kara taşıtları sayısının en yoğun olduğu il sıralamasında 3 milyon 845 bin 349 araç ile İstanbul başı çeken iller arasında 1.’inci olarak yer almaktadır. Ayrıca İstanbul’u takip ederek ilk 5’e giren iller sırasıyla Ankara (1.777.756), İzmir (1.276.347), Antalya (972.796) ve Bursa (788.377) ’dır. Bahsedilen beş büyük ildeki trafiğe kayıtlı toplam araç sayısı, Türkiye genelinde trafiğe kayıtlı araç sayısının %41’ini oluşturmaktadır (TUİK, 2017).



Şekil 1.1. İllere göre motorlu kara taşıtları sayısı, 2016

Şekil 1.1, Türkiye’de en fazla motorlu kara taşıtı barındıran şehrin açık ara İstanbul olduğunu göstermektedir.

Ayrıca İstanbul, trafiğe kayıtlı 3 milyon 845 bin 349 araç sayısı ile Türkiye 2015-2016 nüfus istatistiklerine göre (İstanbul, Ankara ve İzmir hariç) 78 ilin nüfusunu geride bırakarak da dikkatleri üzerine çekmektedir. İstanbul ayrıca trafiğe kayıtlı araç sayısı kadar, ekonomik ömrünü tamamlayarak trafikten silinen araç sayısı ile de diğer illere göre açık ara öndedir.

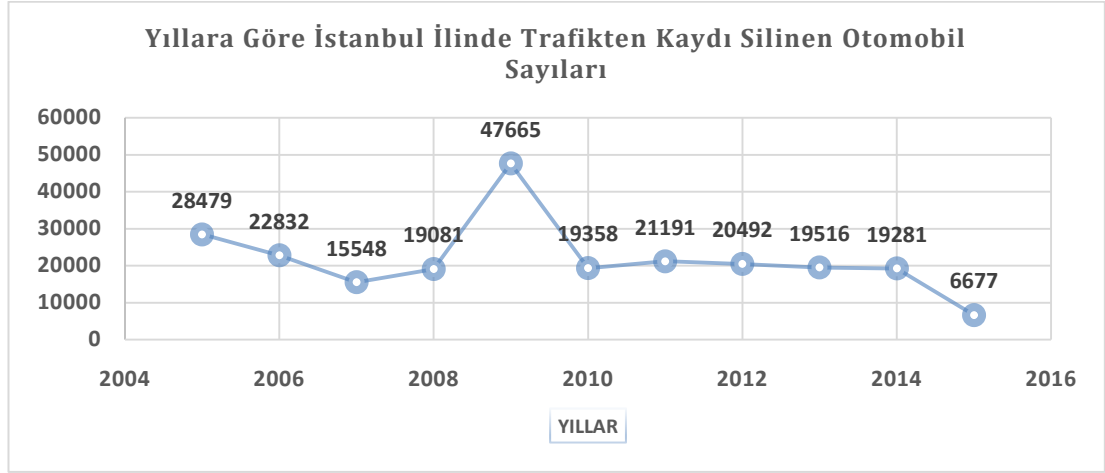
Çizelge 1.3’de 2005-2015 yılları arasında İstanbul’da kaydı yapılan ve silinen motorlu kara taşıtlarının sayısına ve cinsine yer verilmiştir.

Çizelge 1.3. İstanbul'da yıllara göre kaydı yapılan ve silinen motorlu kara taşıt sayısı

Yıllar	İstanbul ilinde yıllara göre kaydı yapılan motorlu kara taşıt sayısı								
	Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel A.	Traktör
2005	325836	184177	15795	7186	77020	11633	24099	710	5216
2006	330521	182367	9282	6827	74007	14031	37376	703	5928
2007	308757	178879	7486	7090	70748	13256	22846	819	7633
2008	298759	175115	6706	6508	67144	10567	27795	360	4564
2009	252215	164981	3652	3444	53917	4356	19218	720	1927
2010	313332	216813	2741	4907	64250	6134	15430	1410	1647
2011	368018	253374	3451	8058	69502	11085	20483	160	1905
2012	340185	241617	3762	8605	53890	9119	21215	201	1776
2013	373759	282691	5967	7189	43499	8592	23038	1549	1234
2014	365092	279499	8953	2369	40021	8927	23565	473	1285
2015	451671	348243	10802	2658	50844	12185	24797	694	1448
Yıllar	İstanbul ilinde yıllara göre kaydı silinen motorlu kara taşıt sayısı								
	Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel A.	Traktör
2005	60986	28479	7834	2879	9793	6028	2119	741	3113
2006	42164	22832	2301	2427	5390	4377	2043	467	2327
2007	31485	15548	1610	2199	4104	4073	2276	168	1507
2008	43306	19081	1986	2806	4096	5910	2777	5012	1638
2009	91652	47665	5251	4837	10505	11484	3197	1980	6733
2010	92256	19358	3829	2835	16354	19489	29013	529	849
2011	93616	21191	4442	3686	13561	15501	31725	2717	793
2012	58025	20492	3175	2867	6833	7912	12270	2116	2360
2013	77345	19516	2807	3072	8863	9216	32504	170	1197
2014	62753	19281	3831	1831	12210	10581	14430	174	415
2015	33303	6677	3251	753	11265	5809	4294	95	1159

Çizelge 1.3 detaylı bir şekilde incelendiğinde 2009-2011 yılları arasında trafikten kaydı silinen araç sayılarının yürürlüğe giren “Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik” ile birlikte ciddi bir artış gösterdiği gözlenmiştir. 2011 yılından sonra ise bu artışın yerini dalgalanmalar almıştır. Ayrıca yukarıdaki veriler incelendiğinde trafikten kaydı silinen motorlu kara taşıtı bakımından en büyük payın otomobillere ait olduğu görülmektedir. Şekil

1.2 İstanbul ilindeki trafikten saydı silinen otomobillerin yıllara göre değişimini açıkça göstermektedir.



Şekil 1.2. Yıllara göre İstanbul ilinde kaydı silinen otomobil sayıları

KPMG Türkiye'nin 2015 yılında yayınladığı "Türkiye Otomotiv Sektöründe Yeni Stratejik Yatırım Hedefleri" raporunda, sektördeki en önemli beklentilerinden birinin ekonomik ömrünü tamamlamış araçlar ile ilgili olarak sürekli bir uygulamanın başlatılması yönünde olduğuna yer verilmektedir (KPMG Türkiye, 2015).

Türkiye'de 2016 verilerine göre 20 yaş üstünde 4 milyon 698 bin 633 adet motorlu kara taşıtı bulunmaktadır. 20 yaş ve üstü eski teknoloji araçların CO₂ (karbon dioksit) salımı 220 gr/km iken yeni nesil araçlarda ortalama oran 130 gr/km'dir. Avrupa'da yapılan hesaplamalara göre yaşlı bir aracın yarattığı hava kirliliğini temizlemek için araç başına harcanan rakam 8 bin 494 avrodur. Şu anda bu rakamın dörtte biri dönüşüm için harcansa eski teknolojiye sahip birçok araç trafikten çekilebilecektir. Yeni araçlardaki yeni teknolojiler ile araç güvenliğinin artması ve çevresel etkiler dışında ekonomik ömrünü tamamlamış araçlar ile ilgili sürekli bir uygulama, pazarın canlanmasına da imkân tanıyacaktır (KPMG Türkiye, 2015).

Bu çalışma çevre ve insan sağlığının korunması için araçlardan kaynaklanan ve aynı zamanda ekonomik açıdan fayda sağlayacak atıkların değerlendirilmesi ve kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesi amacıyla 30 Aralık 2009 tarihinde Resmî

Gazete’de yayınlanan ve Ocak 2011’de uygulanmaya başlanan “Ömrünü Tamamlamış Araçların (ÖTA) Kontrolü hakkındaki Yönetmelik” dikkate alınarak hurda araçların geri dönüştürülmesini sağlayan sistemin toplam kârını maksimum yapmayı hedefleyen bir tersine lojistik ağının dizayn edilmesini amaçlamaktadır.

Çalışma, Çizelge 1.3’deki verilere göre trafikten kaydı silinen araç sayısı bakımından önemli bir yere sahip olan İstanbul ilindeki ömrünü tamamlamış araçlar için uygulanmıştır. Türkiye ekonomisi için kritik öneme sahip olan İstanbul ili Türkiye nüfusunun %18,6’sının ikamet etmesi bakımından da çalışmanın uygulanabilirliği açısından ayrı bir öneme sahiptir.

Ekonomik ömrünü tamamlamış hurda araçların en uygun yöntemlerle geri kazanılması ve çevreye ciddi zararlar veren atıkların/sıvıların kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesi amacıyla hazırlanan bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın giriş bölümünden sonra gelen ikinci bölümünde, ömrünü tamamlamış araçlar ile ilgili 2003 yılından itibaren yapılmış çalışmalar özdüzenleyici haritalar yöntemi kullanılarak kümelenecek ve literatürdeki boşluklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan literatür taraması ve kümeleme işlemi sonucu bulanık yöntemlerle yapılan çalışmaların yok denecek kadar az olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle çalışmada bulanık yöntemlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Üçüncü bölümde ise uygulamada kullanılacak yöntem olan bulanık doğrusal programlama yöntemi detaylı bir şekilde anlatılmaya çalışılmıştır. Bu bölümde bulanık doğrusal programlama yöntemi ve bu yöntemin temelini oluşturan bulanık küme teorisi bulanık doğrusal programlama modellerinin çeşitlerine ve çözüm yöntemlerine yer verilmiştir. Dördüncü bölümde ise ilk olarak araştırmanın amacından ve öneminden bahsedilmiştir. Devamında problem tanıtılarak, çalışmada kullanılacak verilere ve model parametrelerine yer verilmiştir. Ayrıca bu bölümde ömrünü tamamlamış araçların tersine lojistik ağ tasarımı için kurulan deterministik ve bulanık modeller (amaçları ve kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modeli, kısıtları bulanık doğrusal programlama modeli) uygun yöntemler kullanılarak çözümlenmiş ve sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın

beşinci ve son bölümünde ise problemin çözümünden elde edilen sonuçlar için genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Son yıllarda hem akademik alanda hem de endüstride büyük ilgi gören ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) geri dönüşümü bilim adamlarının üzerine yoğunlaştığı önemli konulardan biri haline gelmiştir. Çalışmamızın bu kısmında ÖTA'ların tersine lojistik ağ tasarımları ile ilgili yapılmış geçmiş çalışmalara yer verilmiş ve çalışmalar; amaçları, karar değişkenleri, kısıtları, kullanılan optimizasyon metodu ve sonuçları açısından analiz edilerek değerlendirilmiştir. Değerlendirilmeye alınan çalışmalar, yapay sinir ağlarının özel bir çeşidi olan özdüzenleyici haritalar (Self Organizing Maps-SOM) yöntemi kullanılarak kümelenmiş ve özelliklerin sıklıkları çalışma içerisinde gösterilmiştir. Yazın incelemesi ve çalışmaların kümelenmesini içeren bu bölüm, ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm ağlarının tasarlanması ile ilgili çalışma yapacak araştırmacılar için yol gösterici niteliktedir.

2.1 İnceleme Yöntemi

2.1.1 Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi, bir araştırmada incelenen birimleri aralarındaki benzerliklerine göre belirli gruplar içinde toplayarak sınıflandırma yapmayı, birimlerin ortak özelliklerini ortaya koymayı ve bu sınıflar ile ilgili genel tanımlamalar yapmayı sağlayan bir yöntemdir (Kaufman ve Rousseeuw, 1990). Kullanıcının amacına ve kullanım alanına göre farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları; k ortalamalar yöntemi (MacQueen, 1967), fuzzy c ortalamalar yöntemi (Höppner, 2002) ve özdüzenleyici haritalardır (Kohonen, 1982).

2.1.2 Özdüzenleyici Haritalar (SOM)

Özdüzenleyici haritalar, yapay sinir ağlarının özel bir çeşidi olan veri kümeleme ve görüntüleme tekniğidir. Teuvo Kohonen tarafından 1982 yılında geliştirilen teknik, Kohonen ağları olarak da adlandırılmaktadır (Kohonen, 1982).

Başlangıçta grupların bilinmediği durumlarda, verilerin kümelendirilmesini amaçlayan kohonen ağları, kestirim yapılacak bir çıktı (bağlı) değişken bulunmadığından, denetimsiz (gözetimsiz) öğrenim gerçekleştiren bir algoritmadır (Oğuzlar, 2005).

Kohonen ağları, bir girdi ve iki boyutlu bir Kohonen tabakasından oluşmaktadır (Kiang, 2001). Girdi katmanındaki düğümler, değişkenleri (veya özellikleri), Kohonen katmanı olarak da bilinen çıktı katmanındaki düğümler ise kümeleri ifade etmektedir. Çıktı katmanının yapısı genellikle iki boyutludur. Satırlar ve sütunlardan oluşan yapısı bir ızgara şeklindedir (Reutterer, 1998).

Kohonen ağlarında diğer yapay sinir ağlarından farklı olarak, çıkış katmanındaki nöronların dizilimi çok önemlidir. Bu dizilim doğrusal, dikdörtgensel, altıgen veya küp şeklinde olabilir. En çok dikdörtgensel ve altıgen şeklindeki dizilimler tercih edilmektedir.

SOM ile kümeleme analizinde m tane değişken, n tane düğüm (küme) olduğu varsayılırsa her bir girdinin her bir düğüme olan uzaklığına bakılmaktadır. Kümelerin oluşturulması için öncelikle her düğümün değişkenler için oluşturulan ağırlık vektörü (w) ile girdi vektörü (x) arasındaki uzaklık, Öklit uzaklığından yararlanılarak Denklem 2.1'de gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir (Budayan, 2008; Haykin, 2009). Denklem (2.1) 'de i girdileri, j ise dikkate alınan değişkeni temsil eden indislerdir.

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_j - w_{ij})^2} \quad (2.1)$$

SOM kümeleme sürecinin adımları Çizelge 2.1'de yer almaktadır:

Çizelge 2.1. SOM kümeleme sürecinin adımları

Adım 1:	İlk adımda ağırlık vektörüne 0 ile 1 arasında rasgele başlangıç değerleri verilir
Adım 2:	Her girdi ile ağırlık vektörü arasındaki uzaklık Denklem 1 yardımı ile hesaplanır.
Adım 3:	Hesaplanan uzaklıklar arasındaki en küçük uzaklığa sahip olan girdi (nöron) seçilir. Seçilen girdi kazanan nod (winner node) olarak adlandırılır
Adım 4:	Kazanan nod ve öğrenme parametresi (α) yardımıyla ağırlıklar aşağıdaki formül kullanılarak güncellenir. Öğrenme parametresi α 'nın 0 ile 1 arasında, genellikle 0'a daha yakın, bir değer aldığı varsayılmaktadır (Alpaydın, 1998). $w_j(\text{new}) = w_j(\text{current}) + \alpha[x - w_j(\text{current})]$
Adım 5:	Durma kriteri sağlanıncaya kadar Adım 3 ve Adım 4 tekrarlanır.

Özdüzenleyici haritaların eğitim sürecinde, nöronlar birbirleriyle rekabet halindedir. Rekabet süreci sonunda kazanan nöron ve çevresindeki nöronlar ağırlıklarını, sunulan gözleme göre yenilemektedirler (Kohonen, 2001). Eğitim süreci sonunda çıktı katmanında, benzer örüntüler aynı nöronlarda veya ufak farklılığı bulunanlar komşu nöronlarda temsil edilecektir (Folguera vd., 2015).

Kategorik değerler alan değişken ve özelliklerde SOM uygulaması için veri kümesinin uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Kategorik özellik, içinde barındırdığı farklı değerler kadar yeni özelliklere dönüştürülür ve yeni özellikler 0-1 ikili değerler alır (Hsu, 2006).

Özdüzenleyici haritalar çok boyutlu bir veri setini iki boyuta indirgeyebilmektedir. Bu durum veri setinin tamamının karar vericiler tarafından kolayca değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır (Özçalıcı, 2016).



Kümeleme algoritmalarından kümeleme sonuçları elde edildikten sonra, verinin gerçek yapısını temsil edip etmediğini doğrulamak, sonuçların güvenilirliği açısından çok önemlidir. Kümeleme algoritmasından elde edilen küme bölünmelerinin uygunluğunu değerlendirmek için farklı küme geçerlilik indeksleri kullanılmaktadır. Dunn indeksi de (DI) bunlardan sadece birtanesidir (Azar vd., 2013).

Optimal kümelemeyi bulmak amacıyla kullanılan Dunn İndeksi Denklem (2.2)'de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$DI = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \min_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{d(c_i, c_j)}{\max_{1 \leq k \leq n} \{d'(c_k)\}} \right\} \right\} \quad i \neq j \quad (2.2)$$

Denklem (2.2) 'de yer alan $d(c_i, c_j)$, i ve j kümeleri arasındaki uzaklığı, $\max d'(c_k)$ ise k kümesi içerisinde yer alan elemanlar arasındaki en büyük uzaklığı ifade etmektedir. Dunn indeksinin ana amacı kümeler arası uzaklığı en küçüklemek, küme içi uzaklıkları ise en büyüklemektir. En büyük dunn indeksine sahip olan kümeleme en iyi kümelemeyi verecektir.

Özdüzenleyici haritalar son yıllarda kaynakça topolojisi çıkarmak amacıyla yapılan çalışmalarda sıkça tercih edilen yöntemlerdendir (Ercan ve Kayakutlu, 2015).

2.1.3 SOM Yöntemi İle Kümeleme

Bu çalışmada kümeleme için dikkate alınan değişkenler "Ağ yapısı", "Model", "Amaç Fonksiyonu", "Belirsizlikleri giderecek yöntemler" ve "Çözüm yöntemi" dir. Bu değişkenlerin alacağı değerler de Çizelge 2.2'deki gibi tanımlanmıştır:

Çizelge 2.2. Değişkenlerin alacağı değerler

Ağ Yapısı	Açık Döngü Tedarik Zinciri (ADTZ) Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ)
Model	Doğrusal Programlama (DP), Doğrusal Olmayan Programlama (DOP), Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (KTDP), Karma Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama (KTDOP)
Amaç Fonksiyonu	Tek Amaçlı Çok Amaçlı
Belirsizlikleri Giderecek	Duyarlılık Analizi (DA) Senaryo Analizi (SA)

Yöntemler	Stokastik Optimizasyon Bulanık
Çözüm Metodu	Kesin Yöntemler Sezgisel Yöntemler Yarı Sezgisel Yöntemler

Çalışmada kullanılan değişkenler kategorik değerler aldığı için her bir değişkenin değeri 0-1 ikili değişkenlerinden biri ile tanımlanmıştır. Örneğin, ADTZ “0” değerini alıyorsa “problemin ağ yapısı açık döngü tedarik zinciri olarak tasarlanmamıştır” anlamına gelecektir. Bu durumda ağ yapısı için iki, model için dört, amaç fonksiyonu için iki, belirsizlikleri giderecek yöntemler için dört, kullanılan çözüm yöntemleri için ise 3 olmak üzere toplamda onbeş tane 0-1 değerleri alabilen değişkenle çalışılmıştır.

İncelenen çalışmalardan yola çıkarak değişkenlerin gösterimine çizelge yardımıyla bir örnek verelim. Harraz ve Galal (2011), Mısır'daki ömrünü tamamlamış araçlar için çok amaçlı bir sürdürülebilir geri dönüşüm ağı tasarlamaya çalışmışlardır. Açık döngü olarak tasarlanılan ağ karma tamsayılı doğrusal programlamaya (KTDP) göre modellenmiş ve çalışmada belirsizlikler dikkate alınmamıştır. Belirsizliklerin dikkate alınmadığı bu çalışma deterministik olduğu için çözümde kesin (exact) yöntemler kullanılmıştır.

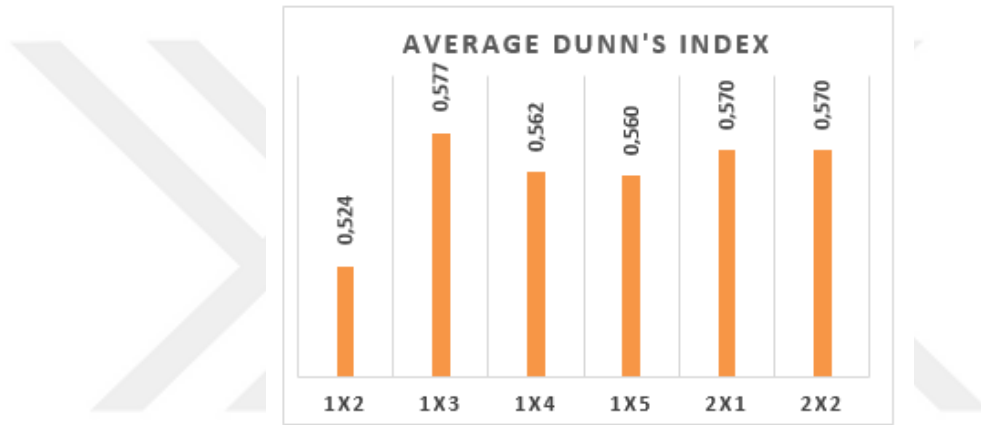
Harraz ve Galal'ın çalışmasında kullanılan değişkenler, verilen bilgiler doğrultusunda Çizelge 2.3'de gösterilen değerleri alacaktır.

Çizelge 2.3. Değişkenlerin gösterim şekli

Ağ Yapısı		Model				Amaç Fonksiyonu		Belirsizlikleri Giderecek Yöntemler				Çözüm Yöntemi		
ADTZ	KDTZ	DP	DOP	KTDP	KTDP	Tek	Çok	Duyarlılık Analizi	Senaryo Analizi	Stokastik	Bulanık	Kesin	Sezgisel	Yarı Sezgisel
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0

Çalışmanın kümelenmesinde yapay sinir ağları tabanlı SOM yöntemi kullanılmıştır. Özdüzenleyici haritalarda, harita boyutuna deneme yanılma yoluyla karar verilmiştir. 30 bağımsız deneme sonucunda 1x3 boyutlarındaki haritanın en okunaklı harita olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmadaki analizi gerçekleştirmek ve şekilleri çizmek için MATLAB yazılımı kullanılmıştır.

Çalışmada ömrünü tamamlamış araçların tersine lojistik ağ tasarımı ile ilgili 2005 yılından itibaren yayınlanan 23 makaleden yararlanılmıştır. İlgili makalelerin kümeleme analizinde küme sayısının 2,3 civarında ($23 \cdot 10\%$) olması, diğer bir yaklaşıma göre ise 4,8 civarında (veri sayısının karakökü kadar) olması beklenmektedir (Ercan ve Kayakutlu, 2015). Bu amaçla, küme sayıları 2-5 arasında olacak şekilde tüm iki boyutlu topolojiler denenmiş, içerisinde boş küme bulundurmayan 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 2x1 ve 2x2 topolojileri dikkate alınmıştır. Dikkate alınan topolojiler için ise kümelemenin geçerliliği hakkında yorumda bulunabilmek için Dunn indeksi hesaplanmıştır.



Şekil 2.1. Topolojilerin ortalama Dunn İndex değerleri

Ele alınan çalışmalar SOM ile kümelenirken, ağırlıklar Çizelge 2.1'de belirtildiği gibi rastgele başlatılmıştır. Topoloji seçimi süreci üzerindeki tesadüfi etkileri ortadan kaldırmak için, 30 bağımsız deney yapılmış ve 30 denemedeki her bir aday topolojisi için ortalama Dunn indeksleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 2.1'de belirtilen Dunn indeks sonuçlarına göre 1x3 topolojisinin daha yüksek indeks değerine sahip olması sebebiyle daha iyi bir kümeleme oluşturduğuna karar verilmiştir.

Yapılan literatür taraması sonucu, ömrünü tamamlamış araçların "Tersine lojistik ağ tasarımı" problemlerine ilişkin ele alınan 23 çalışmaya ait detaylı bilgiler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

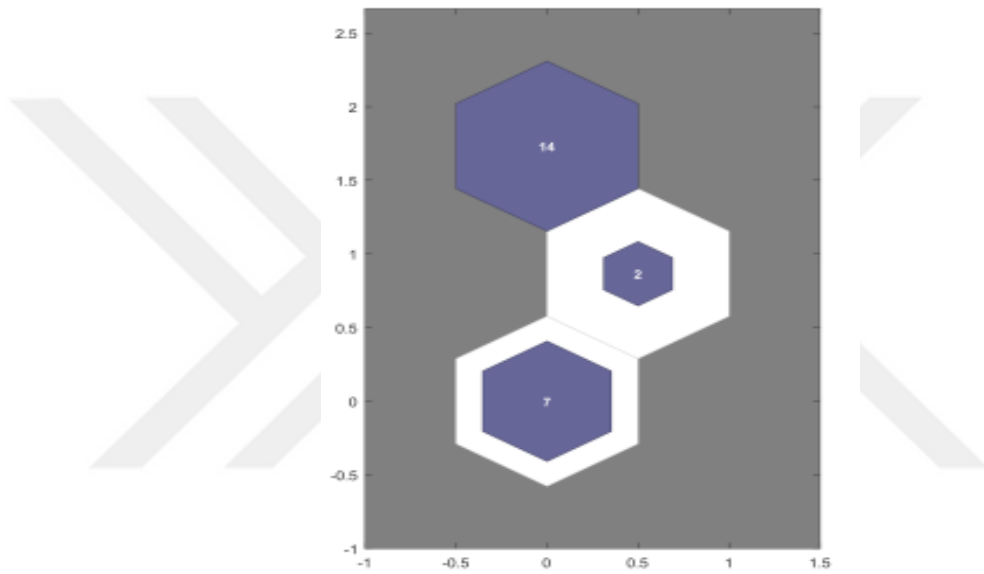
Çizelge 2.4. ÖTA'ların tersine lojistik ağı tasarımı üzerine literatür taraması özeti

MODELLEME TEKNİĞİ															
Referanslar	Ağ Yapısı		Model				Amaç F.		Belirsizliği gidermek için yöntemler				Çözüm Yöntemi		
	ADTZ	KDTZ	DP	DOP	KTDP	KTDP	Tek	Çok	D.A	S.A	Stokastik	Bulanık	Kesin	Sezgisel	Yarı Sezgisel
Choi vd.	√				√		√		√	√			√		
Schulmann vd.		√				√	√			√				√	
Mansour ve Zarei	√				√		√			√				√	
Xiaolong vd.		√			√		√			√			√		
Cruz-Rivera ve Ertel		√			√		√			√			√		
Mahmoudzadeh vd.	√				√		√		√				√		
Mansour vd.	√				√		√			√					√
Harraz ve Galal Mahmoudzadeh vd.	√				√		√	√					√		
A. Merksiz-Guranowska	√				√		√							√	
A. Merksiz-Guranowska	√				√		√							√	
Niziploğlu	√				√		√			√			√		
Simic ve Dimitrijević	√		√				√		√	√			√		
Gołębiewski vd.		√				√	√		√						√
Simic ve Dimitrijević	√				√			√	√	√			√		
Ene ve Öztürk	√				√		√								√
Simic ve Dimitrijević	√		√				√			√			√		
Ene ve Öztürk	√				√		√		√	√			√		
Simic	√		√				√			√		√	√		√
Demirel vd.	√				√		√			√			√		
Phuc vd.	√				√		√				√		√		
Srinivasan ve Khan		√			√		√	√	√	√			√		
Özceylan vd.		√	√				√			√			√		

2.1.4 Kümeleme Sonuçları

SOM yöntemi kullanılarak yapılan kümeleme analizi sonrasında 1x3 topolojisinde yer alan kümelemenin, incelenen topolojiler arasından en iyi kümeleme olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 2.2'de en iyi kümelemeyi veren topoloji ve her küme içerisinde yer alan çalışma sayısına yer verilmiştir.



Şekil 2.2. 1x3 topoloji yapısı ve kümelerin eleman sayıları

Her küme içerisine düşen bilimsel çalışmanın yazarları, çalışmaların yapıldığı yıllarla birlikte Çizelge 2.5'te verilmektedir.

Çizelge 2.5. 1x3 topolojisindeki kümelerin elemanları

Küme 1	
Yazar	Yıl
Schultmann vd.	2006
Mansour & Zarei	2008
Mansour vd.	2010
Merkisz-Guranowska	2011
Merkisz-Guranowska	2011
Gołębiewski vd.	2013
Ene & Öztürk	2014

Küme 2	
Yazar	Yıl
Srinivasan & Khan	2016
Özceylan vd.	2017

Küme 3	
Yazar	Yıl
Choi vd.	2005
Xiaolong vd.	2009
Cruz-Rivera & Ertel	2009
Mahmoudzadeh vd.	2009
Harraz & Galal	2011
Mahmoudzadeh vd.	2011
Niziplioğlu	2012
Simic & Dimitrijević	2012
Simic & Dimitrijević	2013
Simic & Dimitrijević	2015
Ene & Öztürk	2015
Simic (Waste management)	2015
Demirel vd.	2016
Phuc vd.	2016

Çizelge 2.6, en iyi kümeleyi veren topolojiye göre her bir kümenin, değişkenler temelinde ortalama değerlerini göstermektedir. Bu değerler incelenerek her kümenin gösterdiği özellikler için çıkarımlarda bulunmak mümkündür.

Çizelge 2.6. 1x3 topolojisine göre her küme için değişkenlerin ortalama değeri

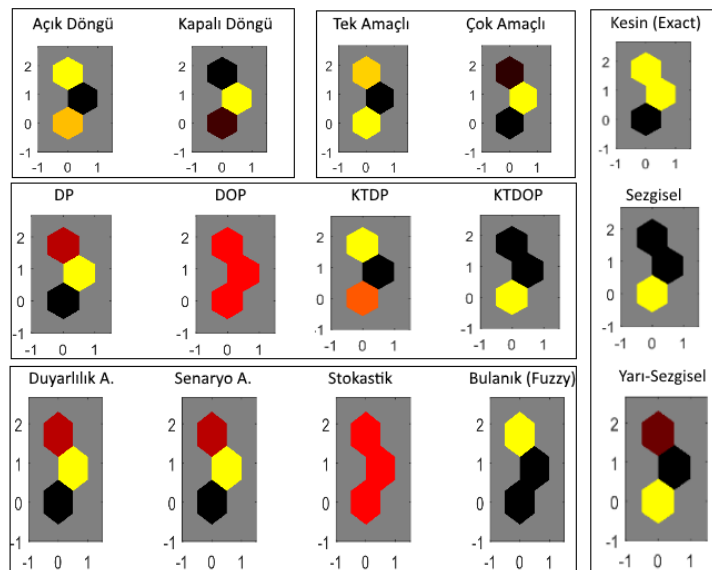
NODE	Ağ Yapısı		Model				Amaç Fonksiyonu		Belirsizlikleri Giderecek Yöntemler				Çözüm Yöntemi		
	ADTZ	KDTZ	DP	DOP	KTDP	KTDP	Tek	Çok	Duyarlılık Analizi	Senaryo Analizi	Stokastik	Bulanık	Kesin	Sezgisel	Yarı Sezgisel
NODE (1,1)	0,7	0,3	0	0	0,7	0,3	1	0	0,1	0,4	0	0	0	0,6	0,4
NODE (1,2)	0	1	0,5	0	0,5	0	0	1	0,5	1	0	0	1	0	0
NODE (1,3)	0,8	0,1	0,2	0	0,8	0	0,8	0,1	0,4	0,6	0	0,1	1	0	0,1

Küme 1'de yer alan çalışmaların büyük bir çoğunluğu açık döngüsel tedarik zinciri olarak tasarlanmış olup, karma tamsayı doğrusal programlamaya göre modellenmiştir. Az sayıda çalışmada ise ağ yapısı olarak kapalı döngüsel tedarik zinciri, model olarak ise karma tam sayılı doğrusal olmayan programlamadan yararlanılmıştır. Bu kümedeki çalışmaları diğer kümelerden ayıran en önemli özellik kurulan modelin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanılmasıdır. Tamamı tek amaçlı olarak kurulan modellerin çözümünde sezgisel yöntemler ile

yarı-sezgisel yöntemler yarı yarıya ve birbirine yakın oranlarda kullanılmış, kesin yöntemler ise hiç kullanılmamıştır. Modeldeki belirsizliklerin giderilmesi için çalışmaların neredeyse yarısında senaryo analizlerine yer verilmiştir. Senaryo analizlerinin yanı sıra az sayıda çalışmada ise duyarlılık analizinden yararlanılmıştır.

Küme 2'de yer alan çalışmaları diğer kümelerden ayıran en önemli özellik ise çalışmaların tamamının kapalı döngüsel tedarik zinciri olarak tasarlanması ve çok amaçlı olmasıdır. Doğrusal programlama ve karma tamsayı doğrusal programlama olarak modellenen çalışmalar kesin yöntemler aracılığı ile çözümlenmiştir. Çalışmalarda ayrıca belirsizliklerin giderilebilmesi için senaryo ve duyarlılık analizlerine yer verilmiştir.

Küme 3'de yer alan çalışmaların büyük bir çoğunluğu açık döngüsel tedarik zinciri olarak tasarlanmış olup, karma tamsayı doğrusal programlamaya göre modellenmiştir. Az sayıda çalışmada ise ağ yapısı olarak kapalı döngüsel tedarik zinciri, model olarak ise doğrusal programlamadan yararlanılmıştır. Bu kümedeki çalışmaları diğer kümelerden ayıran en önemli özellik belirsizliklerin giderilmesinde senaryo ve duyarlılık analizlerinden farklı olarak bulanık yöntemlere de başvurulmasıdır. Küme de yer alan çalışmaların tamamına yakını tek amaçlıdır ve kesin yöntemler aracılığı ile çözümlenmiştir.



Şekil 2.3. 1x3 topolojisine göre elde edilen kümeler için girdilerin ağırlıkları

Şekil 2.3, girdi vektörünün her bir elemanı için bir ağırlık düzlemi göstermektedir. Bunlar en olumsuz bağlantıları mavi, sıfır bağlantıları siyah, en güçlü pozitif bağlantıları ise kırmızı olarak gösterilen nöranların her birini birbirine bağlayan ağırlıkların görselleştirilmesidir. İki girdinin bağlantı düzenleri birbirine çok benzerse, girdilerin birbiriyle yüksek oranda ilişkili olduğunu varsayabilirsiniz. Kısacası Şekil 2.3, her girdi ve her küme arasındaki ilişkilerin doğasını ifade etmenin başka bir yoludur.

2.2 İncelenen Çalışmaların Kümelemelere Göre Değerlendirilmesi

Küme 1'de sezgisel ve yarı-sezgisel yöntemler ile çözümlenmiş tersine lojistik ağ tasarımı modellerinin yer alması, bu kümeyi diğer kümelerden ayıran en önemli özelliktir. Bu kümedeki çalışmaların büyük bir kısmı açık döngü tedarik zinciri olarak tasarlanırken, küçük bir kısmı ise kapalı döngü tedarik zinciri olarak tasarlanmıştır.

Açık döngü tedarik zinciri olarak tasarlanılan ağların tamamı kurulum ve taşıma maliyetlerini enküçükleme amacıyla karma tamsayılı doğrusal programlamaya göre modellenmiştir. Küme içerisinde; modellerin karmaşıklığı ve değişken sayısı gibi nedenlerden dolayı öncelik tabanlı genetik algoritma (Ene ve Öztürk, 2014), genetik algoritma (Mansour vd., 2010), evrimsel algoritma (Merkisz-Guranowska, 2011) ve çoklu başlatma algoritması (Mansour ve Zarei, 2008) yöntemleri ile çözümlenen çalışmalar mevcuttur.

Küme içerisinde kapalı döngü tedarik zinciri olarak tasarlanan ağlar ise karma tamsayılı doğrusal olmayan programlamaya göre modellenmiştir. Maliyet minimizasyonunu amaçlayan çalışmalarda tersine lojistik ağları için araç rotalama (Schultmann vd., 2006) ve ağ içerisinde yer alan elemanların yerlerini belirleyecek optimal modelin geliştirilmeye çalışıldığı ve modelin yüksek karmaşıklığı nedeniyle çözümünde genetik algoritmanın (Gołębiewski vd., 2013) kullanıldığı çalışmalar yer almaktadır.

Küme 2'de yer alan çalışmalar kapalı döngüsel tedarik zinciri olarak tasarlanmış olup, tamamı çok amaçlıdır. Srinivasan ve Khan (2016), çalışmalarında çok dönemli, çok ürünlü ve çok amaçlı kapalı döngü yeşil tedarik zinciri (CLGSC) ağı üzerinde durmuşlardır. Karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) ile modellenen ağ hedef programlama yaklaşımı kullanılarak optimize edilmiştir. Çalışmanın amaçları, tedarik zincirindeki toplam maliyeti ve toplam emisyonu en aza indirmektir. Özceylan vd. (2017) ise yaptıkları çalışmalarında doğrusal programlama olarak modelledikleri ağın toplam maliyetini ve ağ bileşenleri arasındaki malzeme tahsis işini optimize etmeye çalışmışlardır.

Küme 3'de yer alan çalışmaları diğer çalışmalardan ayıran en önemli özellik ise belirsizliklerin giderilmesinde bulanık (fuzzy) yöntemlerinin (Phuc vd., 2016; Simic ve Dimitrijević, 2015) kullanılmasıdır. Phuc vd. (2016) çalışmalarında ÖTA için tersine lojistik ağ tasarımını tüm ağın toplam maliyetini (kurulum, taşıma ve işleme maliyetleri dâhil olmak üzere) minimum yapan bir model ile çözümlenmeye çalışmışlardır. Modelde yer alan bazı parametrelerin belirsiz olması nedeniyle çalışmalarında bulanık doğrusal programlama ile olası karışık tamsayılı doğrusal programlama yöntemini bir arada kullanmışlardır. Simic ve Dimitrijevic (2015) ise Sırp araç geri dönüşüm fabrikalarında optimal uzun vadeli planlama için belirsizlik durumlarını göz önünde bulunduran bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Senaryo analizlerine ve fuzzy yöntemlere yer verdikleri çalışmalarında modeli formüle etmek için aralık doğrusal programlama (ILP) yaklaşımını kullanılmışlardır.

Küme içerisinde kapalı döngü olarak tasarlanılan tersine lojistik (Cruz-Rivera ve Ertel 2009; Xiaolong vd., 2009) ağ tasarımı çalışmaları mevcuttur. Xiaolong vd (2009), çalışmalarında kapalı döngü tedarik zincirleri içindeki ÖTA tersine lojistik ağının konum seçimi sorununu ele almışlardır. ÖTA tersine lojistik ağı için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Cruz-Rivera ve Ertel (2009), çalışmalarında ömrünü tamamlamış araçlar için kapalı çevrimli bir tedarik zinciri ağ tasarımını ele almışlardır. Ağ tasarımı kapasitesiz tesis konumu problemi olarak modellenmiştir.

Küme içerisinde yer alan çalışmalar genel olarak tek amaçlı olup kâr maksimizasyonu (Choi vd., 2005; Simic ve Dimitrijevic, 2012; Ene ve Öztürk, 2015) veya maliyet minimizasyonunu (Mahmoudzadeh vd., 2009; Mahmoudzadeh vd., 2011; Niziplioğlu, 2012; Demirel vd., 2016) amaçlamaktadır.

Choi vd. (2005), kâr maksimizasyonunu amaçladıkları çalışmalarında, ömrünü tamamlamış araçların Indianapolis'teki Capitol City Metals'ın parçalama tesisinde görülen gerçek bir geri dönüşüm problemini ele almışlardır. Simic ve Dimitrijevic (2012), çalışmalarında Avrupa'daki ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm tesislerindeki üretim planlama problemini ele almışlardır. Problem, kâr maksimizasyonu amacı doğrultusunda doğrusal programlama modeli kullanılarak formüle edilmiştir. Ene ve Öztürk (2015), çalışmalarında ömrünü tamamlamış araçların ürün işlemlerinde geliri en üst düzeye çıkarmak ve kirliliği en aza indirmeyi amaç edinmişlerdir. Mahmoudzadeh vd. (2009), çalışmalarında ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümleri için 3.Parti Lojistik (3PL) içeren bir model önermişlerdir. Ağın toplam maliyetini minimize etmeyi hedefledikleri problem, kapasitif bir tesis konum tahsisi üzerinden modellenmiştir. Niziplioğlu (2012), çalışmasında Türkiye'deki ömrünü tamamlamış araçların geri kazanım maliyetini en küçükleyen bir model oluşturmaya çalışmıştır. Demirel vd. (2016), çalışmalarında Türkiye'nin başkenti olan Ankara'daki ÖTA'lar için tersine lojistik ağı tasarımı üzerine odaklanan ve maliyet minimizasyonu amaçladıkları bir vaka çalışmasına yer vermişlerdir.

Küme içerisinde tek amaçlı çalışmaların yanı sıra çok amaçlı tersine lojistik (Harraz ve Galal, 2011; Simic ve Dimitrijevic, 2013) çalışmaları da mevcuttur. Harraz ve Galal (2011), Mısır'daki ömrünü tamamlamış araçlar için sürdürülebilir bir geri dönüşüm ağı tasarımı sunmaya çalışmışlardır. Çok amaçlı ağ tasarımı için karma tamsayılı hedef programlama modeli önerilmiştir. Çalışmada sürdürülebilirlik, ekonomik ve sosyal üç boyuta değinilmektedir. Simic ve Dimitrijevic (2013), çalışmalarında AB araç geri dönüşüm fabrikalarında verilen eko-verimlilik kotalarını karşılamak, sistem kârını en üst

düzeye çıkarmak, karar riskini en aza indirmek, tanımlanan araştırma boşluklarını doldurmak ve optimal uzun vadeli planlama için risk açık bir aralık doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir.

Son yıllarda çevreye duyarlı işletmecilik/tüketici anlayışı, kamu yaptırımları ve yasalar ÖTA'ların geri dönüşümleri ile ilgili araştırmaların giderek önem kazanmasına neden olmuştur. Çalışmanın bu bölümünde ÖTA'ların tersine lojistik ağları ve modellenmesi ile ilgili yapılmış olan araştırmalar ele alınmıştır. 2005-2017 yılları arasında bulunan 23 bilimsel araştıma; ağ yapısı, model, amaç fonksiyonu, belirsizliği giderecek yöntemler ve kullanılan çözüm yöntemleri açısından incelenmiştir. Özdüzenleyici haritalar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen kümeleme işlemi ile şimdiye kadar ÖTA için gerçekleştirmiş tersine lojistik ağ tasarımı çalışmalarının yoğunlukları açıkça gösterilmiştir. Kümeleme çalışmasında ortaya çıkan en önemli bilgi ÖTA geri dönüşüm problemlerinin genellikle tek amaçlı olması ve maliyet minimizasyonunu hedeflemesidir. İncelenen çalışmalar arasından sadece birkaç çalışma çok amaçlı veya kâr maksimizasyonunu hedeflemektedir.

Kümelerin tanımında ağ tasarımı olarak açık döngüsel ve kapalı döngüsel tedarik zinciri; model olarak doğrusal, doğrusal olmayan, karma tamsayılı doğrusal ve karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelleri; amaç fonksiyonu olarak tek amaçlı ve çok amaçlı; belirsizlikleri giderecek yöntemler için duyarlılık analizi, senaryo, stokatik ve bulanık; çözüm yöntemi olarak ise kesin (exact), sezgisel ve yarı-sezgisel yöntemler ele alınmıştır. Kümeleme analizi sonucunda açık döngüsel tedarik zinciri ağ tasarımlarının yoğun olduğu görülmektedir. Model olarak en fazla karma tamsayılı uygulamaların kullanıldığı, doğrusal olmayan programlama ile ilgili ise herhangi bir çalışmanın yapılmadığı gözlenmiştir. Belirsizliklerin giderilmesinde en fazla duyarlılık ve senaryo analizleri kullanılırken son yıllarda bulanık yöntemlerin tercih edilmeye başlandığı görülmüştür. Ele alınan problemlerin çözümlerinde ise belirsizliklerin dikkate alınmaması ve nispeten daha basit olmaları nedeniyle kesin yöntemlerin daha çok tercih edildiği sonucuna varılmıştır.

Araştırmacıların üzerinde çalışacağı alanlar ile ilgili ele alacakları kriterler, kuracakları modeller, modelin parçaları ve kullanılacak yöntemi belirlerken bu tür topoloji çalışmalardan yararlanmaları beklenir. Bu nedenle bu topoloji çalışması ömrünü tamamlamış araçların tersine lojistik ağları ile ilgili çalışma yapan veya yapacak olan araştırmacılar için hangi konularda ileriye yönelik uzmanlaşma alanı seçecekleri konusunda aydınlatıcı olacaktır.



3. METODOLOJİ

3.1. Bulanıklık ve Bulanık Mantığın Tanımı

Gerçek yaşam koşullarında karşılaştığımız olaylar net bir şekilde ifade edemeyeceğimiz kadar karmaşık yapıdaki belirsiz durumları içerebilmektedir. Bu olayların belirli matematiksel ifadelerle tanımlanması ve kesin bir şekilde kontrol altına alınması çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir biçimde ifade etmektedir (Erdogan, 2003). Bulanıklık; bir kavramın, bir amacın veya bir sistemin içerdiği ifadelerdeki belirsizliğe veya kesin olmama haline denir (Gülcan, 2012). Bu belirsizliklerin sözel ifadeler kullanılarak ifade edilmesi ve bunların klasik mantık yaklaşımının dışına çıkarak matematik olarak modellenmesi için geliştirilen mantığa ise “Bulanık Mantık” denilmektedir.

3.2. Bulanık Mantığın Tarihi

Bulanıklık kavramı ilk olarak Amerikalı filozof Black tarafından 1937 yılında ortaya atılmıştır. Bilim adamlarının bulanıklık kavramı üzerindeki uzun süreli çalışmaları sonucu 28 yıl sonra “Bulanık mantık” adı verilen yeni bir kavram daha ortaya atılmış ve bulanık kümelerle tanımlanmıştır. Bulanık mantık ve Bulanık küme teorisinin tanımına ilk olarak 1965 yılında Azeri bilim adamı Lofti A. Zadeh tarafından yayınlanan bir makalede yer verilmiştir. Zadeh, insan beyninin büyük bir bölümünün bulanık olduğunu belirttiği çalışmasında, bulanık mantık ile kontrol durumunda elde edilen performansın klasik yöntemlerle elde edilen performansa göre daha iyi olduğunu göstermiştir (Zadeh, 1965). Sugeno ise 1972 yılında bulanık konusuna yeni bir bakış açısı getirerek bulanık ölçüm ve bulanık integral kavramlarını ortaya atmıştır (Sugeno, 1972). 1974 yılında Londra’daki Queen Mary College’den Mamdani, uygulama anlamında bir çalışma yaparak bulanık mantığı bir buhar makinesinin kontrol aşamasında kullanmıştır (Mamdani, 1974). 1978 yılında ise Zimmerman bulanık optimizasyonun temellerini oluşturmuştur (Zimmermann, 1978).

3.3. Bulanık Mantık ile Klasik Mantık Arasındaki Farklar

Klasik mantık genel bir ifadeyle ikili mantık sistemidir. Klasik mantıkta önermeler doğru/yanlış, evet/hayır, 1/0 vb. gibi yalnızca iki şekilde ifade edilebilmektedir. Bulanık mantıkta ise klasik mantıktan farklı olarak, bir önermenin tamamen doğru veya tamamen yanlış olmasını değil, doğruluk ya da kısmi doğruluk değerlerini inceleyen (çoklu değer alabilen) bir mantık türüdür (Yıldırım, 2009). Bulanık mantık, klasik mantığın kesin kalıplarının kırılıp daha gerçekçi bir yaklaşımın ortaya çıkmasına ve olayların derecelendirilmesine olanak sağlar.

Çizelge 3.1. Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki farklar

Bulanık Mantık	Klasik Mantık
<ul style="list-style-type: none">• Belirsiz, Kısmi, Muğlâk• Belirli oranlarda• 0 ile 1 arasında	<ul style="list-style-type: none">• Kesin• Hepsi veya Hiçbiri• 0 ya da 1

3.4. Bulanık Mantığın Kullanım Alanları

Bulanık mantık, belirsizlik ve kesin olmayan gerçek hayat problemlerinin tanımlanması ve çözülmesi için kullanışlı bir tekniktir. Günümüzde hemen hemen her alanda uygulama imkânı bulan teknik sanayi başta olmak üzere; endüstriyel proses kontrol sistemleri, yönetim ve karar destek sistemleri, iklimlendirme, mekanik kontrol sistemleri, yapay zekâ, biyoloji ve tıp bilimi, ekonomi, finans, mühendislik ve bilgisayar bilimleri, veri analizi, veri tabanı uygulamaları, çevre bilimi, tahmin çalışmaları ve psikoloji gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Alcı ve Karatepe, 2002; Paksoy vd., 2013).

3.5. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları

Bulanık mantık uygulamalarının avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.2 yardımıyla gösterelim (McNeill ve Thro, 1994):

Çizelge 3.2. Bulanık mantığın avantajları ve dezavantajları

Avantajlar
<ol style="list-style-type: none">1. Az miktarda kurallar, değerler ve kararlar gereklidir. Esnek bir yapıya sahiptir.2. Gözlenen çok miktarda değişken değerlendirilebilir.3. Dilsel (nümerik olmayan) değişkenler kullanılır.4. Çıktı ile girdi arasında, bütün değişkenlerin anlaşılmasına gerek kalmadan bağlantı kurar.5. Geleneksel kontrol sistemlerine göre daha hassas ve stabil sistemlerin tasarlanmasına olanak verir.6. Sistem tasarımcısının, sistem hakkındaki her şeyi öğrenmesine gerek kalmadan eksik verilerle prototip oluşturmasına olanak sağlar.7. Tasarımlanması kolay olduğu için geleneksel kontrol sistemlerinden daha ucuzdur.8. Daha önceden çözülememiş problemlerin çözümüne olanak sağlar.9. Bulanık mantıkta uzman kişilerin görüş ve tecrübeleri dikkate alınır10. Daha güçlüdür11. Bilgi kazanımını ve gösterimini kolaylaştırır12. Karmaşık durumlar için az sayıda kurallar vardır.
Dezavantajlar
<ol style="list-style-type: none">1. Bir bulanık sistemden model geliştirmek zordur.2. Kuralların mutlaka uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir3. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem yoktur. Bu nedenle üyelik fonksiyonları deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmektedir.4. Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunlarından ve bu sorunun çözümü maalesef pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır. (Elmas, 2003).

3.6. Bulanık Küme Teorisi

Klasik küme teorisinde evrensel kümede yer alan nesnelere iki şekilde sınıflandırılır;

1. istenilen özellikleri karşılayanlar
2. istenilen özellikleri karşılamayanlar

Kısaca kümenin üyeleri ikiye bölme kuralına göre belirlenir. Arada kalan nesnelere çözüme dâhil edilmez. Ancak günlük hayatın büyük bir kısmında bu mümkün değildir. Karar alırken muallâkta kaldığımız, içerisinde birtakım belirsizliklerin olduğu, birbiri ile çelişen birçok durum söz konusudur. Sağlıklı kararlar alınabilmesi için bu belirsizliklerinde dikkate alınması gerekir.

1965 Yılında Zadeh tarafından önerilen “Bulanık Küme Teorisi” ile belirsiz/muğlâk ve birbiri ile çelişen durumlar da çözüme dâhil edilmektedir. Bulanık küme teorisinde geleneksel küme teorisinin aksine kesin bir tanımlama yoktur. Ölçeklendirme ve ağırlıklandırma söz konusudur.

Bulanık küme teorisinde ise evrensel kümede yer alan nesnelere üç şekilde sınıflandırabiliriz;

1. İstenilen özellikleri karşılayanlar
2. İstenilen özellikleri kısmen karşılayanlar
3. İstenilen özellikleri karşılamayanlar

Bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile tanımlanır. Bir A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ ile gösterilir. Bulanık bir kümede, nesnelere karar vericiler tarafından “0” ile “1” dâhil bu aralıkta yer alan sayılarla ağırlıklandırılır. “ $\mu_A(x)=0$ ”; bir x elemanının minimum üyelik derecesini gösterirken, “ $\mu_A(x)=1$ ” değeri x elemanının maksimum üyelik derecesini göstermektedir. 0 ile 1 arasında kalan tüm ara değerler ise ($\mu_A(x)=0,35$, $\mu_A(x)=0,5$, $\mu_A(x)=0,8$ vb.) kısmi üyelik derecelerini gösterir.

Bulanık mantık gerçeğin her zaman o kadar kesin olmayacağını, doğrunun bir derecesi olduğunu ifade etmede kullanılacak en güzel yöntemlerden biridir. Özellikle kişiden kişiye göre değişebilecek göreceli kavramlarda veya yetkili/uzman karar vericilerin öznel düşüncelerine başvurulduğu durumlarda kesin yargılardan bahsetmemiz doğru değildir. Örneğin kilo, yaş, boy, sıcaklık, gibi kavramları klasik mantığa göre en uç noktalarla ifade etmemiz yeterince açıklayıcı olmaz. Bu gibi ifadelerde daha anlaşılır olabilmek için kullanılacak en iyi yöntem derecelendirmedir. Bu ifadeleri klasik mantık (0-1 ikili mantık) ve bulanık mantık (Çoklu mantık) teoremlerine uygun bir şekilde Çizelge 3.3 yardımıyla daha da açıklayalım.

Çizelge 3.3. Klasik mantık ile bulanık mantığın kullanım şekillerine örnek

Değişken	Klasik Mantık		Bulanık Mantık		
	0	1	0	(0-1) (0 ve 1 dahil değil)	1
Kilo	Zayıf	Şişman	Çok zayıf	Zayıf, Orta, şişman	Çok Şişman
Boy	Kısa	Uzun	Çok kısa	Kısa, orta uzunlukta, uzun	Çok Uzun
Sıcaklık	Sıcak	Soğuk	Çok soğuk	soğuk, orta, sıcak	Çok sıcak
Yaş	Genç	Yaşlı	Çocuk	Genç, Yetişkin, Yaşlı	Çok Yaşlı

3.7. Bulanık Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Sayılar

Bir bulanık küme içerisindeki tüm bilgiler, bulanık kümenin üyelik fonksiyonu tarafından temsil edilmektedir. Bulanık üyelik fonksiyonlarının çok sayıda farklı türleri bulunmaktadır. Literatürde ve pratikte en yaygın kullanılan üyelik fonksiyonları; üçgen, yamuk, çan eğrisi, gaussian ve sigmoidal üyelik fonksiyonlarıdır (Şen, 2001).

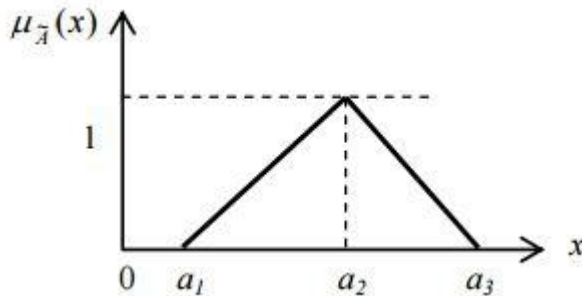
Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Bulanık sayılar da bulanık kümeler gibi üyelik fonksiyonları ile tanımlandıklarından kendi üyelik fonksiyonları ile birebir aynı kavramlardır (Yıldırım, 2009). Dolayısıyla üyelik fonksiyonu çeşidi sayısınca bulanık sayı çeşidi vardır.

3.7.1 Üçgen (Triangular) üyelik fonksiyonları

Üçgen üyelik fonksiyonları α_1 , α_2 ve α_3 olmak üzere üç parametre ile denklem (3.1) gibi tanımlanır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = \begin{cases} 0, & x < \alpha_1 \text{ veya } x > \alpha_3 \\ \frac{x - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}, & \alpha_1 \leq x \leq \alpha_2 \\ \frac{\alpha_3 - x}{\alpha_3 - \alpha_2}, & \alpha_2 \leq x \leq \alpha_3 \end{cases} \quad (3.1)$$

Şekil 3.1’de görüleceği gibi α_2 fonksiyonun özünü, α_1 ve α_3 arasındaki değerler ise desteğini oluşturmaktadır.



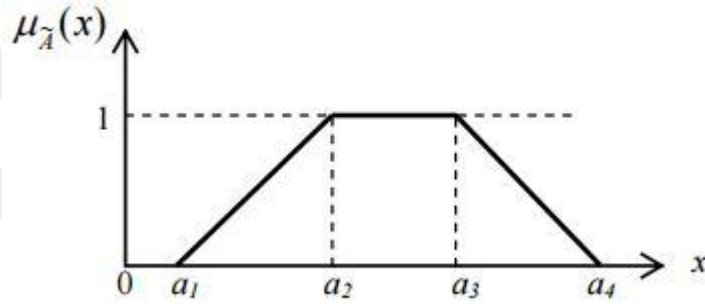
Şekil 3.1. Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi (Gülcan, 2012)

3.7.2 Yamuk (Trapezoidal) üyelik fonksiyonları

Yamuk üyelik fonksiyonları $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ve α_4 olmak üzere dört parametre ile Denklem (3.2) 'deki gibi tanımlanır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) = \begin{cases} 0, & x < \alpha_1 \text{ veya } x > \alpha_4 \\ \frac{x - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}, & \alpha_1 \leq x \leq \alpha_2 \\ 1, & \alpha_2 \leq x \leq \alpha_3 \\ \frac{\alpha_4 - x}{\alpha_4 - \alpha_3}, & \alpha_3 \leq x \leq \alpha_4 \end{cases} \quad (3.2)$$

Şekil 3.2'de görüleceği gibi $\alpha_2 - \alpha_3$ aralığı fonksiyonun özünü, $\alpha_1 - \alpha_2$ ve $\alpha_3 - \alpha_4$ arasındaki değerler ise fonksiyonun desteğini oluşturmaktadır.

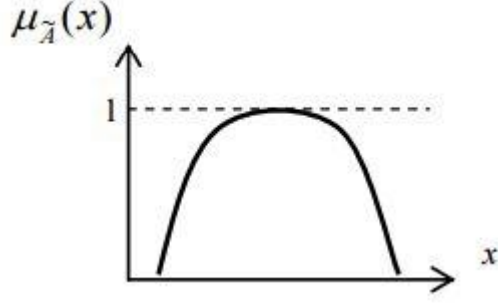


Şekil 3.2. Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi (Gülcan, 2012)

3.7.3 Çan eğrisi üyelik fonksiyonları

Çan eğrisi üyelik fonksiyonları α_1, α_2 ve α_3 olmak üzere üç parametre ile denklem (3.3) 'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.3'deki gibi gösterilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - \alpha_3}{\alpha_1} \right|^{2\alpha_2}} \quad (3.3)$$

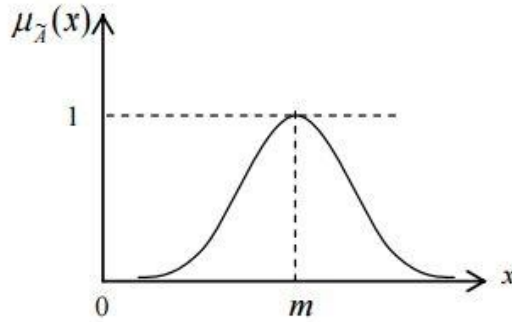


Şekil 3.3. Çan eğrili üyelik fonksiyonunun gösterimi (Şen, 2004)

3.7.4 Gaussal üyelik fonksiyonları

Gaussal üyelik fonksiyonu, m ve σ olmak üzere iki parametre ile denklem (3.4)'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.4'deki gibi gösterilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.4)$$



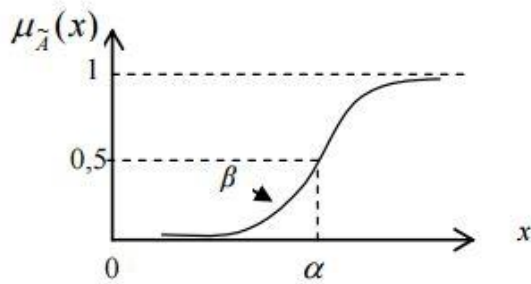
Şekil 3.4. Gaussal üyelik fonksiyonunun gösterimi (Şen, 2004)

Bu fonksiyonda m , fonksiyona ait dağılımın merkezini, σ ise merkez etrafında fonksiyonun dağılımını yani genişliğini ve şeklini belirler. (Yen ve Langari, 1999).

3.7.5 Sigmoidal üyelik fonksiyonları

Sigmoidal üyelik fonksiyonu β ve α olmak üzere iki parametre ile denklem (3.5)'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.5'deki gibi gösterilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; \beta, \alpha) = \exp\left(-\frac{1}{1 + e^{-\beta(x-\alpha)}}\right) \quad (3.5)$$



Şekil 3.5. Sigmoidal Üyelik Fonksiyonunun Gösterimi (Dombi ve Gera, 2005)

Burada β parametresi eğrinin eğimini gösterirken α parametresi 0,5 üyelik fonksiyon değeri ile fonksiyonun geçiş noktasını göstermektedir.

Yukarıda yer verilen üyelik fonksiyonlarından ÜBS (Üçgen Bulanık Sayı) ve YBS (Yamuk Bulanık Sayı) basit ve anlaşılır olması sebebiyle bulanık mantık uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır (Gülcan, 2012).

3.8. Dilsel Değişkenler

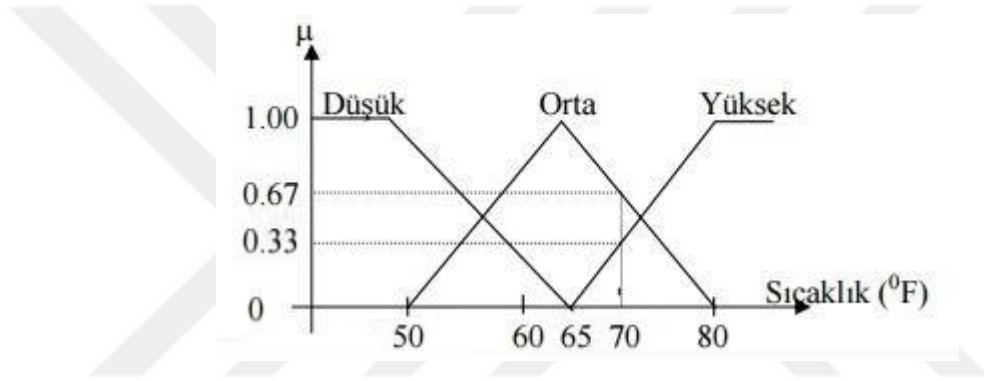
Bulanık mantığın temel yapı taşlarından biri de dilsel değişkenlerdir. Dilsel değişken kavramı ilk kez 1973 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır (Zadeh, 1973).

Dilsel değişkenler net olarak ifade edilemeyen kavramların yaklaşık olarak nitelendirilebilmesini sağlar. Dilsel bir değişken hem değeri bulanık bir sayı olan değişken, hem de değerleri dilsel terimlerle tanımlanan bir değişken olarak kabul edilir (Çobanoğlu, 2000). Böylece dilsel değişkenler, sözel ifadeleri

matematik olarak ifade edebilmek için bulanık kümelerin kullanımını gerektiren bir araç haline gelirler (Özkan, 2003).

Bir dilsel değişken, söylem uzayı X 'de tanımlanan bir bulanık sayı olan her değerli x 'in dilsel değerlerinin $T(x)$ terimi kümesi ve x değişkeninin ismi tarafından tanımlanmaktadır. Örneğin, sıcaklık (temperature) bir dilsel değişken olarak alınırsa, sıcaklık kümesi (T), $T(\text{sıcaklık}) = \{\text{Yüksek, Orta, Düşük}\}$ şeklinde olacaktır.

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi $X = [0,100]$, söylem uzayı üzerindeki bulanık küme tarafından karakterize edilmektedir.



Şekil 3.6: Sıcaklık için üyelik fonksiyonları (Dweiri ve Meier, 1996)

Şekil 3.6 sırasıyla $\{0.33, 0.67, 1.00\}$ üyelik değerleri ile $\{\text{Yüksek, Orta, Düşük}\}$ dilsel değişkenlere göre 70 °F'ı göstermektedir. 70 °F, bulanık kümeyi bulmak için kullanılan maksimum değer yani sıcaklık değeri 0.67'nin üyelik değerli bulanık kümenin ortancasına aittir (Dweiri ve Meier, 1996).

3.9. Bulanık Küme İşlemleri

Bulanık kümelerde işlemler üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. A ve B , X evreninde üyelik fonksiyonları sırasıyla $\tilde{\mu}_A$ ve $\tilde{\mu}_B$ olan iki bulanık küme olsun. Bulanık kümeler için Zadeh (1965) tarafından tanımlanan temel işlemler Çizelge 3.4'de verilmiştir:

Çizelge 3.4. Bulanık küme işlemleri

Kapsama:	$\forall x \in X$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)$ oluyorsa \tilde{A} kümesi \tilde{B} kümesi tarafından kapsanır. Bu ilişki $\tilde{A} \subset \tilde{B}$ şeklinde gösterilir.
Eşitlik:	$\forall x \in X$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x)$ oluyorsa \tilde{A} ve \tilde{B} kümeleri birbirine eşittir. Bu ilişki $\tilde{A} = \tilde{B}$ şeklinde gösterilir.
Tümleme:	$\forall x \in X$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{B}}(x)$ oluyorsa \tilde{A} ve \tilde{B} kümelerine birbirlerinin tümleyenidir denir. Bu ilişki $\tilde{B} = \tilde{A}^c$ yada $\tilde{A} = \tilde{B}^c$ şeklinde gösterilir.
Keşisim:	\tilde{A} ve \tilde{B} kümelerinin keşisimi $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ üyelik fonksiyonu yardımıyla $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \cap \mu_{\tilde{B}}(x)$ verilir.
Birleşim:	\tilde{A} ve \tilde{B} kümelerinin birleşimi $\tilde{A} \cup \tilde{B}$ üyelik fonksiyonu yardımıyla $\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \cup \mu_{\tilde{B}}(x)$ verilir.

3.10. Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler

\tilde{A} ve \tilde{B} , X 'in iki bulanık alt kümesi olsun. $\tilde{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ iki üçgensel bulanık sayı ve k sabit bir gerçektek sayı iken bu iki üçgensel bulanık sayı üzerindeki bazı temel aritmetik işleri Çizelge 3.5'deki özetleyebiliriz (Güner, 2005).

Çizelge 3.5. Bulanık sayılarla temel aritmetik işlemler

Toplama İşlemi:	$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) + (b_1, b_2, b_3) = (\alpha_1 + b_1, \alpha_2 + b_2, \alpha_3 + b_3)$ $k \oplus \tilde{A} = k + (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (k + \alpha_1, k + \alpha_2, k + \alpha_3)$
Çıkarma İşlemi:	$\tilde{A} - \tilde{B} = (\alpha_1 - b_1, \alpha_2 - b_2, \alpha_3 - b_3)$ $k - \tilde{A} = k - (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (k - \alpha_1, k - \alpha_2, k - \alpha_3)$
Çarpma İşlemi:	$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (\alpha_1 \times b_1, \alpha_2 \times b_2, \alpha_3 \times b_3)$ $k \otimes \tilde{A} = k (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (k\alpha_1, k\alpha_2, k\alpha_3)$
Bölme İşlemi:	$\tilde{A} \div \tilde{B} = (\alpha_1 \div b_1, \alpha_2 \div b_2, \alpha_3 \div b_3)$ $k \div \tilde{A} = k \div (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (k \div \alpha_1, k \div \alpha_2, k \div \alpha_3)$
İşaret Değiştirme:	$-\tilde{A} = -(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (-\alpha_1, -\alpha_2, -\alpha_3)$
Tersini Alma:	$\tilde{A}^{-1} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)^{-1} = (1/\alpha_3, 1/\alpha_2, 1/\alpha_1)$

Bulanık mantık uygulamalarında üçgen bulanık sayıların çok yaygın kullanılması sebebiyle Çizelge 3.5'te sadece üçgen bulanık sayılar için yapılan aritmetik işlemlere yer verilmiştir.

Parametre değerlerinin farklı bulanık sayılar ile ifade edilmesi durumunda aritmetik işlemler de farklı olacaktır (Zimmermann, 1987; Hwang ve Lai, 1992; Sakawa, 1993; Klir ve Yuan, 1995).

3.11. Bulanık Doğrusal Programlama

Bulanık doğrusal programlama (BDP) en basit tanımıyla bulanık mantık ve doğrusal programlamanın birleşimi olup, klasik doğrusal programlamanın genişletilmiş halidir. Klasik doğrusal programlama (DP), değişkenlere ve kısıtlayıcılara bağlı kalarak amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum (en uygun) kılmaya çalışır. Ancak, gerçek hayat koşullarında kısıtların ve amaç fonksiyonlarının klasik doğrusal programladakinin aksine kesin olarak belirlenmesi çoğu zaman mümkün olamamaktadır.

1978 Yılında Zimmermann tarafından ortaya atılan bulanık doğrusal programlama, doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çözümlenebilen problemlerin karar süreçlerinde görülen belirsizliklerin modele dâhil edilmesi sonucu kullanılan bir yöntemdir (Hansen, 1996).

Bulanık doğrusal programlamanın klasik doğrusal programlama modelinden en belirgin farkı parametrelerinde veya kısıtlarında bulanık simgesinin “~” yer alması ve bulanık olan kısımlar için $[0,1]$ güven aralığında tanımlı olan üyelik fonksiyonun belirlenmesidir (Erdaş ve Demir, 2016).

Bulanık doğrusal programlama problemlerinin en genel gösterim şekli,

$$\begin{aligned} \text{Amaç fonksiyonu:} & \quad \text{Max } Z = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j \cdot \tilde{x}_j \\ \text{Kısıtlar:} & \quad \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \cdot \tilde{x}_j (\leq, =, \geq) \tilde{b}_i \quad i=1,2,\dots,m \\ \text{Negatif olmama kısıtı:} & \quad \tilde{x}_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n \end{aligned}$$

Burada \tilde{a}_{ij} , \tilde{b}_i , \tilde{c}_j parametreleri bulanık sayıları, \tilde{x}_j değerleri ise bulanık karar değişkenlerini ifade etmektedir.

3.12. Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemleri

Bulanık doğrusal programlama problemleri, bulanıklık kavramının ele alınış şekillerine göre çeşitli sınıflandırmalara konu olmuştur. İlk sınıflandırma simetrik modeller ve simetrik olmayan modeller olarak Zimmermann tarafından yapılmıştır. Zimmermann'a göre bulanık doğrusal programlama problemlerinin hem amaç fonksiyonlarının, hem de kısıtlarının bulanık olması halinde simetrik model ortaya çıkmaktadır (Özkan, 2003).

Verdegay modellerde yer alan bulanıklığı şu şekilde sınıflandırmıştır (Ballı, 2014);

- (1) Amaç Fonksiyonu ve Kısıtları Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri
- (2) Kısıtları Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri
- (3) Amaç Fonksiyonu Parametreleri Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri
- (4) Sağ taraf sabiti ve parametre değerleri bulanık olan doğrusal programlama modeli

3.12.1 Amaç Fonksiyonu ve Kısıtları Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri

Bu problem tipleri hem kısıtlar kümesinde hem de amaç fonksiyonunda bulanıklık içerirler. Amaç fonksiyonu ve sağ taraf değerleri bulanık olan doğrusal programlama modellerinin genel gösterimi aşağıdaki gibidir (Lai ve Hwang, 1992).

$$\begin{array}{ccc} \max \tilde{Z} = c^T \cdot x & & \max \tilde{Z} = c^T \cdot x \\ Ax \leq \tilde{b} & \text{Ve} & Ax \lesseqgtr b \\ x \geq 0 & & x \geq 0 \end{array}$$

Eğer bu iki modelin üyelik fonksiyonları da aynı ise her iki model aynı olarak düşünülebilir.

Bu tip BDP problemlerin çözümünde Zimmermann (1976) ve Chanas (1983) tarafından ortaya konan iki farklı yaklaşım kullanılabilmektedir (Gülcan, 2012).

a) Zimmermann Yaklaşımı

Zimmermann'a göre bulanık amaç fonksiyonu, karar vericiden sağlanan bulanık bir erişim düzeyi ile bulanık bir kısıtlayıcı olarak ifade edilebilir. Bu şekilde ortaya çıkan model simetrik bir modeldir (Wang, 1997). Zimmermann, başlangıçta hem amacın hem de kısıtın bizzat karar verici tarafından bulanık olarak tanımlandığını belirtir. Bu durumda, bulanık karar kümesi belirlenirken bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar birbirlerinden farksız olarak ele alınır (Kaymak ve Sousa, 2001). Zimmermann, karar vericinin ulaşmak istediği amaç fonksiyonunun değeri için bir Z istek seviyesinin, kurulabileceğini ve kısıtların her birinin bir bulanık küme olarak modellenebileceğini öne sürmüştür (Zimmermann, 1991).

Zimmerman tarafından önerilen modelin genel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{c}^T \cdot \mathbf{x} \lesseqgtr \mathbf{b}_0 \\
 & (\mathbf{Ax})_i \lesseqgtr \mathbf{b}_i \forall i \text{ için} \\
 & \mathbf{x} \geq \mathbf{0}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Modelde yer alan \lesseqgtr ve \lesseqgtr işaretleri bulanık eşitsizlikleri, \mathbf{Ax} ifadesi \mathbf{b} civarında veya daha az bir değere, $\mathbf{c}^T \cdot \mathbf{x}$ ifadesi ise \mathbf{b}_0 civarında veya daha fazla bir değere sahip olduğunu ifade etmektedir (Özkan, 2003).

Zimmermann yaklaşımında, amaç katsayıları (\mathbf{c}), teknoloji katsayıları (\mathbf{A}), kaynak kısıtları (\mathbf{b}_i) ve toleransları (\mathbf{p}_i) ile birlikte amaç (\mathbf{b}_0) ve amaçla ilgili tolerans (\mathbf{p}_0) değerlerinin baştan verildiği varsayılmıştır (Lai ve Hwang, 1992). Çözüm aşamasında bulanık amaç ve kısıtlar ayırt edilmeksizin hesaba katılmakta ve tümü $[\mathbf{b}_i, \mathbf{b}_i + \mathbf{p}_i]$ aralığında değişmektedir.

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar için bulanık üyelik fonksiyonlarının tanımlanması gerekir. Yöntemde kolaylık sağlamak için, bulanık amaç (μ_o) için azalmayan sürekli doğrusal üyelik fonksiyonu, kısıtlar ($\mu_i, \forall i$) için ise artmayan sürekli doğrusal üyelik fonksiyonu varsayılmıştır (Kabak, 2008).

$\mathbf{cx} \lesseqgtr \mathbf{b}_0$ Şeklindeki Bulanık Amacın Üyelik Fonksiyonu:

$$\mu_o(x) = \begin{cases} 1, & \mathbf{cx} < \mathbf{b}_0 \text{ ise} \\ 1 - \frac{\mathbf{b}_0 - \mathbf{cx}}{\mathbf{p}_0}, & \mathbf{b}_0 \leq \mathbf{cx} \leq \mathbf{b}_0 + \mathbf{p}_0 \text{ ise} \\ 0, & \mathbf{cx} > \mathbf{b}_0 + \mathbf{p}_0 \text{ ise} \end{cases} \tag{3.7}$$

$\mathbf{cx} \gtrless \mathbf{b}_0$ Şeklindeki Bulanık Amacın Üyelik Fonksiyonu:

$$\mu_o(x) = \begin{cases} 1, & \mathbf{cx} > \mathbf{b}_0 \text{ ise} \\ 1 - \frac{\mathbf{b}_0 - \mathbf{cx}}{\mathbf{p}_0}, & \mathbf{b}_0 - \mathbf{p}_0 \leq \mathbf{cx} \leq \mathbf{b}_0 \text{ ise} \\ 0, & \mathbf{cx} < \mathbf{b}_0 - \mathbf{p}_0 \text{ ise} \end{cases} \tag{3.8}$$

$(Ax)_i \lesseqgtr b_i$ Şeklindeki Bulanık Kısıtlayıcının Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}, & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0, & (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases} \quad (3.9)$$

Zimmermann, (3.6) 'da verilen modeli çözebilmek için Bellman ve Zadeh (1970)'in max-min operatörünü kullanmıştır. Max-min operatörü en kötü durumlar arasından, en iyi çözümü seçen güvenilir bir yöntemdir (Bellman ve Zadeh, 1970).

Max-min operatörü, BDP modellerini çözmek için kullanıldığında bulanık model amaç fonksiyonunun en büyüklendiği DP modellerine dönüşmektedir (Erdoğan ve Öğütlü, 2007).

Zimmermann, (3.12) 'de yer alan en iyi çözümü max-min operatörünü kullanarak aşağıdaki gibi elde etmiştir.

$$\text{Max } \mu_D = \max \{ \min [\mu_0x, \mu_1x, \dots, \mu_mx] \} \quad (3.10)$$

Burada μ_D , D karar uzayının üyelik fonksiyonunu göstermektedir.

$\mu_D = \min (\mu_0x, \mu_1x, \dots, \mu_mx)$ 'dir. $\mu_D = \lambda$ alınır ve (3.7), (3.8), (3.9), (3.10) denklemleri kullanılarak (3.6)'te verilen modelin aşağıdaki modellere eşdeğer olduğu söylenebilir:

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & \mu_0(x) = 1 - (b_0 - cx)/p_0 \geq \lambda \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\mu_i(x) = 1 - [(Ax)_i - b_i]/p_i \geq \lambda, \forall i$$

$$\mu_i(x), \forall i \text{ ve } \lambda \in [0, 1]$$

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & cx \geq b_0 - (1 - \lambda) p_0 \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$(Ax)_i \leq b_i + (1 - \lambda) p_i, \forall i$$

$$\lambda \in [0, 1] \text{ ve } x \geq 0$$

Dikkat edilebileceği gibi (3.12)'de verilen model klasik bir doğrusal programlama modelidir.

Zimmermann'ın sunduğu yöntemin az sayıda varsayım ve işlemsel kolaylık sağlama gibi avantajları olmasına rağmen, bu yönteme literatürde iki açıdan eleştiri getirilmiştir. İlk eleştiri, amaç fonksiyonunun erişim düzeyi ile maksimum tolerans miktarının karar vericiden başlangıçta istenmesidir. Karar vericinin bu değeri doğru olarak belirlemesinin mümkün olamayacağı, ayrıca amaç fonksiyonunun erişim düzeyinin çok büyük olması problemin çözümünün belirlenememesine çok küçük olması ise, üyelik fonksiyonunun anlamını yitirmesine sebep olabileceği öne sürülmüştür. İkinci eleştiri ise, bulanık karar kümesinin tamamen belirlenememesi, bunun yerine bulanık karar kümesinin en büyük dereceli elemanın belirlenebilmesinin mümkün olabilmesidir (Özkan, 2003).

b) Chanas Yaklaşımı

Chanas, bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama modellerine Zimmermann'dan farklı (zıt) bir bakış açısı getirerek bilgi eksikliği sebebiyle, amaç fonksiyonuna ilişkin erişim düzeyi (\mathbf{b}_0) ile tolerans miktarının (\mathbf{p}_0) karar verici tarafından en baştan belirlenemeyeceğini ifade etmiştir.

Chanas yaklaşımına göre, karar vericinin \mathbf{b}_0 ve \mathbf{p}_0 değerlerini belirlemesine yardım edebilmek için öncelikle aşağıda verilen bulanık kısıtlayıcı DP problemini parametrik model olarak çözümlemesi gerekir.

Bulanık Kısıtlayıcı DP Modeli

$$\begin{aligned} \max Z &= \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ (\mathbf{Ax})_i &\lesssim \mathbf{b}_i \quad \forall i \text{ için} \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \end{aligned}$$

ve

Parametrik Programlama Modeli

$$\begin{aligned} \max Z &= \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ (\mathbf{Ax})_i &\leq \mathbf{b}_i + \theta \mathbf{p}_i \quad \forall i \text{ için} \\ \theta &\in [0, 1] \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \end{aligned}$$

Chanas'a göre θ parametresinin her bir değeri için yukarıdaki parametrik modelin kabul edilebilir çözümlerini gösteren $x^*(\theta)$ 'da $\mu(Ax^*(\theta)) \geq 1 - \theta$ ifadesi sağlanmaya çalışılır. Burada, her bir sıfır olmayan temel çözüm ($p_i > 0, i = 1, 2, \dots, m$) koşulunu sağlayan en az bir kısıt mevcuttur.

Her bir $x^*(\theta)$ değeri için, bazı kısıtlayıcıların $(1 - \theta)$ 'dan büyük olabileceği, en az bir adet kısıtın ise $(1 - \theta)$ 'ya eşit olduğu düşüncesinden hareketle, bulanık kısıtlayıcıların ortak doyum derecesi aşağıdaki gibi tanımlanır (Chanas, 1983):

$$\mu(Ax^*(\theta)) = \min (\mu_i[Ax^*(\theta)]) \geq 1 - \theta \quad (3.13)$$

Böylece farklı her θ değeri için tüm kısıtları $1-\theta$ derece ile sağlayan çözümler elde edilmiştir. Daha sonra en iyi çözümler ($z^*(\theta)$ ve $x^*(\theta)$), karar vericiye sunulur ve bu değerlere göre karar verici b_0 ve p_0 değerlerini belirler (Kabak, 2008).

$$\mu(c^T x^*(\theta)) = \begin{cases} 1, & c^T x^*(\theta) > b_0 \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_0 - c^T x^*(\theta)}{p_0}, & b_0 - p_0 \leq c^T x^*(\theta) \leq b_0 \text{ ise} \\ 0, & c^T x^*(\theta) < b_0 - p_0 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.14)$$

Bulanık karar kümesinin belirlenmesi için bunlara ait üyelik fonksiyonlarının θ 'ya bağlı en yüksek dereceli elemanı aşağıdaki gibi tanımlanacaktır. Chanas'a göre D karar kümesinin en yüksek dereceli elemanı bir sonraki eşitliğin analitik çözümü ile belirlenecektir (Chanas, 1983):

$$\mu_{\bar{D}}(x^*(\theta)) = \max \{ \min (\mu[cx^*(\theta)], \mu[Ax^*(\theta)]) \}$$

$$\mu(cx^*(\theta)) = \mu(Ax^*(\theta))$$

3.12.2 Kısıtları Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri

Bu problem tipleri kısıtların sağ taraf değerlerinde bulanıklık içermektedir. Genel gösterimi aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} \max Z &= c^T \cdot x \\ Ax &\leq \tilde{b} \quad \forall i \text{ için} \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

Bu modelde olduğu gibi sağ taraf sabitlerinin açıkça tanımlanmadığı durumlarda oluşturulan kısıtlara bulanık kaynak kısıtları” denmektedir (Yıldırım, 2009).

Bu tip modellerin çözümünde genellikle iki tür yaklaşım önerilmektedir. Birinci yaklaşım türü yalnızca sağ taraf sabitlerinin bulanık olduğu asimetrik durumlar için ortaya konulmuş Verdegay (1982), ikinci yaklaşım ise sağ taraf sabitlerinin bulanık olmasından dolayı amaç fonksiyonun da bulanık olduğu durumlar için geliştirilmiş Werner (1987) yaklaşımıdır (Gülcan, 2012).

a) Verdegay Yaklaşımı

Verdegay, bulanık kısıtlı doğrusal programlama modellerinin çözümünde betimleme teoremi ve parametrik programlamadan faydalanmıştır. Parametrik programlamayı kullanarak primal ve dual problemleri tanımlayan Verdegay, uygun koşullar altında ikisinde aynı çözümü verdiklerini göstermiştir (Wu, 2003).

Verdegay, sağ taraf değerleri bulanık olan DP problemleri ile kesin parametrik programlama probleminin eşdeğer olduğunu ilk kanıtlayan kişidir (Lai ve Hwang, 1992).

Verdegay'ın önerdiği, bulanık kısıtlara ait üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Lai ve Hwang, 1992):

$$\mu_i = \begin{cases} 1, & (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}, & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0, & (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases} \quad (3.16)$$

Bu üyelik fonksiyonları kullanılarak düzenlenen model ise aşağıdaki hali alır.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= c^T x \\ (Ax)_i &\leq b_i + (1-\lambda) p_i, \quad \forall i \\ \lambda &\in [0, 1] \text{ ve } x \geq 0 \end{aligned} \quad (3.17)$$

Yukarıdaki model $\theta = 1 - \lambda$ dönüşümü ile parametrik programlama problemine dönüştürülür ve θ parametresine bağlı parametrik çözüm elde edilmesi sağlanır.

Klasik amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlayıcılara sahip doğrusal programlama problemlerinin çözümü için Verdegay tarafından önerilen parametrik programlama modeli aşağıdaki gibi ifade edilir (Safi vd., 2007):

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= c^T x \\ (Ax)_i &\leq b_i + \theta p_i, \quad \forall i \\ \theta &\in [0, 1] \text{ ve } x \geq 0 \end{aligned} \quad (3.18)$$

Elde edilen bu parametrik çözümde her farklı θ değeri için farklı bir optimal çözüm elde edilecektir. Bu karar vericinin değişen koşullar altında istediği kararı kendisinin vereceği anlamına gelmektedir (Paksoy vd., 2013).

$\theta = 0$ için $\lambda = 1$ 'dir. θ , [0.1] aralığında hareket ederken, memnuniyet derecesi %100'den sıfıra doğru inmektedir. $\theta = 0$ için sapma 0 düzeyindedir ve memnuniyet derecesi 1 tam değerini alır. $\theta = 1$ en yüksek toleransı gösterir ve Z, maksimizyon probleminde en yüksek değerini alır (Paksoy vd., 2013). Daha

kısa bir ifadeyle $\lambda = 1$ olduğunda model doğrusal programlama modeline dönüşmektedir.

Çizelge 3.6. Parametrik bir programlama sonucu olası çözüm değerleri

θ	Kısıt Kullanım Miktarları				
	$Z^*(\theta)$	b_1	b_2	...	b_m
0.0					
0.1					
.					
.					
.					
0,9					
1.0					

Kaynak: (Lai ve Hwang, 1992; Gülcan, 2012)

Amaç fonksiyonu kısıtlar gibi değerlendirilmediğinden bu çözüm biçimi simetrik olmayan yaklaşım olarak adlandırılır (Verdegay, 1982).

b) Werners Yaklaşımı

Werners, kısıtları bulanık olan doğrusal programlama problemleri ile amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modellerinin aynı şekilde çözümlenebileceğini belirterek yeni bir yaklaşım getirmiştir.

Werners, kısıtlayıcılara ilişkin üyelik fonksiyonlarının karar vericiler tarafından önceden belirlenebileceğini, kısıtların bulanık olmasından dolayı bulanık olan amaca ilişkin üyelik fonksiyonunun ise karar vericiler tarafından önceden belirlenemeyeceğini ifade etmektedir (Çevik ve Yıldırım, 2010).

Werners başlangıçta modeli tanımlarken amaç fonksiyonuna ilişkin tolerans değerinin sıfır olduğu durum için Z^0 , tolerans değerinin tam olduğu durum için ise Z^1 ifadelerini kullanmıştır (Gülcan, 2012).

Werners'in önerdiği model, amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlara ait üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$\begin{array}{ll} \max Z^0 = c^T \cdot x & \max Z^1 = c^T \cdot x \\ Ax \leq b & \text{Ve} \quad Ax \leq b \\ x \geq 0 & x \geq 0 \end{array}$$

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1, & c^T x > Z^1 \text{ ise} \\ 1 - \frac{Z^1 - c^T x}{Z^1 - Z^0}, & Z^0 \leq c^T x \leq Z^1 \text{ ise} \\ 0, & c^T x < Z^0 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.19)$$

$$\mu_i = \begin{cases} 1, & (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}, & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0, & (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases} \quad (3.20)$$

Werners optimal karara ulaşmak için Bellman ve Zadeh tarafından önerilen max(min) işlemcisini kullanarak üyelik fonksiyonu ile belirlenen D karar alanını elde eder ve aşağıdaki modellere ulaşır (Çevik ve Yıldırım, 2010).

$$\tilde{D} = \tilde{G} \cap \tilde{C}$$

$\mu_{\tilde{D}} = \min(\mu_0 x, \mu_1 x, \dots, \mu_m x)$ 'dir. $\mu_{\tilde{D}} = \lambda$ alınır ve $\mu_{\tilde{D}}(x^*) = \max \lambda$ 'dır.

$$\begin{array}{ll} \max \lambda & \max \lambda \\ \mu_i \geq \lambda, \forall i & \lambda (Z^1 - Z^0) - c_j x_j \leq -Z^0 \\ \lambda \in [0, 1] & \text{ve} \\ x \geq 0 & \lambda p_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i + p_i \\ & \lambda \in [0, 1], x \geq 0 \end{array}$$

Elde edilen model Zimmermann (1978) tarafından sunulan modele benzeyen simetrik bir modeldir. İki model arasındaki temel fark amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonundaki farklılıktır (Lai ve Hwang, 1992). Zimmermann'ın modelinde, amaç fonksiyonundaki bulanıklık karar verici tarafından belirlenirken; Werners'in yaklaşımında, modelin kısıtlarındaki bulanıklıktan dolayı amaç fonksiyonu da bulanık hali alır (Gülcan, 2012).

3.12.3 Amaç Fonksiyonu Parametreleri Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modelleri

Kâr ya da maliyet gibi ölçütleri ifade eden amaç fonksiyonu katsayılarının gerçek hayatta tam olarak tespit edilemediği durumlarla karşılaşmak mümkündür. Bu tip durumlarda amaç fonksiyonuna ait parametre değerleri bulanık sayılarla ve bulanıklığı niteleyen tolerans aralıklarıyla ifade edilebilmektedir (Chanas, 2000).

Bulanık amaç fonksiyonu katsayılı doğrusal programlama modelinin genel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Mak } Z &= \tilde{c}^T x \\ Ax &\leq b \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

a) Verdegay Yaklaşımı

Verdegay, amaç fonksiyonu katsayıları bulanık olan problemlerin dualinin alınarak, yani sağ taraf sabiti bulanık olan doğrusal programlama modeline dönüştürülerek çözülebileceğini ileri sürmüştür. Verdegay ayrıca bunun tam tersi olarak da sağ tarafı bulanık olan modelin duali alındığında, bulanık amaç katsayılı modelin ortaya çıktığını da belirlemiştir (Verdegay, 1984). Duali alınarak sağ taraf sabiti bulanık olan doğrusal programlama modeline dönüştürülen problem bölüm 3.11.2'de anlattığımız yöntem yardımıyla çözümlenebilmektedir.

3.12.4 Sağ Taraf Sabiti ve Parametre Değerleri Bulanık Olan Doğrusal Programlama Modeli

Sağ taraf sabiti ve parametre değerleri bulanık olan bir doğrusal programlama modeli genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \text{Mak } Z &= \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{x} &\leq \tilde{\mathbf{b}} \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (3.21)$$

a) Negoita ve Sularia Yaklaşımı

Negoita ve Sularia ise problemin sağ taraf sabitleri ve kısıt matrislerinin katsayılarını bulanık olarak düşünmüşler ve bu problem tipleri için bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Modeldeki bulanıklığın üçgensel bir yapı gösterdiğini varsayan Negoita ve Sularia, bulanık doğrusal programlama problemini klasik doğrusal programlamaya dönüştürerek çözümlerinde klasik yöntemleri kullanmışlardır.

Bulanık olarak görülen bütün katsayıların üçgensel bulanık sayılar olduğu varsayılan yöntemin dezavantajı kısıt sayısını üçe katlayarak bu dönüşüm işleminin gerçekleştirilmesidir. Kısıt sayısı m olan bir bulanık doğrusal programlama problemi, $3m$ kısıtlı bir klasik doğrusal programlama problemi haline gelmektedir (Paksoy, 2010).

Buna göre modelde yer alan bulanık sayılar $(\tilde{\mathbf{A}}, \tilde{\mathbf{b}})$ üçgensel sayı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{A}} &= \langle s_{ij}, l_{ij}, r_{ij} \rangle \\ \tilde{\mathbf{b}} &= \langle t_i, u_i, v_i \rangle \end{aligned}$$

Bulanık sayılar üzerindeki işlemler göz önüne alındığında 3.11.4'deki model artık aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Klir ve Yuan, 1995):

$$\text{Mak } Z = \sum_j^n c_j x_j$$

$$\sum_j^n s_{ij} x_j \leq t_i$$

$$\sum_j^n (s_{ij} - l_{ij}) x_j \leq t_i - u_i$$

$$\sum_j^n (s_{ij} + r_{ij}) x_j \leq t_i + v_i \quad i=1, 2, \dots, n \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$x \geq \mathbf{0} \quad (i, j \in N)$$

Elde edilen modeldeki tüm sayılar gerçel sayılardır ve BDP problemi klasik DP problemine dönüştürülmüştür.

4. İSTANBUL İÇİN ÖTA AĞ TASARIMI UYGULAMASI

4.1 Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışma çevre ve insan sağlığının korunması için araçlardan kaynaklanan ve aynı zamanda ekonomik açıdan fayda sağlayacak atıkların değerlendirilmesi ve kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesi amacıyla 30 Aralık 2009 tarihinde Resmî Gazete’de yayınlanan ve Ocak 2011’de uygulanmaya başlanan Ömrünü Tamamlamış Araçların (ÖTA) Kontrolü hakkındaki Yönetmelik dikkate alınarak hurda araçların geri dönüştürülmesini sağlayan sistemin toplam kârını maksimum yapmayı hedefleyen bir tersine lojistik ağının dizayn edilmesini amaçlamaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucu geri dönüşüm oranı en yüksek ürünlerden biri olarak kabul edilen ÖTA’ların tersine lojistik ağları ile ilgili akademik literatürde yeterli sayıda çalışmaya rastlanmamıştır. Türkiye’de ise bu konu ile ilgili yapılan çalışmaların sayısının yok denecek kadar az olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla ülkemizde uzun vadede verimli bir ekonomik yatırım aracı olarak görülen ÖTA’ların geri dönüşümü alanında yapılan çalışmalar yönünden büyük bir boşluk bulunmaktadır.

Bu çalışma ile Türkiye’de oluşan bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca Türkiye’de İstanbul ilini konu alan bir çalışmanın yapılmamış olduğu ve yapılan çalışmalarda lojistik ağının modellenmesi aşamasında ortaya çıkan bazı parametrelerin bulanık karakterde olabileceğinin göz ardı edildiği tespit edilmiştir.

Çalışma, TÜİK verilerine göre Türkiye nüfusunun %18,6’sının ikamet ettiği ve Türkiye ekonomisi için kritik öneme sahip olan İstanbul ilini baz alması ve bazı parametre/değişkenlerin bulanık kullanılması sebebiyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

4.2 Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada ele alınan problem, 2009 yılında yayınlanan ÖTA direktifi kapsamında İstanbul ili içerisinde bulunan ömrünü tamamlamış araçlar için uygun tersine lojistik ağının tasarlanması ve tasarlanılan ağın kârını maksimize eden matematik modelin kurulup, uygun yöntemlerle çözümlenmesidir. Kurulan model sayesinde hangi tesislerin açılması gerektiğine ve bir tesisteki parça ve maddelerin, tersine lojistik ağında bir sonraki adımda tesislerden hangisine gönderilmesi gerektiğine karar verilebilmektedir.

Geri kazanım süreci eskiyi yenileme, onarma, yeniden imalat, parça düzeltme, geri dönüşüm ve bertaraf gibi farklı faaliyetleri içermektedir (Temur vd., 2015). Genellikle bir ürünle ilgili geri kazanım süreci bahsi geçen faaliyetlerin hepsini ya da çoğunu kapsamaktadır.

ÖTA'lar için geri dönüşüm süreci ise araç kullanıcılarının ömrünü tamamlamış araçlarını, araç üreticileri tarafından belirtilen lisanslı araç toplama merkezlerine veya yetkili söküm tesislerine ücretsiz bir şekilde teslim etmesiyle başlamaktadır. Yetkili söküm tesisi veya lisanslı araç toplayıcısına gelen hurda araçlar için trafik tescil tarafından onaylanan kayıttan düşme ve bertaraf formunun aracın son kullanıcısı tarafından doldurulması gerekmektedir. Gerekli başvuru işlemleri yapıldıktan sonra araç sahibinin müracaatı üzerine belirtilen araç, Karayolları Trafik Yönetmeliğinin 39'uncu maddesi hükümlerine uygun olarak hurdaya ayrılır.

Lisanslı araç toplayıcılarına gelen ÖTA'lar hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan yetkili söküm tesisine gönderilmektedir. Yetkili söküm tesisine gelen ÖTA'lar; yakıt, motor yağı, transmisyon yağı, hidrolik yağ, soğutucu, klima sıvısı, fren sıvısı, direksiyon sıvısı gibi akışkanlardan arındırıldıktan sonra söküm işlemine tabi tutulur. Yönetmeliğe göre ömrünü tamamlamış araçlardan kaynaklanan çevresel etkilerin en aza indirilmesi için, aracın parçalanması, parçalama sonrası oluşan atıkların geri kazanım veya bertaraf işlemine hazırlanması için yapılan her türlü faaliyet öncesi tüm aksam parçaların araç

geri dönüşümü sağlanan ürünler genellikle diğer endüstrilerde kullanılmak üzere ikincil pazar veya marketlere gönderilmektedir. Tekrar orijinal üreticiye geri gönderilmez. Kapalı döngü sistemlerde ise ürünler üretilir, kullanılır, atık olur, yeniden değerlendirilmek için üreticiye geri gelir ve tekrar üretilir (Şengül, 2010).

Çalışmada tasarlanılan ağın toplam kârını maksimize etmek için kurulan matematiksel model 3 farklı yöntem ile ayrı ayrı çözümlenmiş ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. İlk olarak model deterministik (klasik-tüm verilerin bilindiği durum) olarak kurgulanmış ve karma tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile çözümlenmiştir. İkinci aşamada ise tesis kapasitelerinin bulanık olacağı varsayılmış ve problem bulanık doğrusal programlama yöntemlerinden Verdegay (Verdegay, 1982) yaklaşımı ile çözümlenmiştir. Üçüncü aşamada ise İstanbul ili için trafikten kaydı silinen araç sayılarına ilişkin son on yılın verileri incelenmiş ve varyansının çok geniş olduğu gözlenmiştir. Varyansın çok geniş olması nedeniyle araç kullanıcıları tarafından gönderilen ÖTA miktarlarının bulanık olarak ele alınmasına ve problemin bulanık doğrusal programlama yöntemlerinden Zimmermann (Zimmermann, 1991) yaklaşımı ile çözümlenmesine karar verilmiştir.

4.3 Uygulamanın Çerçevesi ve Kullanılan Veriler

Çalışma, TÜİK verilerine göre Türkiye nüfusunun %18,6'sının ikamet ettiği İstanbul iline uygulanmıştır. İstanbul dünya üzerindeki konumu, tarihi, sosyo-kültürel hayatı, ekonomisi, gelişen sanayisi, iş piyasası ve nüfus yoğunluğu açısından Türkiye için büyük bir öneme sahiptir. Transit geçişlerle ülkeler arası ithalat ve ihracatta önemli bir ulaşım bölgesi olan İstanbul'un ülke ekonomisine katkısı oldukça büyüktür. Türkiye'nin ticaret merkezi olarak kabul edilen İstanbul, ayrıca hızlı büyüyen ekonomisi ve nüfusu bakımından Avrupa'nın dört mega şehrinden biri olma özelliği taşımaktadır. Eğitim, sağlık, yaşam kalitesi ve iş olanakları açısından sunduğu fırsatlar ile diğer illeri geride bırakarak, Türkiye nüfusunun büyük bir çoğunluğunu içinde barındırmaktadır. Durum böyle

olunca nüfusa bağılı olarak İstanbul'daki araç sayısında diğere illere göre fazlalık göstermektedir.

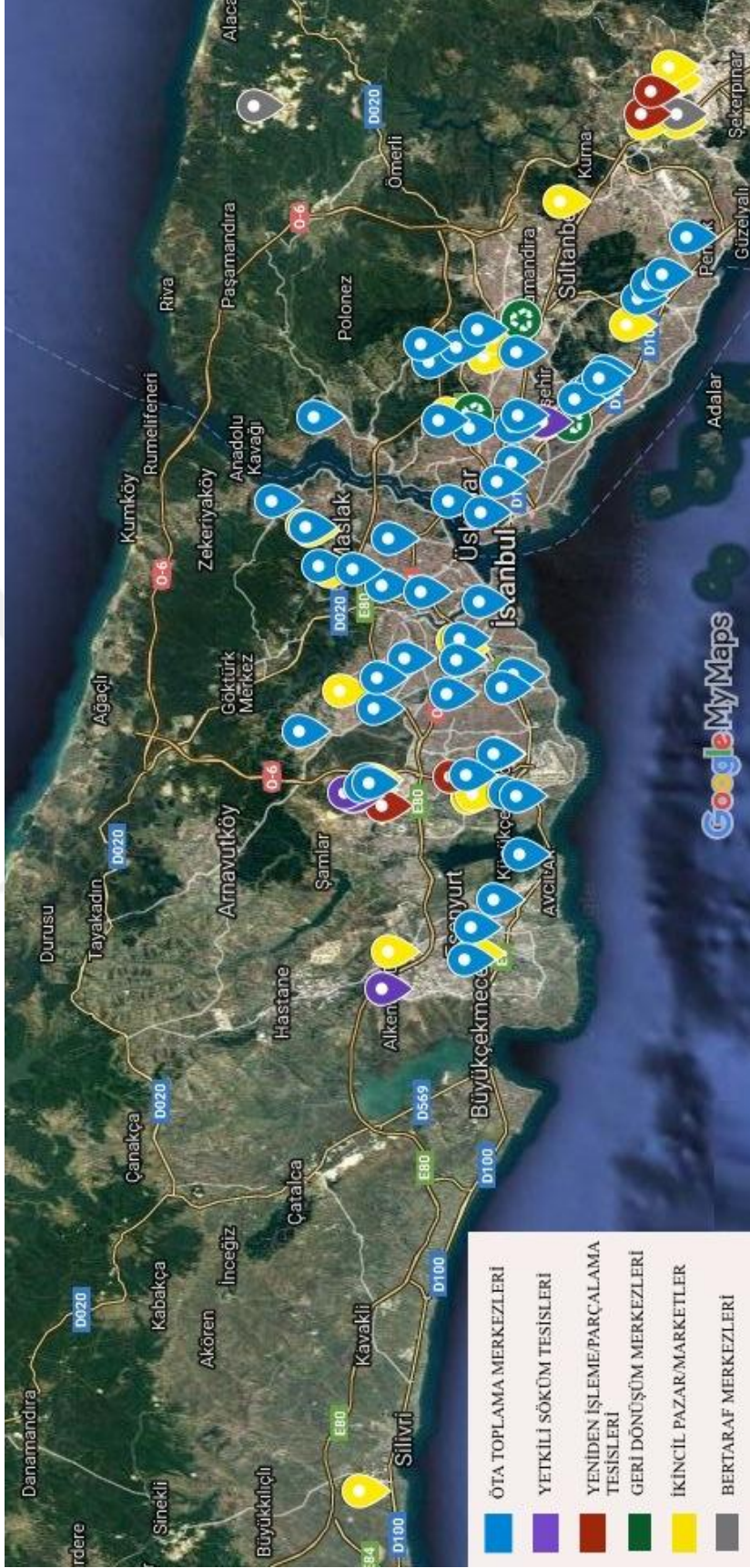
TÜİK 2016 verilerine göre trafiğe kayıtlı motorlu taşıt sayısının 21 milyon 90 bin 424 adeti aştığı Türkiye'de her 4 kişiden 1'ine bir araç düşmektedir. (TÜİK 2016 yılı sonu verilerine göre Türkiye nüfusu 79 milyon 814 bin 871 olarak alınmıştır.)

İstanbul'da ise yine TÜİK verilerine göre 2016 yılı sonunda trafiğe kayıtlı 3 milyon 845 bin 349 araç bulunmaktadır. 2016 yılı aralık ayı rakamlarına göre 14 milyon 804 bin 116 nüfusıyla İstanbul'da da her 4 kişiden 1'ine bir araç düşmektedir. Yukarıda yer verilen istatistikler çalışmanın İstanbul iline uygulanmasının doğru bir karar olduğunu açıkça göstermektedir.

Çalışmada kullanılan veriler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) başta olmak üzere tasarlanılan ağıın aktörleri arasında bulunan piyasa yetkililerinden edinilen bilgiler ve daha önce yapılmış olan çalışmalardan derlenerek elde edilmiştir.

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2016 yılı verilerinden elde edilen bilgilere göre, İstanbul ilinde yer alan 66 adet lisanslı araç toplama merkezinden 52'si, 9 adet yetkili söküm tesisinden 5'i, 5 adet yeniden işleme/parçalama tesisinden 4'ü ve 3 adet bertaraf merkezinden 2'si çalışma kapsamına alınmıştır. Ayrıca ağıın aktörleri arasında İstanbul ilinde bulunan 3 adet geri dönüşüm merkezi ile 29 adet ikincil pazar/markette bulunmaktadır.

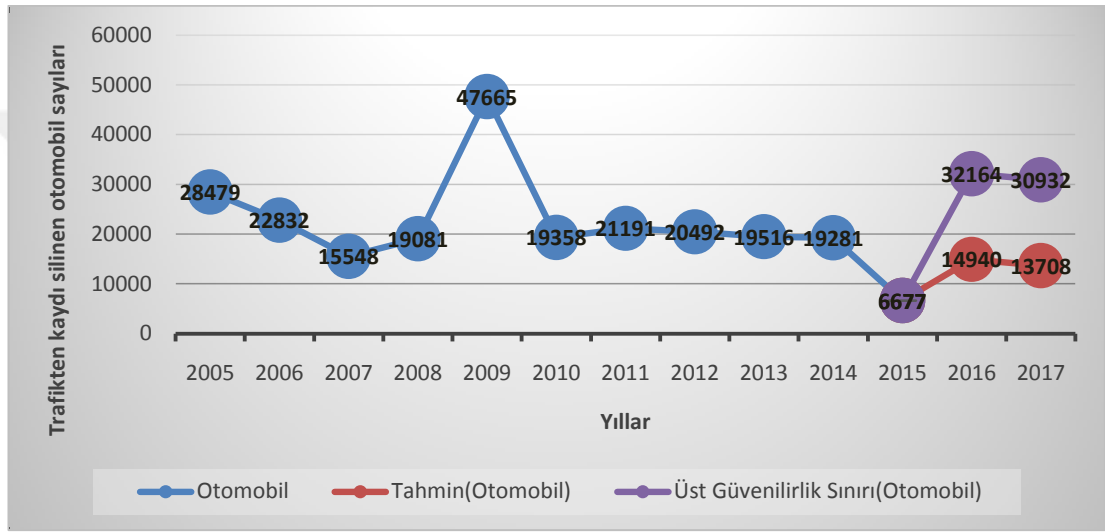
ÖTA tersine lojistik ağıında yer alan aktörlerin konumlarına Şekil 4.2'de yer verilmiştir. Çalışmada yer alan aktörlerin konumları ve birbirine olan uzaklıkları ise harita üzerindeki koordinatlarının tespit edilmesi ile km cinsinden modele dâhil edilmiştir.



Şekil 4.2. ÖTA tersine lojistik ağında yer alan aktörler ve konumları

Çalışmada yürürlük kapsamında yer alan M1 (sürücü dışında en fazla 8 kişilik oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik motorlu araçları) kategorisindeki araçlardan otomobiller dikkate alınmış ve otomobillerin her birinin ağırlığı ortalama 1 ton (1000 kg) olarak varsayılmıştır.

Araç kullanıcıları tarafından gönderilen toplam ÖTA sayısı ise TÜİK tarafından 2005-2015 yılları arasında yayınlanan trafikten kaydı silinen araç sayıları dikkate alınarak zaman serileri analizi yardımı ile tahmin edilmiştir.



Şekil 4.3. İstanbul için trafikten kaydı silinen otomobil sayısına ait 2017 yılı tahmin değeri

Doğrusal regresyon ile yapılan zaman serisi analizi sonucu 2017 yılı için 13 bin 708 adet otomobilin %95 güvenle trafikten çekilmesi beklenmektedir. Kurulan deterministik model bu tahmin değeri dikkate alınarak çözümlenmiştir. Yapılan zaman serisi analizine ait grafik Şekil 4.3'te yer almaktadır. Grafikte geçmiş yıllardaki trafikten kaydı silinen otomobil sayıları ile 2016 ve 2017 yılları için yapılan tahmin değerlerinin yanı sıra üst güvenilirlik sınırlarınada yer verilmiştir.

Çalışma kapsamında İstanbul ilinin tüm ilçeleri (39 ilçe) birer ÖTA kaynağı olarak kabul edilmiştir. İstanbul ilinin ilçelerine ait koordinat ve nüfus bilgileri

ile ilçelerden geri dönüştürülmek üzere gönderilen ÖTA miktarları Çizelge 4.1'de detaylı bir şekilde yer almaktadır.

Çizelge 4.1. İstanbul ilçelerinin kordinatları ve nüfusu

İlçe Adı	Enlem	Boylam	2017 Nüfusu	İlçelerden gönderilen ÖTA miktarları (ton)
ADALAR	40.866.802	29.125.978	14478	13,39796184
ARNAVUTKÖY	41.200.001	28.733.334	247507	229,0433306
ATAŞEHİR	40.984.207	29.133.249	422513	390,9941324
AVCILAR	41.015.347	28.731.462	439685	406,8851257
BAĞCILAR	41.045.647	28.824.722	751510	695,4484251
BAHÇELİEVLER	41.008.545	28.824.722	598097	553,4798163
BAKIRKÖY	40.977.978	28.869.596	222437	205,8435168
BAŞAKŞEHİR	41.101.517	28.789.757	369810	342,2227011
BAYRAMPAŞA	41.048.149	28.900.455	273148	252,7715485
BEŞİKTAŞ	41.068.615	29.028.536	189356	175,2303123
BEYKOZ	41.142.944	29.178.202	250410	231,7297709
BEYLİKDÜZÜ	40.991.039	28.649.815	297420	275,2328919
BEYOĞLU	41.038.284	28.970.329	238762	220,9506951
BÜYÜKÇEKMECE	41.019.459	28.527.266	237185	219,4913371
ÇATALCA	41.140.408	28.465.958	68935	63,79254725
ÇEKMEKÖY	41.104.237	29.317.726	239611	221,7363609
ESENLER	41.079.414	28.853.855	457231	423,1222191
ESENYURT	41.034.317	28.661.482	795010	735,7033871
EYÜP	41.045.887	28.936.846	377650	349,4778483
FATİH	41.016.865	28.947.042	417285	386,1561337
GAZİOSMANPAŞA	41.075.947	28.900.455	499766	462,4841687
GÜNGÖREN	41.020.546	28.874.245	298509	276,2406541
KADIKÖY	40.980.141	29.082.270	452302	418,5609155
KÂĞITHANE	41.081.402	28.981.974	439685	406,8851257
KARTAL	40.899.651	29.193.649	459298	425,0350238
KÜÇÜKÇEKMECE	41.008.659	28.775.343	766609	709,4210612
MALTEPE	40.949.802	29.173.950	490151	453,586434
PENDİK	40.984.798	29.348.265	691681	640,0825832
SANCAKTEPE	41.028.702	29.290.182	377047	348,9198312
SARIYER	41.167.774	29.056.889	342753	317,1841147
SİLİVRİ	41.080.158	28.268.290	170523	157,8022272
SULTANBEYLİ	40.961.113	29.266.945	324709	300,4861714
SULTANGAZİ	41.107.403	28.859.995	525090	485,9190344
ŞİLE	41.171.906	29.613.537	34241	31,6866702
ŞİŞLİ	41.124.310	29.011.076	272803	252,452285
TUZLA	40.898.232	29.359.879	242232	224,161838
ÜMRANİYE	41.030.300	29.106.501	694158	642,3748026
ÜSKÜDAR	41.018.944	29.057.631	535537	495,5867031
ZEYTİNBURNU	40.990.635	28.896.139	287897	266,4202941

İlçelerden toplama merkezlerine ve yetkili söküme tesislerine gönderilen tahmini ÖTA miktarları ise ilçelerin nüfus yoğunluklarına orantılı bir şekilde dağıtılmıştır.

Modelde yer alan maliyet kalemlerinden tesislerin sabit açılış maliyetleri yetkili söküme tesisi için 2500000 TL (Demirel vd., 2016), yeniden işleme parçalama tesisi için ise 887500 TL (Demirel vd., 2016; Ene ve Öztürk, 2015), birim başına ÖTA toplama maliyetleri ise sırasıyla lisanslı araç toplayıcıları için 200 TL, yetkili söküme tesisleri için ise 100 TL olarak belirlenmiştir.

Ayrıca modelin başka bir maliyet kalemini ise işlem maliyetleri oluşturmaktadır. Çalışmada yer alan tesislerdeki işlem maliyetleri ise sırasıyla; yetkili söküme tesisinde birim başına ÖTA söküme maliyeti 490 TL (Özceylan et al. 2016), yeniden işleme/parçalama tesisinde birim başına ÖTA işleme maliyeti 135 TL (Özceylan vd., 2016), geri dönüşüm tesisinde birim başına ÖTA işleme maliyeti 500 TL (Özceylan vd., 2016), elden çıkarılmak istenen ASR, tehlikeli ve zehirli atıkların bertaraf maliyeti ise 250 TL olarak belirlenmiştir.

Modeldeki tesislerin kapasiteleri ise sırasıyla, lisanslı araç toplayıcıları, yetkili söküme tesisleri, yeniden işleme/parçalama tesisleri, elden çıkarma/bertaraf tesisleri ve geri dönüşüm tesisleri için 3000 (Mahmoudzadeh vd., 2011; Özceylan vd., 2016; Phuc vd., 2016), 4000 (Mahmoudzadeh vd., 2011; Ene ve Öztürk, 2015; Özceylan vd., 2016; Srinivasan ve Khan, 2016; Phuc vd., 2016), 8000 (Özceylan vd., 2016; Phuc vd., 2016), 25000 (Ene ve Öztürk, 2015; Srinivasan ve Khan, 2016; Özceylan vd., 2016) ve 11000 (Ene ve Öztürk, 2015; Özceylan vd., 2016) ton/yıl olarak modele dâhil edilmiştir.

Yukarıda yer alan maliyet ve kapasitelere ait verilerin bir kısmı daha önce yapılmış olan çalışmalardaki verilerin ortalaması alınarak, diğer bir kısmı ise bu sektörde faaliyet gösteren piyasa yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilmiştir.

Bir taşıt içerisinde yer alan demirli metal, demir içermeyen metal, plastik ve proses polimerler, lastik, cam, akü, akışkan sıvılar, patlamamış hava yastıkları

ve diğ er (tekstil, kauç uk vb) olmak üzere birç ok bileş enden oluş maktadır. Bu bileş enlerin taşı t iç erindeki ağı rlıkları ise sı rasıyla 0.67; 0.08; 0.13; 0.04; 0.04, 0.013; 0,02; 0,001 ve 0.006 olarak belirlenmiştir. Ö TA'daki hulk ağı rlığı 0.81 ve hulk'lardan kaynaklanan ASR ağı rlık yüzdesi ise 0.185 'dir.

Yetkili sö küm tesislerinden ikincil pazarlara satılan değ erli parç a ve metallerin satış ından elde edilen gelirler ($S1_n$) ile geri dönüş üm merkezlerinden ikincil pazarlara satılan değ erli parç a ve metaryellerin satış ından elde edilen gelirler ($S2_n$) TL cinsinden Ç izelge 4.2'de verilmiştir.

Ç izelge 4.2. Değ erli parç a ve materyallerin satış ından elde edilen gelirler

	$S1_n$								$S2_n$				
Satış	$S1_1$	$S1_2$	$S1_3$	$S1_5$	$S1_6$	$S1_7$	$S1_8$	$S1_9$	$S2_1$	$S2_2$	$S2_4$	$S2_6$	$S2_7$
Fiyatı	1200	6000	6000	6000	3100	6250	200	600	250	750	150	250	300

4.4 Uygulama

Uygulamanın amacı, İstanbul ilindeki Ö TA'lar için tasarlanılan (Ş ekil 4.1) tersine lojistik ağı ndaki ortaya ç ıkan maliyetleri minimum yaparak, sistemin toplam kârını maksimum yapan akış ları sağlamaktır. Kurulan model, yetkili sö küm ve yeniden işleme/parçalama tesislerinden hangilerinin aç ılması gerektiğine ve ömrünü tamamlamış araç ve araç bileş enlerinin, tersine lojistik ağı nda bir sonraki adımdaki tesislerden hangisine gönderilmesi gerektiğine karar vermektedir.

Modelin amaç fonksiyonu; yetki sö küm tesisleri ve yeniden işleme/parçalama tesislerinin sabit aç ılma maliyetleri ile Ö TA'ların ve Ö TA parçalarının toplama, taşıma, sökme, parçalama, geri dönüş üm ve bertaraf maliyetlerinin yanı sıra yeniden kullanılabilir metaller ile geri dönüş ümü sağlanan ham materyallerin satış ından elde edilen gelirden oluş maktadır.

Tersine lojistik ağı tasarımılarının modellenmesinde amaç fonksiyonu, çalışmamızda olduğu gibi geri kazanılan ürünlerin satış ından elde edilen gelirler dikkate alınarak kâr maksimizasyonu şeklinde düzenlenebileceği gibi, sadece

maliyetler dikkate alınarak (sabit işletme, toplama, taşıma, geri kazanım ve elde tutma maliyetleri vs.) maliyet minimizasyonu şeklinde de düzenlenebilmektedir.

4.4.1 Klasik doğrusal programlama modelinin kurulması

Varsayımlar:

Türkiye’de düzenlemeler ve mevcut uygulamalar ile ilgili olarak matematiksel modelin geliştirilmesinde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

1. Tüm ÖTA’ lar toplanmalıdır.
2. Son araç sahipleri ömrünü tamamlamış araçlarını (ÖTA), lisanslı araç toplama merkezleri veya yetkili sökülme tesislerinden birine iade etmelidir.
3. İmalâtçılar ÖTA’ları aracın son sahibinden ücretsiz olarak geri almak zorundadırlar.
4. Tüm tesislerin kapasiteleri sınırlıdır ve sabittir.
5. Taşınan malzemeler ağırlık birimi halinde uygulanabilen bölünebilir miktarlıdır.
6. Talepler için yeterli olan kapasiteden dolayı stok veya birikmiş siparişe izin verilmez.
7. Amaç fonksiyonun katsayıları deterministiktir ve önceden bilinir.
8. Ters akış ile ilgili ağırlık yüzdeleri bilinmektedir.
9. İstanbul ilinin 39 ilçesi ÖTA kaynakları olarak kabul edilmektedir.
10. Hali hazırda yetkili sökülme tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisi aday alanlar olarak kabul edilir. Final yer seçimi, potansiyel alanlar arasından yapılır.

Önerilen model aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

İndisler:

n: Bileşen/Malzemeler Dizisi n:1,2,3...N

i: Araç Kullanıcıları, i: 1,2,3...I

j: Lisanslı Araç Toplayıcıları, j: 1,2,3...J

k: Yetkili Söküm Tesisi, k:1,2,3...K

l: Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi, l: 1,2,3...L

p: Elden Çıkarma/Bertaraf Merkezi, p: 1,2,3...P

r: Geri Dönüşüm Tesisi, r: 1,2,3...R

m: İkincil Pazar/Market, m: 1,2,3...M

Parametreler:

z_i: i araç kullanıcısı tarafından gönderilen ÖTA miktarı (ton)

Satış Gelirleri

S_{1n}: k yetkili söküm tesisinden m ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir n komponent/materyalinden elde edilen birim satış geliri

S_{2n}: r geri dönüşüm tesisinden m ikincil pazar/markete gönderilen n materyalinden elde edilen birim satış geliri

Açılış Maliyeti

f_l: l yeniden işleme/parçalama tesisinin sabit açılış maliyeti (TL)

f_k: k yetkili söküm tesisinin sabit açılış maliyeti (TL)

Toplama Maliyeti

cc_j: j lisanslı araç toplayıcısında birim başına ÖTA toplama maliyeti (TL/ton)

cc_k: k yetkili söküm tesisinde birim başına ÖTA toplama maliyeti (TL/ton)

İşlem Maliyeti

dc_k: k yetkili söküm tesisinde birim başına söküm maliyeti (TL/ton)

Sc_l: l yeniden işleme/parçalama tesisinde birim başına parçalama maliyeti (TL/ton)

lc_p : p elden çıkarma/bertaraf merkezinde birim başına bertaraf maliyeti (TL/ton)

rc_r : r geri dönüşüm tesisinde birim başına geri dönüştürme maliyeti (TL/ton)

Taşıma Maliyeti

t : ÖTA ve ÖTA bileşenlerinin tesisler arası birim başına ortalama taşıma maliyeti (TL/ton km)

Taşıma Mesafesi

d_{jk} : k yetkili söküm tesisleri ve j lisanslı araç toplayıcıları arasındaki mesafe (km)

d_{kl} : l yeniden işleme/parçalama tesisi ve k yetkili söküm tesisleri arasındaki mesafe (km)

d_{kr} : r geri dönüşüm tesisi ve k yetkili söküm tesisi arasındaki mesafe (km)

d_{lr} : r geri dönüşüm tesisi ve l yeniden işleme/parçalama tesisi arasındaki mesafe (km)

d_{lp} : p elden çıkarma/bertaraf merkezi ve l yeniden işleme/parçalama tesisi arasındaki mesafe (km)

d_{rp} : p elden çıkarma/bertaraf merkezi ve r geri dönüşüm tesisi arasındaki mesafe (km)

d_{km} : k yetkili söküm tesisi ve m ikincil pazar/arketler arasındaki mesafe (km)

d_{rm} : r geri dönüşüm tesisi ile m marketi arasındaki mesafe (km)

Kapasite

cap_j : j lisanslı araç toplayıcılarının kapasitesi (ton)

cap_k : k yetkili söküm tesisinin kapasitesi (ton)

cap_l : l yeniden işleme/parçalama tesisinin kapasitesi (ton)

cap_{nr} : n komponent/materyal için r geri dönüşüm tesisinin kapasitesi (ton)

cap_p : p elden çıkarma/bertaraf merkezinin kapasitesi (ton)

Diğer parametreler

α_1 : ÖTA içerisindeki Hulk'un ağırlık yüzdesi

α_2 : ÖTA içerisindeki n komponent/materyalin yeniden kullanılabilir ağırlık yüzdesi

α_3 : ÖTA içerisindeki n komponent/materyalin yeniden kullanılmayacak olan ağırlık yüzdesi

α_4 : Hulk içerisindeki ASR'nin ağırlık yüzdesi

α_5 : Hulk içerisindeki n komponent/materyalin geri dönüştürülebilir ağırlık yüzdesi

α_6 : Geri dönüştürülebilir materyal içerisindeki n materyalinin bertaraf ağırlık yüzdesi

Karar değişkenleri:

X_{ij} : i araç kullanıcısı tarafından j lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ÖTA miktarı (ton)

Y_{ik} : i araç kullanıcısı tarafından k yetkili söküm tesislerine gönderilen ÖTA miktarı (ton)

W_{jk} : j lisanslı araç toplayıcılarından k yetkili söküm tesisine gönderilen ÖTA miktarı (ton)

S_{nkm} : k yetkili söküm tesisinden m ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir n komponent/materyal miktarı (ton)

A_{nkr} : k yetkili söküm tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak olan n komponent/materyal miktarı (ton)

B_{kl} : k yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı (ton)

G_{nlr} : l yeniden işleme/parçalama tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen n materyalinin miktarı (ton)

E_{lp} : l yeniden işleme/parçalama tesisinden p elden çıkarma/bertaraf merkezine gönderilen ASR'nin miktarı (ton)

F_{nrp} : r geri dönüşüm tesisinden p elden çıkarma/bertaraf merkezine gönderilen n bertaraf miktarı (ton)

F_{mnm} : r geri dönüşüm tesisinden m ikincil pazar/markete gönderilen n materyalinin miktarı (ton)

e_l : l yeniden işleme/parçalama tesisinin açılıp açılmama kararı (1/0)

$$e_l = \begin{cases} 1, & l \text{ yeniden işleme parçalama tesisi açılırsa} \\ 0, & l \text{ yeniden işleme parçalama tesisi açılmazsa} \end{cases}$$

e_k : k yetkili söküm tesisinin açılıp açılmama kararı (1/0)

$$e_k = \begin{cases} 1, & k \text{ yetkili söküm tesisi açılırsa} \\ 0, & k \text{ yetkili söküm tesisi açılmazsa} \end{cases}$$

Modelleme:

Amaç Fonksiyonu

Kâr Maksimizasyonu= Satış gelirleri - (Tesis açılma maliyeti + Toplama maliyeti + Taşıma maliyeti + İşlem maliyeti + Bertaraf maliyeti)

$$Z_{max} = \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot S1_n + \sum_n \sum_r \sum_m Fm_{nrm} \cdot S2_n - \quad [1]$$

$$(\sum_l f_l \cdot e_l + \sum_k f_k \cdot e_k + \quad [2]$$

$$\begin{aligned} & \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot t \cdot d_{jk} + \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot t \cdot d_{kr} + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot t \cdot d_{kl} + \\ & \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot t \cdot d_{lr} + \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot t \cdot d_{km} + \\ & \sum_l \sum_p E_{lp} \cdot t \cdot d_{lp} + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot t \cdot d_{rp} + \sum_n \sum_r \sum_m Fm_{nrm} \cdot t \cdot d_{rm} + \end{aligned} \quad [3]$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} \cdot cc_j + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot cc_k + \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot cc_k + \quad [4]$$

$$\sum_j \sum_k W_{jk} \cdot dc_k + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot dc_k + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot sc_l + \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot rc_r + \quad [5]$$

$$\sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot rc_r +$$

$$\sum_l \sum_p E_{lp} \cdot lc_p + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot lc_p) \quad [6]$$

Kısıtlar

Akış Kısıtları:

$$\sum_j X_{ij} + \sum_k Y_{ik} = Z_i \quad \forall i \quad [7]$$

$$\sum_i X_{ij} = \sum_k W_{jk} \quad \forall j \quad [8]$$

$$\sum_l B_{kl} = \alpha_1 (\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk}) \quad \forall k \quad [9]$$

$$\sum_m \sum_n S_{nkm} = \alpha_2 (\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk}) \quad \forall k \quad [10]$$

$$\sum_r A_{nkr} = \alpha_3 \cdot ratio(n) \cdot (\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk}) \quad \forall k, n=3, 4, \dots, 9 \quad [11]$$

$$\sum_p E_{lp} = \alpha_4 \cdot ratio(n) \cdot (\sum_k B_{kl}) \quad \forall l, n=6, 7, 8, 9 \quad [12]$$

$$\sum_r G_{nlr} = \alpha_5 \cdot ratio(n) \cdot (\sum_k B_{kl}) \quad \forall l, n=1, 2 \quad [13]$$

$$\sum_p F_{nrp} = \alpha_6 (\sum_k A_{nkr}) \quad \forall r, n=3, 4, \dots, 9 \quad [14]$$

$$\sum_p F_{nrp} = \alpha_6 (\sum_l G_{nlr}) \quad \forall r, n=1, 2 \quad [15]$$

$$\sum_m Fm_{nrm} = (1 - \alpha_6) \cdot (\sum_k A_{nkr}) \quad \forall r, n=3, 4, \dots, 9 \quad [16]$$

$$\sum_m Fm_{nrm} = (1 - \alpha_6) \cdot (\sum_l G_{nlr}) \quad \forall r, n=1, 2 \quad [17]$$

Kapasite Kısıtları:

$$\sum_i X_{ij} \leq cap_j \quad \forall j \quad [18]$$

$$\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} \leq cap_k \cdot e_k \quad \forall k \quad [19]$$

$$\sum_k B_{kl} \leq cap_l \cdot e_l \quad \forall l \quad [20]$$

$$\sum_k A_{nrk} + \sum_l G_{nlr} \leq cap_{nr} \quad \forall r \quad [21]$$

$$\sum_l E_{lp} + \sum_r F_{nrp} \leq cap_p \quad \forall p \quad [22]$$

Negatif Olmama Kısıtı:

$$(X_{ij}, Y_{ik}, W_{jk}, S_{nkm}, A_{nrk}, B_{kl}, G_{nlr}, E_{lp}, F_{nrp}, \quad \forall i, j, k, m, r, l, p \quad [23]$$

$$F_{m_{nrm}}) > 0$$

$$e_k, e_l = \{0, 1\} \quad [24]$$

ÖTA geri dönüşüm ağı için önerilen modelin amaç fonksiyonu 6 bileşene sahiptir ve ağın toplam kârını maksimize etmeyi hedeflemektedir. Amaç fonksiyonunda yer alan birinci bileşen yeniden kullanılabilir metaller ile geri dönüşümü sağlanan ham materyallerin satışından elde edilen geliri, ikinci bileşen tayin edilmiş yeniden işleme/parçalama tesisi ve geri dönüşüm tesisinin, tesis sabit kurulum maliyetini, üçüncü bileşen ağın her aşamasında yer alan nakliye maliyetlerinin tümünü, dördüncü bileşen ÖTA'ların toplanma maliyetini, beşinci bileşen yetkili söküm tesisine gönderilen ÖTA'ların söküm, yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk'ların yeniden işleme/parçalama ve geri dönüşüm tesisine gönderilen parça ve bileşenlerin geri dönüşüm sürecindeki tüm işlem maliyetlerini, altıncı bileşen ise geri dönüşüm tesisine gönderilen ASR'lerin ve tehlikeli/zehirli atıkların elden çıkarma ve bertaraf maliyetlerini temsil etmektedir [1-6].

Modelde yer alan kısıtlardan [7-17] akış kısıtlarını, [18-22] kapasite kısıtlarını, [23-24] ise negatif olmama kısıtlarını temsil etmektedir.

Kısıtların ne anlama geldiği ise aşağıdaki maddeler yardımıyla detaylı bir şekilde verilmiştir:

- Kısıt [7], lisanslı araç toplayıcıları ve yetkili söküm tesislerine gelen toplam ÖTA miktarı, araç kullanıcılarından gönderilen toplam ÖTA miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [8], araç kullanıcılarından lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ÖTA miktarı, lisanslı araç toplayıcılarından yetkili söküm tesisine gelen ÖTA miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [9], k yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine taşınan Hulk miktarı, j lisanslı araç toplayıcıları ve i araç kullanıcılarından gelen ÖTA'ların söküm işleminden sonra ortaya çıkan Hulk miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [10], k yetkili söküm tesisinden m ikincil pazara/markete taşınan yeniden kullanılabilir komponent/materyal miktarı, j lisanslı araç toplayıcıları ve i araç kullanıcılarından gelen ÖTA'ların söküm işleminden sonra ortaya çıkan yeniden kullanılabilir komponent/materyal miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [11], k yetkili söküm tesisinden r geri dönüşüm tesisine taşınan yeniden kullanılmayacak olan n komponent/materyal miktarı, j lisanslı araç toplayıcıları ve i araç kullanıcılarından gelen ÖTA'ların söküm işleminden sonra ortaya çıkan yeniden kullanılmayacak olan komponent/materyal miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [12], l yeniden işleme/parçalama tesisinden p bertaraf merkezine taşınan ASR miktarı, k yetkili söküm tesisinden gelen Hulk'ların parçalama işleminden sonra ortaya çıkan ASR miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [13], l yeniden işleme/parçalama tesisinden r geri dönüşüm tesisine taşınan demirli ve demir içermeyen metal miktarı, k yetkili söküm tesisinden gelen Hulk'ların parçalama işleminden sonra ortaya çıkan demirli veya demir içermeyen metal miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [14], r geri dönüşüm tesisinden p bertaraf merkezine taşınan tehlikeli ve zehirli atık miktarı, açılması durumunda k yetkili söküm tesisinden gelen komponent/materyallerin geri dönüşüm işlemi sonucu ortaya çıkan tehlikeli ve zehirli atık miktarına eşit olmalıdır.

- Kısıt [15], r geri dönüşüm tesisinden p bertaraf merkezine taşınan tehlikeli ve zehirli atık miktarı, açılması durumunda l yeniden işleme/parçalama tesisinden gelen komponent/materyallerin geri dönüşüm işlemi sonucu ortaya çıkan tehlikeli ve zehirli atık miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [16], r geri dönüşüm tesisinden m ikincil pazar/markete gönderilen n materyalinin miktarı, k yetkili söküm tesisinden gelen komponent/materyallerin geri dönüşüm işlemi sonucu ortaya çıkan kullanılabilir materyal miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [17], r geri dönüşüm tesisinden m ikincil pazar/markete gönderilen n materyalinin miktarı, l yeniden işleme/parçalama tesisinden gelen komponent/materyallerin geri dönüşüm işlemi sonucu ortaya çıkan kullanılabilir materyal miktarına eşit olmalıdır.
- Kısıt [18], i araç kullanıcısı tarafından j lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ÖTA miktarı, j lisanslı araç toplayıcısının kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [19], i araç kullanıcısı ve j lisanslı araç toplayıcılarından k yetkili söküm tesisine gönderilen toplam ÖTA miktarı, k yetkili söküm tesisi kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [20], k yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı, l yeniden işleme/parçalama tesisinin kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [21], k yetkili söküm tesisi ve l yeniden işleme/parçalama tesisinden r geridönüşüm tesisine gönderilen toplam n materyalinin miktarı, r geri dönüşüm tesisinin kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [22], l yeniden işleme/parçalama tesisi ve r geri dönüşüm tesisinden p elden çıkarma/bertaraf merkezine gönderilen toplam ASR'nin miktarı, p elden çıkarma/bertaraf merkezinin kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [23], karar değişkenleri negatif olmamalıdır.
- Kısıt [24], tesis açma kararı 0 ya da 1 değerini almalıdır.

Deterministik olarak kurulan bu modelde, bir taraftan sistemin kârı maksimize edilirken, diğer taraftan da tesislerinin sabit açılma maliyetleri ile ÖTA'ların ve ÖTA parçalarının toplama, taşıma, sökme, parçalama, geri dönüşüm ve bertaraf maliyetlerinin oluşturduğu toplam maliyet minimize edilmektedir.

4.4.2 Klasik doğrusal programlama modelinin çözümlenmesi

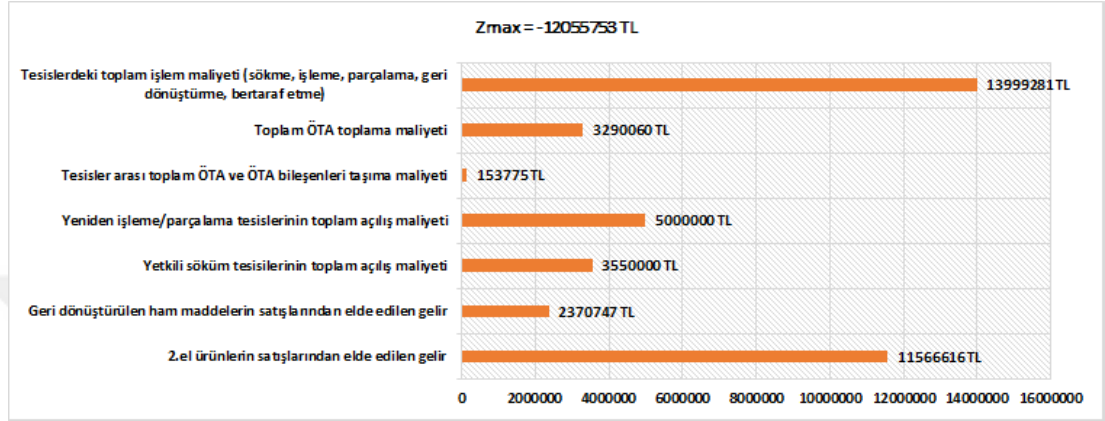
Kurulan deterministik model, 3,91 GB Ram hafızasına ve 1.60 Ghz işlemci hızına sahip bir bilgisayar üzerinde GAMS programı yardımıyla çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde çizelgeler ve şekiller aracılığı ile verilmiştir. Yapılan analiz sonucu yetkili söküm tesislerinden K2, K3, K4 ve K5'in, yeniden işleme/parçalama tesislerinden ise L2 ve L3'ün açılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Açılan tesislerin konumları Şekil 4.4 aracılığı ile gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Deterministik modele göre açılan tesisler

Kâr maksimizasyonu amacıyla kurulan ÖTA optimizasyon problemi için yapılan analiz sonucu maddi kazanç sağlanmadığı gözlenmiştir. Geri dönüşüm faaliyetlerinden elde edilen katma değer genellikle ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üç alanda değerlendirilmektedir. Çevresel ve sosyal faydanın daha çok ön planda tutulduğu geri dönüşüm faaliyetlerinde çoğu zaman kâr elde edilemesede normal bir ürün için harcan enerji, işçilik, vb. nedenlerden doğacak maliyetlerden ve bertaraf alanlarından tasarruf edilmesi sağlanmaktadır.

Kurulan modeldeki amaç fonksiyonu 6 bileşenden oluşmaktadır. Yapılan analiz sonucu sistemin çevresel ve sosyolojik faydalar dışında 12.055.753 TL'lik maddi zarar ettiği sonucuna varılmıştır. Tasarlanılan sistemin gelir ve maliyet kalemleri ise Şekil 4.5 aracılığı ile gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Deterministik amaç fonksiyonuna ait gelir ve maliyet kalemleri

Elde edilen sonuçlara göre amaç fonksiyonu toplam gelirin %86'sını, toplam maliyetin ise %46'sını oluşturmaktadır. Maliyet bölümündeki maksimum payı tesislerdeki toplam işlem maliyetleri oluştururken (%54), minimum maliyeti ise tesisler arası ÖTA ve ÖTA bileşenleri taşıma maliyetleri (%0,01) oluşturmaktadır. Maliyet bölümündeki diğer kalemlerinin oranları ise artan sırasıyla

- Toplam ÖTA toplama için %12,
- Yetkili söküm tesislerinin toplam açılış için %14,
- Yeniden işleme/parçalama tesislerinin toplam açılış için %19'dur.

Gelir kısmına maksimum katkıyı ise 2.'inci el ürünlerin satışlarından elde edilen gelir (%83) sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan zaman serileri analizi sonucu İstanbul ilindeki 13 bin 708 adet aracın geri dönüşüm ağına katıldığı varsayılmıştır. Bunlardan 9 bin 596'sı lisanslı araç toplama merkezlerinden J21, J28, J35, J41 ve J50'ye geri kalan 4 bin 112'si ise yetkili söküm tesislerinden K3 ve K5'e direk teslim

edilmiştir. İlçelerdeki araç kullanıcıları tarafından lisanslı araç toplayıcıları ve yetkili söküm tesislerine gönderilen detaylı ÖTA miktarlarına ise Çizelge 4.3'de yer verilmiştir.

Çizelge 4.3. İlçelerden LAT ve YST'ye gönderilen ÖTA miktarı

İlçeler	Araç kullanıcılarından LAT gönderilen ÖTA miktarı (ton) - X_{ij}					YST gönderilen ÖTA miktarı (ton) - Y_{ik}	
	J21	J28	J35	J41	J50	K3	K5
ADALAR	-	-	-	-	9,786	4,194	-
ARNAVUTKÖY	160,33	-	-	-	-	60,421	8,292
ATAŞEHİR	145,36	-	-	-	128,34	117,3	-
AVCILAR	-	-	-	-	284,82	122,07	-
BAĞCILAR	-	-	-	118,43	368,38	208,63	-
BAHÇELİEVLER	-	-	-	387,44	-	166,04	-
BAKIRKÖY	144,09	-	-	-	-	-	61,753
BAŞAKŞEHİR	-	-	-	239,55	-	-	102,67
BAYRAMPAŞA	-	-	-	176,94	-	-	75,831
BEŞİKTAŞ	122,66	-	-	-	-	-	52,569
BEYKOZ	-	-	-	162,21	-	-	69,519
BEYLİKDÜZÜ	-	-	-	192,66	-	-	82,57
BEYOĞLU	-	-	-	154,66	-	-	66,285
BÜYÜKÇEKMECE	-	-	-	153,64	-	-	65,847
ÇATALCA	44,655	-	-	-	-	-	19,138
ÇEKMEKÖY	-	-	-	155,22	-	-	66,52
ESENLER	-	-	-	296,18	-	-	126,94
ESENYURT	-	-	-	514,99	-	-	220,71
EYÜP	187,77	-	56,869	-	-	-	104,84
FATİH	-	-	270,31	-	-	-	115,85
GAZİOSMANPAŞA	-	-	323,74	-	-	-	138,75
GÜNGÖREN	-	-	193,37	-	-	-	82,872
KADIKÖY	-	-	292,99	-	-	-	125,57
KAĞITHANE	-	-	284,82	-	-	-	122,07
KARTAL	-	-	297,52	-	-	127,51	-
KÜÇÜKÇEKMECE	-	-	496,59	-	-	212,83	-
MALTEPE	-	-	317,51	-	-	136,08	-
PENDİK	-	-	-	448,06	-	192,02	-
SANCAKTEPE	-	-	244,24	-	-	104,68	-
SARIYER	-	-	222,03	-	-	95,155	-
SİLİVRİ	110,46	-	-	-	-	47,341	-
SULTANBEYLİ	176,86	33,478	-	-	-	90,146	-
SULTANGAZİ	-	340,14	-	-	-	145,78	-
ŞİLE	-	-	-	-	22,181	9,506	-
ŞİŞLİ	-	176,71	-	-	-	75,7356855	-
TUZLA	156,91	-	-	-	-	67,249	-
ÜMRANİYE	-	449,66	-	-	-	192,71	-
ÜSKÜDAR	346,91	-	-	-	-	148,68	-

ZEYTİNBURNU	-	-	-	-	186,49	79,926	-
Toplam	1596	1000	3000	3000	1000	2404	1708
Tesis Kapasiteleri	3000	3000	3000	3000	3000	4000	4000
Kapasite Kullanım Oranı	%53	%33	%100	%100	%33	%60	%43

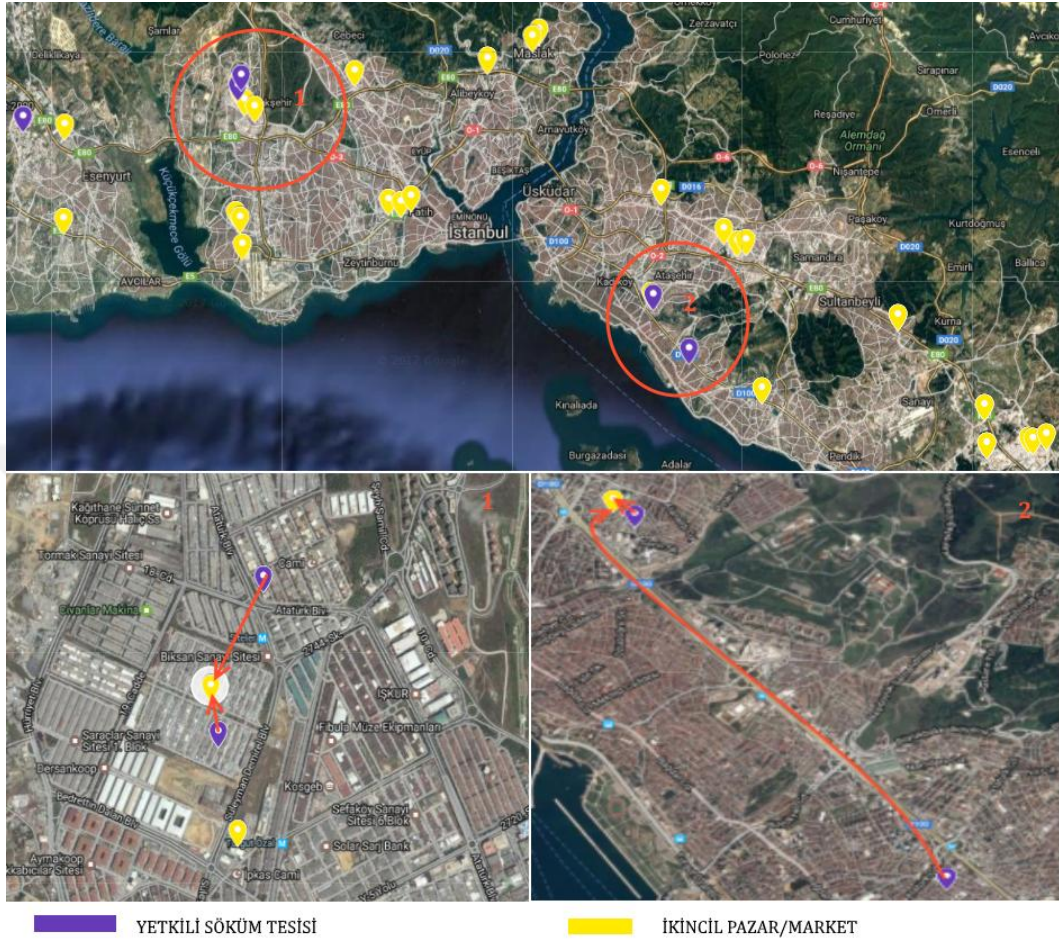
İlçelerdeki araç kullanıcıları tarafından lisanslı araç toplama merkezleri J21'e 1596, J28'e 1000, J35'e 3000, J41'e 3000 ve son olarak J50'ye toplam 1000 ton ağırlığında araç gönderilmiştir. Gönderilen hurda araç sayılarına bakıldığında lisanslı araç toplama merkezlerinden J35 ve J41'in kapasitelerini %100 oranında kullandığı görülmektedir. Geri kalan lisanslı araç toplama merkezleri ise kapasite büyüklükleri ile talebi rahatça karşılayabilmektedir. Araç kullanıcıları tarafından K3 ve K5 yetkili söküm tesislerine gönderilen hurda araç sayıları ise sırasıyla 2404 ve 1708'dir. Yani K3 yetkili söküm tesisi kapasitenin %60'ını, K5 yetkili söküm tesisi ise kapasitesinin %43'ünü araç kullanıcıları tarafından gönderilen hurda araçlar için kullanılmaktadır.

Çizelge 4.4. Lisanslı araç toplayıcılarından yetkili söküm tesislerine gönderilen ÖTA miktarı

LAT	LAT'dan YST'ye gönderilen ÖTA miktarı (ton) - W_{jk}		
	K2	K3	K4
J21	-	1596	-
J28	-	-	1000
J35	-	-	3000
J41	3000	-	-
J50	1000	-	-
Toplam	4000	1596	4000
Tesis Kapasiteleri	4000	4000	4000

Lisanslı araç toplama merkezlerinde toplanan 9 bin 596 adet hurda araç hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan yetkili söküm merkezlerine gönderilmiştir. 4000 ton kapasiteye sahip olan yetkili söküm tesislerinden K2, K3 ve K4, lisanslı araç toplama ve araç kullanıcıları tarafından gelen hurda araç sayıları ile kapasitelerinin tamamını kullanmaktadır. K5 yetkili söküm tesisinde ise halen kullanılabilir %57'lik (2292 ton) boş kapasite bulunmaktadır.

Yapılan analiz sonucu açılan yetkili söküm tesislerinden (K2, K3, K4, K5) ikincil pazarlara (M11, M13) 1850,658524 tonluk akışkan sıvı ve maddelerin satışının yapıldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.6. Yetkili söküm tesisleri ile ikincil pazar/marketler arasındaki akış

Yetkili söküm tesisleri ile ikincil pazar/marketler arasındaki akışlar Şekil 4.6, akış miktarları ise Çizelge 4.5 aracılığı ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Yetkili söküm tesisinden ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir komponent/materyaller ile miktarları

S _{ikm.} / (ton)	Yeniden Kullanılabilir komponent/materyaller	YST	İkincil Pazar/Marketler	
			M11	M13
	Akıcı Madde/Sıvılar	K2	540	-
	Akıcı Madde/Sıvılar	K3	-	540
	Akıcı Madde/Sıvılar	K4	-	540
	Akıcı Madde/Sıvılar	K5	230,66	-

Yeniden kullanımı sağlanamayan plastik ve proses polimerler, lastik, cam, akü, akıcı sıvı/maddeler ve hava yastıkları ise geri dönüştürülmek üzere K2, K3, K4 ve K5 yetkili söküm tesislerinden R1 geri dönüşüm tesisine gönderilmiştir.



Şekil 4.7. Yetkili söküm tesisleri ile geri dönüşüm tesisleri arasındaki akış

Yetkili söküm tesisleri ile geri dönüşüm tesisleri arasındaki akışlar Şekil 4.7, akış miktarları ise Çizelge 4.6 aracılığı ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Yetkili söküm tesisinden geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak olan komponent/materyal miktarı

A_{nkr} / (ton)	YST	GDT	Kullanılmayacak komponent ve materyaller						
			Plastik ve Proses Polimerler	Lastik	Cam	Akü	Akıcı Madde/Sıvılar	Patlamamış Hava Yastıkları	Diğer
	K2	R1	114,4	35,2	35,2	11,44	17,6	0,88	5,28
	K3	R1	114,4	35,2	35,2	11,44	17,6	0,88	5,28
	K4	R1	114,4	35,2	35,2	11,44	17,6	0,88	5,28
	K5	R1	48,87	15,04	15,04	4,887	7,518	0,376	2,255

Yukarıdaki çizelgeye göre açılan yetkili söküm tesislerinden R1 geri dönüşüm merkezine toplamda 753,9719911 ton bileşen geri dönüştürülmek üzere gönderilmiştir. R1 geri dönüşüm merkezine gönderilen ÖTA bileşenlerinden %52'si plastik ve proses polimerler, %16'i lastik, %16'i cam, %5,2'si akü, %8'i akıcı madde/sıvılar, %0,4'ü patlamamış hava yastıkları geri kalan %2,4'ü ise diğer malzemelerden oluşmaktadır. R1 geri dönüşüm merkezi 11000 tonluk kapasitesinin %7'sini yetkili söküm tesislerinden gelen bileşenler için kullanmaktadır.



11103,95114 tonluk hulk adı verilen ÖTA gövdesi ise parçalarına ayrıştırılmak üzere yetkili söküm tesislerinden yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilmiştir. Tesisler arası akışlar Şekil 4.8, akış oranları ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

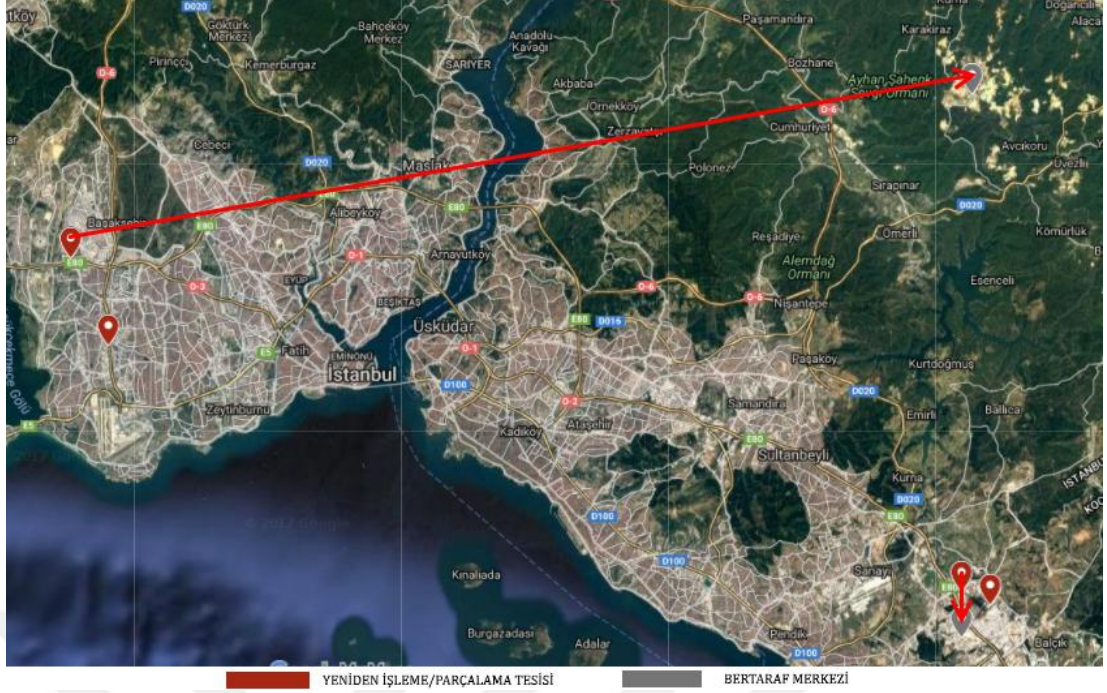
Çizelge 4.7. Yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen hulk miktarı

B _{kl} / (ton)	YST	Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi	
		L2	L3
	K2	-	3240
	K3	3240	-
	K4	3240	-
	K5	-	1383,95



Şekil 4.8. Yetkili söküm tesisleri ile yeniden işleme parçalama tesisleri arasındaki akış

Hulk adı verilen araç gövdesine uygulanan parçalama işlemi sonucunda ASR olarak bilinen 2054,230961 tonluk araç parça kalıntıları kontrollü bir şekilde elden çıkarılmak üzere Şekil 4.9'daki gibi bertaraf merkezlerine, demir ve demir içermeyen metaller (alüminyum, bakır, çinko ve kurşun) ise geri kazanılmak üzere Şekil 4.10'daki gibi geri dönüşüm tesisine gönderilmektedir.



Şekil 4.9. Yeniden işleme parçalama tesisleri ile bertaraf merkezleri arasındaki akış



Şekil 4.10. Yeniden işleme parçalama tesisleri ile geri dönüşüm tesisleri arasındaki akış

Tesisler arası akışlar ve akış oranları ise çizelgeler (Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9) aracılığı ile detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.8. Yeniden işleme/parçalama tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen ASR' nin miktarı

$E_{ip} / (ton)$	YİPT	BM	Bertaraf Merkezine Gönderilen ASR'nin Miktarı			
			Akü	Akıcı Madde/Sıvılar	Patlamamış Hava Yastıkları	Diğer
L2	P1		389,61	599,4	29,97	179,82
L3	P2		278,02	427,7	21,39	128,31

Çizelge 4.9. Yeniden işleme/parçalama tesisinden geri dönüşüm tesislerine gönderilen materyal miktarı

$G_{nir} / (ton)$	Geri dönüştürülebilir materyaller	Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi	GDT
			R1
Demirli Metal		L2	4717,87
		L3	3366,54
Demir İçermeyen Metal		L2	563,328
		L3	401,975

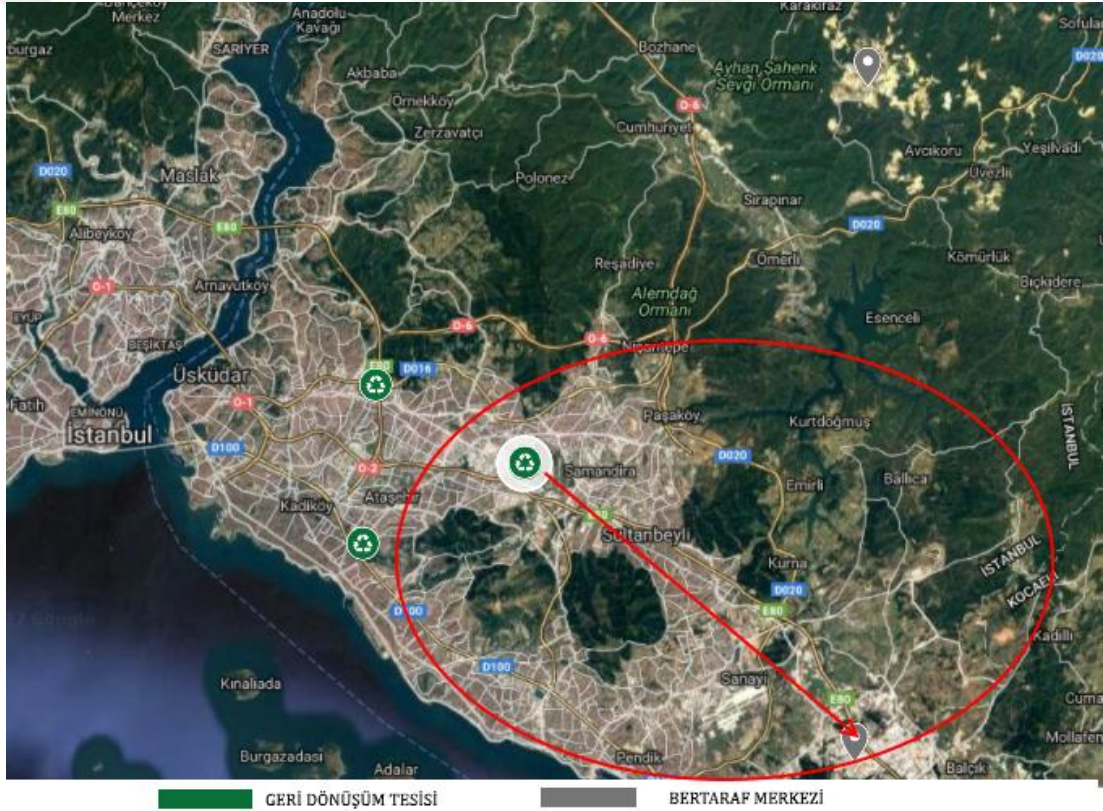
Yukarıdaki çizelgeye göre yeniden işleme/parçalama merkezlerinden R1 geri dönüşüm merkezine toplamda 9049,720181 ton ağırlığında demir ve demir içermeyen metal gönderilmektedir. Bu durumda R1 kapasitesinin %82'sini yeniden işleme/parçalama tesislerinden gelen metal bileşenler için kullanmaktadır. Sonuç olarak R1 geri dönüşüm tesisi yetkili söküm tesisleri ve yeniden işleme/parçalama merkezlerinden gelen bileşenler ile kapasitesini %89 oranında kullanmakta ve geriye halihazırda kullanılabilir %11'lik boş kapasite kalmaktadır.

Yetkili söküm tesislerinden ve yeniden işleme parçalama tesislerinden geri dönüşüm merkezine gönderilen komponent/materyaller, yeniden ham madde olarak kullanılmak üzere çeşitli işlemlerden geçirilmektedir.

Geri dönüştürülebilir ham maddeler Şekil 4.11'deki gibi satışı yapılmak üzere gibi ikincil pazarlara, dönüştürülemez tehlikeli ve zehirli atıklar ise imha edilmek üzere Şekil 4.12'deki gibi bertaraf merkezlerine gönderilmektedir.



Şekil 4.11. Geri dönüşüm tesisleri ile ikincil pazar/marketler arasındaki akış



Şekil 4.12. Geri dönüşüm tesisleri ile bertaraf merkezleri arasındaki akış

R1 geri dönüşüm tesisinde çeşitli işlemlerden geçirilerek elde edilen 8333,138346 tonluk ham madde satılmak üzere M29 ikincil marketine gönderilmektedir. Geri dönüşüm işlemleri sonucu ortaya çıkan 1470,553826 tonluk tehlikeli ve zehirli atık ise kontrollü bir şekilde imha edilmek üzere P1 bertaraf merkezine gönderilmiştir.

Tesisler arası akış ve akış oranlarına ise aşağıdaki çizelgeler (Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11) aracılığı ile detaylı bir şekilde yer verilmiştir.

Çizelge 4.10. Geri dönüşüm tesisinden ikincil pazara gönderilen ham madde miktarı

$F_{m_{ppm}}$ / (ton)	Geri Döştürülen Ham Madde	GDT	İkincil Pazar/Market
			M29
	Demirli Metal	R1	6871,75419
	Demir İçermeyen Metal	R1	820,507963
	Plastik ve Proses Polimerler	R1	333,2556201
	Lastik	R1	102,5401908
	Cam	R1	102,5401908
	Akü	R1	33,32556201
	Akıcı Madde/Sıvılar	R1	51,2700954
	Patlamamış Hava Yastıkları	R1	2,56350477
	Diğer	R1	15,38102862

Çizelge 4.11. Geri dönüşüm tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen bertaraf miktarı

F_{arp} / (ton)	Tehlikeli/Zehirli Atıklar	GDT	Bertaraf Merkezi
			P1
	Demirli Metal	R1	1212,662504
	Demir İçermeyen Metal	R1	144,7955229
	Plastik ve Proses Polimerler	R1	58,80981531
	Lastik	R1	18,09532779
	Cam	R1	18,09532779
	Akü	R1	5,880981531
	Akıcı Madde/Sıvılar	R1	9,047663893
	Patlamamış Hava Yastıkları	R1	0,452383195
	Diğer	R1	2,714299168

Kurulan deterministik model ile toplamda 13708 tonluk ömrünü tamamlamış aracın tersine lojistik ağına katıldığı varsayılmıştır. Modellenen ağ tasarımının çözümü sonucunda 8333,138346 ton ÖTA bileşeni geri döñüstürölmüş, ÖTA'lardan çıkan 3524,784787 tonluk tehlikeli ve zararlı atık ise kontrollü bir şekilde imha edilmek üzere bertaraf merkezine gönderilmiştir. Araçlardaki yeniden kullanılabilir bileşenler ve geri döñüstürölebilen ham maddeler ile toplamda 10183,79687 tonluk ÖTA bileşeninikincil pazar/marketlere satışı sağlanmaktadır.

4.4.3 Bulanık doğrusal programlama modellerinin kurulması ve çözümlenmesi

Genel anlamıyla bir tersine lojistik ağ tasarımı problemi modellenirken çok sayıda parametre ve değişken kullanılmaktadır. Fakat gerçek hayat koşullarında tersine lojistik ağ tasarımındaki bütün parametrelerin kesin olarak bilinmesi genelde mümkün olamamaktadır. Bilgi eksikliği, bilgiye ulaşamama, durgun olmayan ve karmaşık ekonomik ortamlar veya yapısal durumlar nedeniyle bazı parametreler belirsiz veya net olarak bilinmemektedir.

Çalışmamızın bu kısmında modelde yer alan bazı parametreler bulanık olarak alınmış ve bulanıklığın yer aldığı alanlara göre uygun çözüm yöntemleri kullanılarak bulanık modeller çözümlenmiştir.

BDP modellerinde DP modellerinden farklı olarak bulanıklığın bulunduğu kısımlar için $[0,1]$ aralığında tanımlı bir üyelik fonksiyonu tanımlanmaktadır. Tanımlanan üyelik fonksiyonları yardımıyla bulanık olan modeller, deterministik modellere dönüştürülerek gerekli çözümler yapılmaktadır.

4.4.3.1 Kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modelinin kurulması

Tesislerin kapasitelerine ilişkin kararlar, üst yönetim tarafından verilen stratejik ve uzun dönemli bir karar olması nedeniyle bazen bulanık olabilmektedir. Böyle durumlarda farklı kapasite değerlerinin problem çözümüne etkisinin araştırılıp, optimum kapasite kararının verilmesi gerekebilir.

Çalışmanın bu kısmında ilk olarak deterministik (klasik) olarak kurulan model, sağ taraf sabitlerinden kapasite kısıtının bulanık olarak ele alındığı BDP modeline dönüştürülmüştür. Problemin çözümünde ise Verdegay yaklaşımı (Verdegay, 1982) kullanılmıştır.

Varsayımlar:

Önerilen modelde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

1. Klasik modeldeki 4. madde hariç tüm varsayımlar geçerlidir.
2. Klasik modeldeki 4. maddenin üst yönetimden kaynaklı stratejik kararlar nedeniyle değişkenlik gösterebileceği varsayılmıştır.

Tesis kapasitelerinin bulanık olarak alındığı modelin bulanık olmayan parametreleri, amaç fonksiyonu, akış kısıtları ve negatif olmama kısıtları deterministik modeldeki ile aynıdır.

Eklenen değişken:

λ : Bulanık keşisim kümesinin üyelik derecesi

Bulanık kapasite parametreleri:

\overline{cap}_j : j lisanslı araç toplayıcısının bulanık kapasitesi

\overline{cap}_k : k yetkili sökülüm tesisinin bulanık kapasitesi

\overline{cap}_l : l yeniden işleme/parçalama tesisinin bulanık kapasitesi

\overline{cap}_{nr} : n komponent/materyal için r geri dönüşüm tesisinin bulanık kapasitesi

\overline{cap}_p : p elden çıkarma/bertaraf merkezinin kapasitesi (ton)

Tesis kapasitelerinin bulanık olarak alındığı model aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

Bulanık Kapasite Kısıtları

$$\sum_i X_{ij} \leq \overline{cap}_j \quad \forall j \quad [18]$$

$$\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} \leq \overline{cap}_k \cdot e_k \quad \forall k \quad [19]$$

$$\sum_k B_{kl} \leq \overline{cap}_l \cdot e_l \quad \forall l \quad [20]$$

$$\sum_k A_{nkr} + \sum_l G_{nlr} \leq \overline{cap}_{nr} \quad \forall r \quad [21]$$

$$\sum_l E_{lp} + \sum_r F_{nrp} \leq \overline{cap}_p \quad \forall p \quad [22]$$

Yukarıda verilen sağ taraf sabiti bulanık modelin amaç fonksiyonu [1-6] ve akış kısıtları [7-17] deterministik modeldeki amaç fonksiyonu ve akış kısıtları ile aynı olmakla birlikte yorumları da değişmemektedir.

Ancak kapasite kısıtlarının bulanıklaştırılması sonucu [18-22] kısıtları için yorumlar aşağıdaki gibidir;

- Kısıt [18], i araç kullanıcısı tarafından j lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ÖTA miktarı, j lisanslı araç toplayıcısının bulanık kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [19], i araç kullanıcısı ve j lisanslı araç toplayıcılarından k yetkili söküm tesisine gönderilen toplam ÖTA miktarı, k yetkili söküm tesisinin bulanık kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [20], k yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı, l yeniden işleme/parçalama tesisinin bulanık kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [21], k yetkili söküm tesisi ve l yeniden işleme/parçalama tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen toplam n materyalinin miktarı, r geri dönüşüm tesisinin bulanık kapasitesini aşmamalıdır.
- Kısıt [22], l yeniden işleme/parçalama tesisi ve r geri dönüşüm tesisinden p elden çıkarma/bertaraf merkezine gönderilen toplam ASR'nin miktarı, p elden çıkarma/bertaraf merkezinin bulanık kapasitesini aşmamalıdır.

Yukarıdaki matematiksel model sadece sağ taraf sabitlerinde bulanıklık içerdiği için problem Verdegay yaklaşımı ile çözümlenmiştir.

Verdegay'ın önerdiği, bulanık kısıtlara ait üyelik fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir (Lai ve Hwang, 1992):

$$\mu_i = \begin{cases} 1, & (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}, & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0, & (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases} \quad (3.13)$$

Verdegay yaklaşımında, bulanık olan değişkenlerin sabit değerlerine karşılık mümkün tolerans limitleri (p_i) karar vericiden istenmektedir. Bu çalışmada

bulanık olan 5 kapasite kısıtına ait tolerans limitleri, her bir sağ taraf sabiti için %10 olarak kabul edilmiştir.

Verdegay tarafından önerilen üyelik fonksiyonu yardımıyla bulanık olan doğrusal programlama modeli aşağıdaki parametrik doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür.

Bulanık Doğrusal Programlama
Modeli

$$\begin{aligned}\sum_i X_{ij} &\leq \overline{cap}_j \\ \sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} &\leq \overline{cap}_k \cdot e_k \\ \sum_k B_{kl} &\leq \overline{cap}_l \cdot e_l \\ \sum_k A_{nkr} + \sum_l G_{nlr} &\leq \overline{cap}_{nr} \\ \sum_l E_{lp} + \sum_r F_{nrp} &\leq \overline{cap}_p\end{aligned}$$

Parametrik Doğrusal Programlama
Modeli

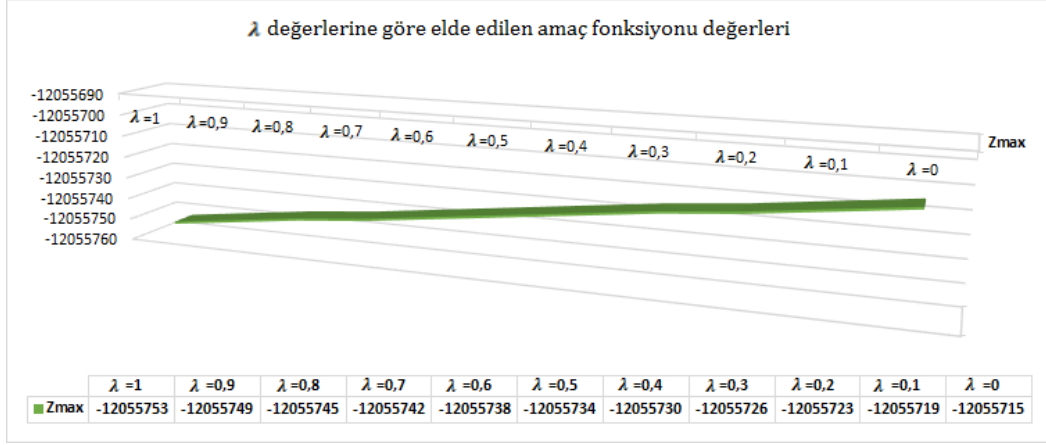
$$\begin{aligned}\sum_i X_{ij} &\leq cap_j + p_j(1 - \lambda) \\ \sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} &\leq cap_k \cdot e_k + p_k(1 - \lambda) \\ \sum_k B_{kl} &\leq cap_l \cdot e_l + p_l(1 - \lambda) \\ \sum_k A_{nkr} + \sum_l G_{nlr} &\leq cap_{nr} + p_r(1 - \lambda) \\ \sum_l E_{lp} + \sum_r F_{nrp} &\leq cap_p + p_p(1 - \lambda)\end{aligned}$$

Elde edilen parametrik doğrusal programlama modeli GAMS programı yardımıyla farklı $\lambda = \{0.1, 0.2, 0.3, \dots, 0.9, 1\}$ değerleri için ayrı ayrı çözümlenerek optimum değerler elde edilmiştir.

4.4.3.2 Kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modelinin çözümlenmesi

Sağ taraf sabitleri bulanık olarak kurulan model GAMS programı yardımıyla 0-1 aralığındaki tüm λ değerleri için ayrı ayrı çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar deterministik modeldeki gibi detaylı bir şekilde çizelgeler aracılığı ile verilmiştir.

Verdegay yaklaşımı kullanılarak çözümlenen bulanık modelin amaç fonksiyonuna ait değerler (0-1 aralığındaki tüm λ değerleri için) TL cinsinden Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı λ değerleri için elde edilen amaç fonksiyonu değerleri

λ 'nın 1'e eşit olduğu durum, bulanık modelin deterministik modele eşit olduğu durumdur. λ , 0 değerine yaklaştıkça modeldeki bulanıklık giderek artmaktadır. "0" olduğunda ise modelin tamamen bulanık olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.13'e göre modelin tamamen bulanık olduğu durumda amaç fonksiyonu maksimum değerine ulaşmaktadır.

Verdegay yaklaşımı kullanılarak çözümlenen bulanık modeldeki tesis açma kararları ile klasik modeldeki tesis açma kararları tüm λ değerleri için aynıdır. Her iki yöneme göre de yetkili söküm tesislerinden K2, K3, K4 ve K5, yeniden işleme/parçalama tesislerinden ise L2 ve L3'ün açılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.12. Verdegay yaklaşımına göre tesis açma kararları

Tesis Açma Kararı	Yetkili Söküm tesisi				
	K1	K2	K3	K4	K5
	0	1	1	1	1
Tesis Açma Kararı	Yeniden İşleme Parçalama Tesisi				
	L1	L2	L3	L4	
	0	1	1	0	

Çizelge 4.12'de yer alan "1" değerleri açılmasına karar verilen tesisleri, "0" değerleri ise açılması uygun olmayan tesisleri işaret etmektedir.

Kurulan tersine lojistik ağının aktörleri arasında taşınmakta olan ÖTA bileşenleri ve bileşenlerin akış oranları çizelge 4.13 ve çizelge 4.19 arasındaki tablolar yardımıyla detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.13. Yetkili söküm tesisinden geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak olan komponent/materyal miktarı

		Kullanılmayacak komponent ve materyaller								
		λ	YST	GDT	Plastik ve Proses Polimer	Lastik	Cam	Akü	Akıcı Madde/Sıvılar	Patlamamış Hava Yastıkları
A _{nr} / (ton)	$\lambda = 1$	K2	R1	114,4	35,2	35,2	11,44	17,6	0,88	5,28
		K3	R1	114,4	35,2	35,2	11,44	17,6	0,88	5,28
		K4	R1	114,4	35,2	35,2	11,44	17,6	0,88	5,28
		K5	R1	48,865	15,04	15,04	4,887	7,5178	0,3759	2,26
	$\lambda = 0,9$	K2	R1	115,54	35,55	35,55	11,554	17,776	0,8888	5,33
		K3	R1	115,54	35,55	35,55	11,554	17,776	0,8888	5,33
		K4	R1	115,54	35,55	35,55	11,554	17,776	0,8888	5,33
		K5	R1	45,433	13,98	13,98	4,5433	6,9897	0,34949	2,1
	$\lambda = 0,8$	K2	R1	116,69	35,9	35,9	11,669	17,952	0,8976	5,39
		K3	R1	116,69	35,9	35,9	11,669	17,952	0,8976	5,39
		K4	R1	116,69	35,9	35,9	11,669	17,952	0,8976	5,39
		K5	R1	42,001	12,92	12,92	4,2001	6,4618	0,3231	1,94
	$\lambda = 0,7$	K2	R1	117,83	36,26	36,26	11,783	18,128	0,9064	5,44
		K3	R1	117,83	36,26	36,26	11,783	18,128	0,9064	5,44
		K4	R1	117,83	36,26	36,26	11,783	18,128	0,9064	5,44
		K5	R1	38,569	11,87	11,87	3,8569	5,9338	0,2967	1,78
	$\lambda = 0,6$	K2	R1	118,98	36,61	36,61	11,898	18,304	0,9152	5,49
		K3	R1	118,98	36,61	36,61	11,898	18,304	0,9152	5,49
		K4	R1	118,98	36,61	36,61	11,898	18,304	0,9152	5,49
		K5	R1	35,137	10,81	10,81	3,5137	5,4058	0,2702	1,62
	$\lambda = 0,5$	K2	R1	120,12	36,96	36,96	12,012	18,48	0,924	5,54
		K3	R1	120,12	36,96	36,96	12,012	18,48	0,924	5,54
		K4	R1	120,12	36,96	36,96	12,012	18,48	0,924	5,54
		K5	R1	31,705	9,76	9,76	3,1705	4,8778	0,2439	1,46
	$\lambda = 0,4$	K2	R1	121,26	37,31	37,31	12,126	18,656	0,9328	5,6
		K3	R1	121,26	37,31	37,31	12,126	18,656	0,9328	5,6
		K4	R1	121,26	37,31	37,31	12,126	18,656	0,9328	5,6
		K5	R1	28,273	8,7	8,7	2,827	4,35	0,2175	1,3
	$\lambda = 0,3$	K2	R1	122,41	37,66	37,66	12,241	18,832	0,9416	5,65
		K3	R1	122,41	37,66	37,66	12,241	18,832	0,9416	5,65
		K4	R1	122,41	37,66	37,66	12,241	18,832	0,9416	5,65
		K5	R1	24,84	7,644	7,644	2,484	3,822	0,1911	1,17
	$\lambda = 0,2$	K2	R1	123,55	38,02	38,02	12,355	19,008	0,9504	5,7
		K3	R1	123,55	38,02	38,02	12,355	19,008	0,9504	5,7
		K4	R1	123,55	38,02	38,02	12,355	19,008	0,9504	5,7
		K5	R1	21,409	6,588	6,588	2,141	3,294	0,1647	0,99
	$\lambda = 0,1$	K2	R1	124,7	38,37	38,37	12,47	19,184	0,9592	5,76
		K3	R1	124,7	38,37	38,37	12,47	19,184	0,9592	5,76
		K4	R1	124,7	38,37	38,37	12,47	19,184	0,9592	5,76
		K5	R1	17,977	5,532	5,532	1,798	2,766	0,1383	0,83
$\lambda = 0$	K2	R1	125,84	38,72	38,72	12,584	19,36	0,968	5,81	
	K3	R1	125,84	38,72	38,72	12,584	19,36	0,968	5,81	
	K4	R1	125,84	38,72	38,72	12,584	19,36	0,968	5,81	
	K5	R1	14,545	4,476	4,476	1,4545	2,238	0,112	0,67	

Çizelge 4.14. Yetkili söküm tesisinden ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir komponent/materyal miktarı

$S_{nkm} / (ton)$			λ değerleri					
Yeniden Kullanılabilir komponent/materyaller	YST	İkincil Pazar/Market	$\lambda = 1$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,5$
			Akıcı Madde/Sıvılar	K2	M11	540	545,4	550,8
Akıcı Madde/Sıvılar	K3	M13	540	545,4	550,8	556,2	561,6	567
Akıcı Madde/Sıvılar	K4	M13	540	545,4	550,8	556,2	561,6	567
Akıcı Madde/Sıvılar	K5	M11	230,7	214,5	198,3	182,1	165,9	149,7
			$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0$	
Akıcı Madde/Sıvılar	K2	M11	572,4	577,8	583,2	588,6	594	
Akıcı Madde/Sıvılar	K3	M13	572,4	577,8	583,2	588,6	594	
Akıcı Madde/Sıvılar	K4	M13	572,4	577,8	583,2	588,6	594	
Akıcı Madde/Sıvılar	K5	M11	133,5	117,3	101,1	84,7	68,7	

Çizelge 4.15. Yetkili söküm tesisinden yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı

$B_{kl} / (ton)$		λ					
YST	YİPT	$\lambda = 1$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,5$
K2	L3	3240	3272,4	3304,8	3337,2	3369,6	3402
K3	L2	3240	3272,4	3304,8	3337,2	3369,6	3402
K4	L2	3240	3272,4	3304,8	3337,2	3369,6	3402
K5	L3	1383,95	1286,75	1189,55	1092,35	995,15	897,95
YST	YİPT	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0$	
K2	L3	3434,4	3466,8	3499,2	3499,2	3564	
K3	L2	3434,4	3466,8	3499,2	3499,2	3564	
K4	L2	3434,4	3466,8	3499,2	3499,2	3564	
K5	L3	800,75	703,55	606,35	606,35	411,95	

Çizelge 4.16. Yeniden işleme/parçalama tesisinden geri dönüşüm tesislerine gönderilen materyal miktarı

$G_{nkr} / (ton)$			λ					
YİPT	GDT	Geri Dönüştürülebilir Materyaller	$\lambda = 1$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,5$
			L2	R1	Demirli Metal	4717,87	4765,05	4812,23
L3	R1	3366,54	3319,37	3272,19		3225,01	3177,83	3130,65
L2	R1	Demir İçermeyen Metal	563,328	568,96	574,59	580,23	585,86	591,49
L3	R1		401,98	396,34	390,71	385,08	379,44	373,81
			$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0$	
L2	R1	Demirli Metal	5000,94	5048,12	5095,3	5142,48	5189,66	
L3	R1		3083,47	3036,29	2989,11	2941,94	2894,76	
L2	R1	Demir İçermeyen Metal	597,13	602,76	608,39	614,028	619,66	
L3	R1		368,18	362,54	356,91	351,28	345,64	

Çizelge 4.17. Yeniden işleme/parçalama tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen ASR' nin miktarı

$E_{lp} /(\text{ton})$			Bertaraf_Merkezine Gönderilen ASR'nin Miktarı			
λ	YİPT	BM	Akü	Akıcı Madde/Sıvılar	Patlamamış Hava Yastıkları	Diğer
$\lambda =1$	L2	P1	389,61	599,4	29,97	179,82
	L3	P2	278,02	427,72	21,39	128,31
$\lambda =0,9$	L2	P1	393,51	605,39	30,27	181,62
	L3	P2	274,12	421,72	21,09	126,52
$\lambda =0,8$	L2	P1	397,40	611,39	30,57	183,42
	L3	P2	270,22	415,73	20,79	124,72
$\lambda =0,7$	L2	P1	401,3	617,38	30,87	185,21
	L3	P2	266,33	409,73	20,49	122,92
$\lambda =0,6$	L2	P1	405,19	623,38	31,17	187,01
	L3	P2	262,43	403,74	20,19	121,12
$\lambda =0,5$	L2	P1	409,09	629,37	31,47	188,81
	L3	P2	258,53	397,75	19,89	119,32
$\lambda =0,4$	L2	P1	412,99	635,36	31,77	190,61
	L3	P2	254,64	391,75	19,59	117,53
$\lambda =0,3$	L2	P1	416,88	641,36	32,07	192,41
	L3	P2	250,74	385,76	19,29	115,73
$\lambda =0,2$	L2	P1	420,78	647,35	32,37	194,21
	L3	P2	246,85	379,76	18,99	113,93
$\lambda =0,1$	L2	P1	424,67	653,35	32,67	196
	L3	P2	242,95	373,77	18,69	112,13
$\lambda =0$	L2	P1	428,57	659,34	32,97	197,8
	L3	P2	239,05	367,78	18,39	110,33

Çizelge 4.18. Geri dönüşüm tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen bertaraf miktarı

$F_{nrp} /(\text{ton})$		λ					
Tehlikeli/Zehirli Atıklar	GDT-BM	$\lambda =1$	$\lambda =0,9$	$\lambda =0,8$	$\lambda =0,7$	$\lambda =0,6$	$\lambda =0,5$
Demirli Metal	R1 -P1	1212,66	1212,66	1212,66	1212,66	1212,66	1212,66
Demir İçermeyen Metal	R1 -P1	144,796	144,796	144,796	144,796	144,796	144,796
Plastik ve Proses Polimerler	R1 -P1	58,8098	58,8098	58,8098	58,8098	58,8098	58,8098
Lastik	R1 -P1	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953
Cam	R1 -P1	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953
Akü	R1 -P1	5,881	5,881	5,881	5,881	5,881	5,881
Akıcı Madde/Sıvılar	R1 -P1	9,048	9,048	9,048	9,048	9,048	9,048
Patlamamış Hava Yastıkları	R1 -P1	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452
Diğer	R1 -P1	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714
		$\lambda =0,4$	$\lambda =0,3$	$\lambda =0,2$	$\lambda =0,1$	$\lambda =0$	
Demirli Metal	R1 -P1	1212,66	1212,66	1212,66	1212,66	1212,66	
Demir İçermeyen Metal	R1 -P1	144,796	144,796	144,796	144,796	144,796	
Plastik ve Proses Polimerler	R1 -P1	58,8098	58,8098	58,8098	58,8098	58,8098	
Lastik	R1 -P1	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953	
Cam	R1 -P1	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953	18,0953	
Akü	R1 -P1	5,881	5,881	5,881	5,881	5,881	
Akıcı Madde/Sıvılar	R1 -P1	9,048	9,048	9,048	9,048	9,048	
Patlamamış Hava Yastıkları	R1 -P1	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	
Diğer	R1 -P1	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	

Çizelge 4.19. Geri dönüşüm tesisinden ikincil pazara gönderilen ham madde miktarı

$Fm_{nrm} / (ton)$		λ					
Tehlikeli/Zehirli Atıklar	GDT-Market	$\lambda = 1$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,5$
Demirli Metal	R1 -M29	6871,75	6871,75	6871,75	6871,75	6871,75	6871,75
Demir İçermeyen Metal	R1 -M29	820,508	820,508	820,508	820,508	820,508	820,508
Plastik ve Proses Polimerler	R1 -M29	333,256	333,256	333,256	333,256	333,256	333,256
Lastik	R1 -M29	102,54	102,54	102,54	102,54	102,54	102,54
Cam	R1 -M29	102,54	102,54	102,54	102,54	102,54	102,54
Akü	R1 -M29	33,326	33,326	33,326	33,326	33,326	33,326
Akıcı Madde/Sıvılar	R1 -M29	51,27	51,27	51,27	51,27	51,27	51,27
Patlamamış Hava Yastıkları	R1 -M29	2,564	2,564	2,564	2,564	2,564	2,564
Diğer	R1 -M29	15,381	15,381	15,381	15,381	15,381	15,381
		$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0$	
Demirli Metal	R1 -M29	6871,75	6871,75	6871,75	6871,75	6871,75	
Demir İçermeyen Metal	R1 -M29	820,508	820,508	820,508	820,508	820,508	
Plastik ve Proses Polimerler	R1 -M29	333,256	333,256	333,256	333,256	333,256	
Lastik	R1 -M29	102,54	102,54	102,54	102,54	102,54	
Cam	R1 -M29	102,54	102,54	102,54	102,54	102,54	
Akü	R1 -M29	33,326	33,326	33,326	33,326	33,326	
Akıcı Madde/Sıvılar	R1 -M29	51,27	51,27	51,27	51,27	51,27	
Patlamamış Hava Yastıkları	R1 -M29	2,564	2,564	2,564	2,564	2,564	
Diğer	R1 -M29	15,381	15,381	15,381	15,381	15,381	

Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.19 arasındaki tüm çizelgeler incelendiğinde tesisler arası taşınan komponent/metaryal türlerinin değişmediği, ancak miktarlarının “ λ ” parametresinin aldığı değerlere göre küçük de olsa farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Yapılan analizden çıkarılan başka bir sonuç da geri dönüşüm tesisinden bertaraf merkezine gönderilen bertaraf miktarı ile ikincil pazara gönderilen ham madde miktarlarına “ λ ” parametresinin etki etmediği ve akış miktarlarının farklı “ λ ” değerleri için sabit değerleri aldığı yönündedir.

Tesislere ait kapasitelerin, taleplerin çok üzerinde olması nedeniyle kurulan iki model (deterministik model-kısıtları bulanık olan model) arasındaki farkın çok fazla olduğu söylenememektedir. Tesis kapasiteleri talep miktarına yaklaştığında bulanık modelin ne kadar etkili olduğu daha net bir şekilde gözlemlenebilecektir.

4.3.3.3 Amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modelinin kurulması

Kapasitelerdeki belirsizlik ağırlık maliyeti açısından performansını çok etkilemediğinden bu aşamada kapasite parametreleri deterministik olarak değerlendirilmiştir. Ancak İstanbul ilindeki ömrünü tamamlamış araç sayısı ile ilgili son 10 yılın verilerine bakıldığında varyansının çok geniş olduğu gözlenmektedir. Bunun yanı sıra son iki yıl açıklanamayan hızlı bir düşüş söz konudur. Açıklanamayan bu düşüşün sebebinin tutulan kayıtların yeterince güvenilir olmamasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Bu nedenle çalışmanın bu kısmında araç kullanıcıları tarafından gönderilen ÖTA miktarları (Z_i) yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı bulanık olarak ele alınmıştır. Daha önceki bölümlerde gerçekleştirilen deterministik model yeniden kurgulanarak amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık olan BDP modeline dönüştürülmüştür.

Varsayımlar:

Önerilen modelde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

1. Deterministik modeldeki 7.'inci madde hariç tüm varsayımlar geçerlidir.
2. Bu modelde deterministik modeldeki varsayımlardan farklı olarak araç kullanıcıları tarafından gönderilen ÖTA miktarlarının belirsiz (bulanık) olduğu varsayılmıştır.

Araç kullanıcıları tarafından gönderilen ÖTA miktarının bulanık olarak ele alındığı model aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

Eklenen değişken:

λ : Bulanık kesişim kümesinin üyelik derecesi

Bulanık parametreler:

\tilde{Z}_i : i araç kullanıcısı tarafından gönderilen bulanık ÖTA miktarı (ton)

Bulanık amaç fonksiyonunun ve bulanık kısıtların genel gösterimi aşağıdaki gibidir:

Bulanık Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \widetilde{Zmax} = & \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot S1_n + \sum_n \sum_r \sum_m Fm_{nrm} \cdot S2_n - (\sum_l f_l \cdot e_l + \sum_k f_k \cdot e_k + \\ & \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot t \cdot d_{jk} + \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot t \cdot d_{kr} + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot t \cdot d_{kl} + \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot t \cdot d_{lr} \\ & + \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot t \cdot d_{km} + \sum_l \sum_p E_{lp} \cdot t \cdot d_{lp} + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot t \cdot d_{rp} + \\ & \sum_n \sum_r \sum_m Fm_{nrm} \cdot t \cdot d_{rm} + \\ & \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot cc_j + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot cc_k + \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot cc_k + \\ & \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot dc_k + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot dc_k + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot sc_l + \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot rc_r + \\ & \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot rc_r + \sum_l \sum_p E_{lp} \cdot lc_p + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot lc_p) \end{aligned}$$

Bulanık Kısıtlar:

$$\sum_j X_{ij} + \sum_k Y_{ik} \geq \widetilde{Z}_i \quad \forall i \quad [7]$$

Kısıtlardaki bulanıklığın amaç fonksiyonuna doğrudan etki etmesi nedeniyle model simetrik bir özellik göstermektedir. Bu nedenle problem bulanık doğrusal programlama yöntemlerinden Zimmermann yaklaşımı kullanılarak çözümlenmiştir.

BDP problemlerinde ilk olarak bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar için bulanık üyelik fonksiyonlarının tanımlanması gerekir.

Zimmermann tarafından önerilen ve çalışmamızda kurulan modele uygun olan bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlara ait üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$cx \lesseqgtr b_0$ şeklindeki bulanık amacın üyelik fonksiyonu:

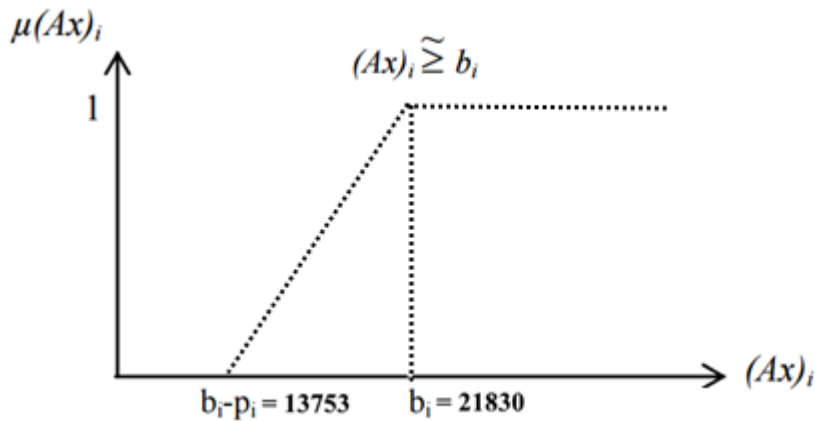
$$\mu_o(x) = \begin{cases} 1, & cx > b_0 \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_0 - cx}{p_0}, & b_0 - p_0 \leq cx \leq b_0 \text{ ise} \\ 0, & cx < b_0 - p_0 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.8)$$

$(Ax)_i \gtrsim b_i$ Şeklindeki bulanık kısıtlayıcının üyelik fonksiyonu

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & (Ax)_i > b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{p_i}, & b_i - p_i \leq (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \\ 0, & (Ax)_i < b_i - p_i \text{ ise} \end{cases} \quad (3.22)$$

Zimmermann yaklaşımında, amaç katsayıları (c), teknoloji katsayıları (A), kaynak kısıtları (b_i) ve toleransları (p_i) ile birlikte amaç (b_0) ve amaçla ilgili tolerans (p_0) değerlerinin baştan verildiği varsayılmıştır (Lai ve Hwang, 1992). Çözüm aşamasında bulanık amaç ve bulanık kısıtlar ayırt edilmeksizin hesaba katılmakta ve tümü $[b_i, b_i - p_i]$ aralığında değişmektedir.

Bu çalışmada BDP modelinin Zimmermann yaklaşımı ile çözülebilmesi için amaç fonksiyonuna ait istek seviyesi ve tolerans değerleri sırasıyla $b_0 = -12055753$ ve $p_0 = 6027876$ olacak şekilde belirlenmiştir. Bulanık kısıtlara ait kaynak kısıtı b_1 ise İstanbul ili için son 10 yıla ait trafikten kaydı silinen otomobil sayılarının ortalaması olarak belirlenmiş ve 21830 olarak modele dahil edilmiştir. Bulanık kısıtlara ait tolerans değeri ise (p_1) 8077 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.14. $(Ax)_i \gtrsim b_i$ şeklindeki bulanık kısıtı temsil eden üyelik fonksiyonu

Verilen üyelik fonksiyonlarına λ değişkenin eklenmesi ile yukarıdaki BDP modeli aşağıdaki KDP modeline dönüşmektedir. Ayrıca kısıtlara ilave olarak amaç fonksiyonunun bulanık olması nedeniyle modele bir kısıt daha eklenmektedir. Bulanık olmayan diğer kısıtlar ise modele olduğu gibi dâhil edilmektedir.

Bulanık amaç fonksiyonu

$$\text{Max (Z)} = \lambda$$

Bulanık kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot S1_n + \sum_n \sum_r \sum_m Fm_{nrm} \cdot S2_n - (\sum_l f_l \cdot e_l + \sum_k f_k \cdot e_k + \\ & \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot t \cdot d_{jk} + \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot t \cdot d_{kr} + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot t \cdot d_{kl} + \\ & \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot t \cdot d_{lr} + \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot t \cdot d_{km} + \\ & \sum_l \sum_p E_{lp} \cdot t \cdot d_{lp} + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot t \cdot d_{rp} + \\ & \sum_n \sum_r \sum_m Fm_{nrm} \cdot t \cdot d_{rm} + \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot cc_j + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot cc_k + \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot cc_k + \\ & \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot dc_k + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot dc_k + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot sc_l + \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot rc_r + \\ & \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot rc_r + \sum_l \sum_p E_{lp} \cdot lc_p + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot lc_p) \geq b_0 - p_0(1 - \lambda) \end{aligned}$$

$$\sum_j X_{ij} + \sum_k Y_{ik} \geq b_i - p_i(1 - \lambda)$$

4.3.3.4 Amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modelinin çözümlenmesi

Araç kullanıcıları tarafından geri dönüşüm için gönderilen hurda araç sayısının bulanık olarak ele alındığı model GAMS programı yardımıyla çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde çizelgeler aracılığı ile verilmiştir.

Problemin GAMS paket programı yardımıyla çözümlenmesi sonucu amaç fonksiyonunun optimum değeri $\lambda = 0,63$ olarak bulunmuştur. Bu değer, elde edilen sonuçların optimal karar kümesine olan üyelik derecesidir.

Bulunan optimum λ değeri yerine konulduğunda elde edilen amaç fonksiyonu değeri -14270778 TL olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan Zimmermann yaklaşımına göre, bulanık amaç fonksiyonu karar vericiden sağlanan bulanık bir erişim düzeyi ile bulanık bir kısıtlayıcı olarak ifade edilebileceğinden sistemin toplam kârının -14270777,15 TL ve civarında isteyeceği varsayılmıştır.

Modelin amaç fonksiyonunu oluşturan gelir ve maliyet kalemleri Şekil 4.15 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık modele ait maliyet kalemleri

Zimmermann yaklaşımının çıktılarında elde edilen sonuçlara göre amaç fonksiyonu değeri toplam gelirin %74'ünü, toplam maliyetin ise %43'ünü oluşturmaktadır. Maliyet bölümündeki maksimum payı tesislerdeki toplam işlem maliyetleri oluştururken (%58), minim maliyeti ise tesisler arası ÖTA ve

ÖTA bileşenleri taşıma maliyetleri (%0,01) oluşturmaktadır. Maliyet bölümündeki diğer kalemlerinin oranları ise artan sırasıyla

- Yetkili sökülme tesislerinin toplam açılışı için %13,
- Toplam ÖTA toplama için %14,
- Yeniden işleme/parçalama tesislerinin toplam açılışı için %15'dir

Gelir kısmına maksimum katkıyı ise deterministik modelde olduğu gibi 2.'inci el ürünlerin satışlarından elde edilen gelir (%83) yapmaktadır.

Zimmermann yaklaşımına göre çözümlenen model sonuçlarının, daha önce çözümlenen her iki yöntemin (deterministik ve sağ taraf sabitleri bulanık olarak kurulan modellerin) sonuçlarına göre farklılık gösterdiği gözlenmiştir.

Analiz çıktılarına göre yetkili sökülme tesislerinin tamamının, yeniden işleme/parçalama tesislerinden ise L1 ve L3'ün açılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.20. Zimmermann yaklaşımına göre tesis açma kararları

Tesis Açma Kararı	Yetkili Söküm tesisi				
	K1	K2	K3	K4	K5
	1	1	1	1	1
Tesis Açma Kararı	Yeniden İşleme Parçalama Tesisi				
	L1	L2	L3	L4	
	1	0	1	0	

Kurulan bulanık optimizasyon modeline göre ilçelerdeki araç kullanıcılarından lisanslı araç toplayıcılarına (J2, J3, J5, J6, J8, J9, J11, J12, J51) 13 bin 203, yetkili sökülme tesislerine (K1, K2, K4) ise 5 bin 659 olmak üzere toplamda 18 bin 862 aracın geri dönüştürülmek üzere teslim edildiği görülmektedir.

İlçelerdeki araç kullanıcıları tarafından lisanslı araç toplayıcıları ve yetkili sökülme tesislerine gönderilen ÖTA miktarları Çizelge 4.21 ve Çizelge 4.22 aracılığı ile verilmiştir.

Çizelge 4.21. İlçelerden lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ÖTA miktarı

İlçeler	İlçelerden lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ÖTA miktarı /(ton) - (X_{ij})									
	J2	J3	J5	J6	J8	J9	J11	J12	J51	
ADALAR	-	-	-	12,905	-	-	-	-	-	
ARNAVUTKÖY	-	-	-	-	220,612	-	-	-	-	
ATAŞEHİR	-	-	-	-	376,601	-	-	-	-	
AVCILAR	-	-	-	-	391,907	-	-	-	-	
BAĞCILAR	-	-	-	-	-	-	624,257	-	45,59	
BAHÇELİEVLER	-	-	-	533,1	-	-	-	-	-	
BAKIRKÖY	-	-	-	-	198,266	-	-	-	-	
BAŞAKŞEHİR	-	205,84	-	-	-	-	123,789	-	-	
BAYRAMPAŞA	-	-	-	-	-	-	-	243,466	-	
BEŞİKTAŞ	-	-	-	-	168,78	-	-	-	-	
BEYKOZ	-	-	-	-	-	-	-	223,199	-	
BEYLİKDÜZÜ	-	-	265,1	-	-	-	-	-	-	
BEYOĞLU	-	-	-	-	-	-	212,817	-	-	
BÜYÜKÇEKMECE	-	-	-	-	-	-	211,411	-	-	
ÇATALCA	-	61,444	-	-	-	-	-	-	-	
ÇEKMEKÖY	-	-	-	-	-	-	213,573	-	-	
ESENLER	-	407,55	-	-	-	-	-	-	-	
ESENYURT	-	-	-	-	-	-	708,62	-	-	
EYÜP	-	-	336,61	-	-	-	-	-	-	
FATİH	-	371,94	-	-	-	-	-	-	-	
GAZİOSMANPAŞA	-	-	-	-	445,459	-	-	-	-	
GÜNGÖREN	-	-	-	-	266,071	-	-	-	-	
KADIKÖY	403,152	-	-	-	-	-	-	-	-	
KAĞITHANE	-	-	-	-	391,907	-	-	-	-	
KARTAL	-	-	-	-	-	409,39	-	-	-	
KÜÇÜKÇEKMECE	683,305	-	-	-	-	-	-	-	-	
MALTEPE	436,889	-	-	-	-	-	-	-	-	
PENDİK	-	-	616,52	-	-	-	-	-	-	
SANCAKTEPE	336,075	-	-	-	-	-	-	-	-	
SARIYER	305,508	-	-	-	-	-	-	-	-	
SİLİVRİ	151,993	-	-	-	-	-	-	-	-	
SULTANBEYLİ	-	-	289,42	-	-	-	-	-	-	
SULTANGAZİ	-	-	468,03	-	-	-	-	-	-	
ŞİLE	30,52	-	-	-	-	-	-	-	-	
ŞİŞLİ	243,159	-	-	-	-	-	-	-	-	
TUZLA	-	215,91	-	-	-	-	-	-	-	
ÜMRANİYE	-	-	618,73	-	-	-	-	-	-	
ÜSKÜDAR	71,759	-	405,58	-	-	-	-	-	-	
ZEYTİNBURNU	-	74,964	-	181,65	-	-	-	-	-	
Toplam:	2662,36	1337,64	3000	727,66	2459,61	409,39	2094,47	466,67	45,59	
Tesis Kapasiteleri:	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
Kapasite Kullanım Oranı:	%89	%45	%100	%24	%82	%14	%70	%16	%2	

Yukarıdaki çizelge incelendiğinde lisanslı araç toplayıcılarından J5'in kapasitesinin tamamını J2, J3, J6, J8, J9, J11, J12 ve J51'in ise kapasitelerinin sırasıyla %89, %45, %24, %82, %14, %70, %16 ve son olarak %2'sini kullandığı görülmektedir.

Çizelge 4.22. İlçelerden yetkili sökülme tesislerine gönderilen ÖTA miktarı

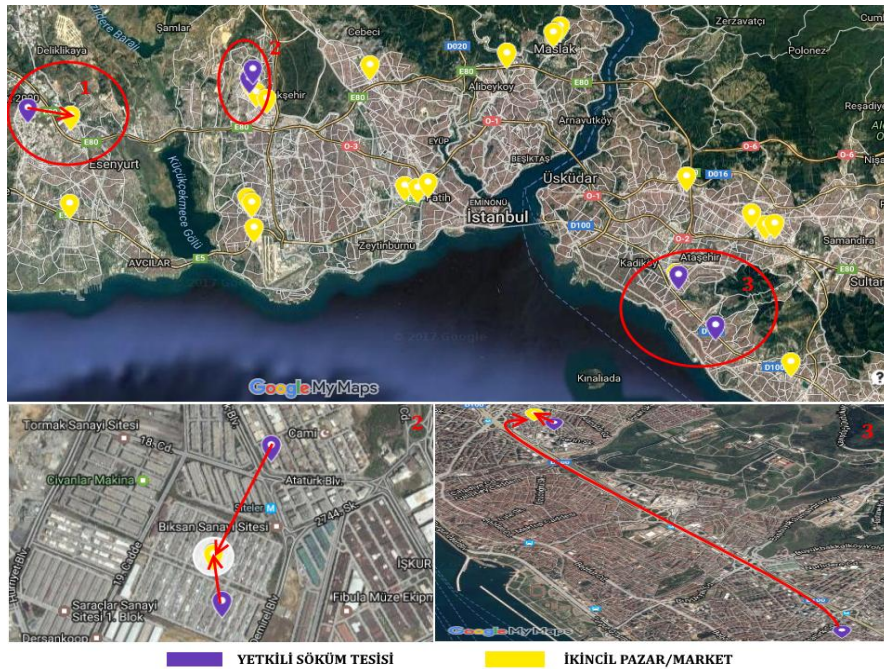
İLÇELER	İlçelerden yetkili sökülme tesislerine gönderilen ÖTA miktarı/(ton) - (Y _{ik})		
	K1	K2	K4
ADALAR	-	5,51	-
ARNAVUTKÖY	-	94,548	-
ATAŞEHİR	-	161,4	-
AVCILAR	-	167,96	-
BAĞCILAR	-	287,077	-
BAHÇELİEVLER	228,47	-	-
BAKIRKÖY	-	84,971	-
BAŞAKŞEHİR	-	141,268	-
BAYRAMPAŞA	104,343	-	-
BEŞİKTAŞ	-	72,334	-
BEYKOZ	95,657	-	-
BEYLİKDÜZÜ	113,615	-	-
BEYOĞLU	91,207	-	-
BÜYÜKÇEKMECE	90,605	-	-
ÇATALCA	26,333	-	-
ÇEKMEKÖY	91,52	-	-
ESENLER	174,66	-	-
ESENYURT	303,69	-	-
EYÜP	144,26	-	-
FATİH	159,4	-	-
GAZİOSMANPAŞA	190,91	-	-
GÜNGÖREN	114,03	-	-
KADIKÖY	-	-	172,78
KAĞITHANE	167,96	-	-
KARTAL	175,45	-	-
KÜÇÜKÇEKMECE	-	292,86	-
MALTEPE	187,24	-	-
PENDİK	264,22	-	-
SANCAKTEPE	144,03	-	-
SARIYER	-	130,93	-
SİLVİRİ	65,14	-	-
SULTANBEYLİ	124,04	-	-
SULTANGAZİ	200,58	-	-
ŞİLE	13,08	-	-
ŞİŞLİ	104,2	-	-
TUZLA	-	-	92,533
ÜMRANİYE	265,169	-	-
ÜSKÜDAR	204,57	-	-
ZEYTİNBURNU	109,98	-	-
Toplam:	3954,4	1438,87	265,31
Tesis Kapasiteleri:	4000	4000	4000
Kapasite Kullanım Oranı:	%99	%36	%7

Çizelge 4.23. Lisanslı araç toplayıcılarından yetkili sökülme tesislerine gönderilen ÖTA miktarı

LAT	YST'ne gönderilen ÖTA miktarı/(ton) - (W_{jk})				
	K1	K2	K3	K4	K5
J2	-	-	-	-	2662,36
J3	-	-	-	-	1337,64
J5	-	-	-	3000	-
J6	-	-	-	727,66	-
J8	-	-	2459,6	-	-
J9	-	-	409,39	-	-
J11	-	2094,47	-	-	-
J12	-	466,67	-	-	-
J51	45,59	-	-	-	-
Toplam	45,59	2561,13	2868,99	3727,66	4000
Kapasite	4000	4000	4000	4000	4000
Kapasite Kullanım Oranı	%1	%64	%72	%93	%100

Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23 birlikte incelendiğinde ise K1 K2, K4 ve K5 yetkili sökülme tesislerinin 4000 tonluk kapasitelerinin %100'ünü, K3 yetkili sökülme tesisinin ise kapasitesinin %72'sini kullandığı görülmektedir.

Yetkili sökülme tesisleri ile ikincil pazar/arketler arasındaki akışlar Şekil 4.16, akış miktarları ise Çizelge 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.16. Yetkili sökülme tesisleri ile marketler arasındaki akış

Çizelge 4.24. Yetkili söküm tesisinden ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir komponent/materyaller ile miktarları

S_{ntkm} / (ton)	Yeniden Kullanılabilir komponent/materyaller	YST	İkincil Pazar/Marketler		
			M11	M13	M15
	Akıcı Madde/Sıvılar	K1	-	-	540
	Akıcı Madde/Sıvılar	K2	540	-	-
	Akıcı Madde/Sıvılar	K3	-	387,3136249	-
	Akıcı Madde/Sıvılar	K4	-	539,0511077	-
	Akıcı Madde/Sıvılar	K5	540	-	-

Çalışmada kurulan optimizasyon modeli ile K1, K2, K3, K4 ve K5 yetkili söküm tesislerinden M11, M13 ve M15 ikincil pazar/marketlerine toplam 2546,4733 ton akışkan madde ve sıvı gönderilmiştir.

Geri dönüştürülebilir bileşenler ise Şekil 4.17'deki gibi yetkili söküm tesislerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınmaktadır.



Şekil 4.17. Yetkili söküm tesileri ile geri dönüşüm tesisleri arasındaki akış

Yetkili söküm tesisleri ile geri dönüşüm tesisleri arasındaki malzeme akışları ve akış oranları Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Yetkili söküm tesisinden geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak olan komponent/materyal miktarı

	YST	GDT	Kullanılmayacak komponent ve materyaller						
			Plastik ve Proses Polimerler	Lastik	Cam	Akü	Akıcı Madde/Sıvılar	Patlamamış Hava Yastıkları	Diğer
$A_{nkr} / (\text{ton})$	K1	R1	-	-	-	-	-	-	-
	K2		-	-	-	11,44	17,6	0,88	5,28
	K3		-	-	-	8,205	12,62	0,63	3,79
	K4		-	-	-	11,42	17,57	0,88	5,27
	K5		-	-	-	11,44	17,6	0,88	5,28
	K1	R2	114,4	35,2	35,2	11,44	17,6	0,88	5,28
	K2		114,4	35,2	35,2	-	-	-	-
	K3		82,05	25,25	25,25	-	-	-	-
	K4		114,2	35,14	35,14	-	-	-	-
	K5		114,4	35,2	35,2	-	-	-	-

Yukarıdaki çizelgeye göre yetkili söküm tesislerinden R1 geri dönüşüm merkezine 130,785 ton, R2 geri dönüşüm merkezine ise 906,623 ton olmak üzere toplamda 1037,408 ton bileşen geri dönüştürülmek üzere gönderilmiştir. R1 geri dönüşüm merkezine gönderilen ÖTA bileşenlerinden %33'ü akü, %50'si akıcı madde ve sıvılar, %2'si patlamamış hava yastıkları geri kalan %15'i ise diğer malzemelerden oluşmaktadır. R2 geri dönüşüm merkezine gönderilen bileşenlerin ise %60'ı plastik ve proses polimerler, %18'i lastik, %18'i cam, %1'i akü, %2'si akıcı madde/sıvılar, %0,1'i patlamamış hava yastıkları, %1'i ise diğer malzemelerdir. 11000 tonluk kapasiteye sahip olan R1 ve R2 geri dönüşüm merkezleri sırasıyla kapasitelerinin %1,2 ve %9'unu yetkili söküm merkezlerinden gelen bileşenler için kullanmaktadır.

Yetkili söküm tesislerinden yeniden işleme/parçalama merkezlerine gönderilen hulk miktarı Çizelge 4.26'da, tesisler arası akışlar ise Şekil 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı

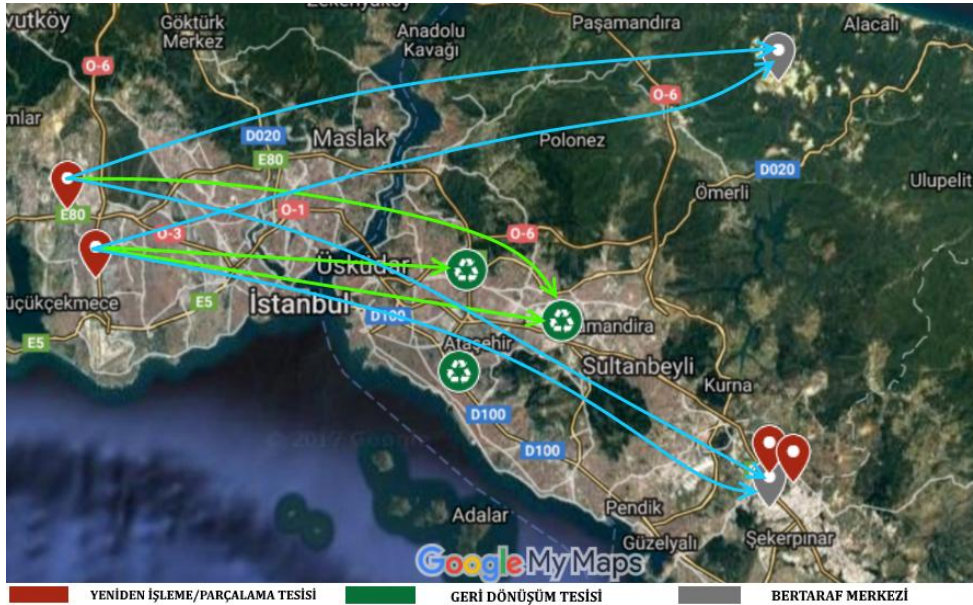
	YST	Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi	
		L1	L3
$B_{kl} / (\text{ton})$	K1	-	3240
	K2	-	3240
	K3	1525,69	798,19
	K4	3234,31	-
	K5	3240	-



Şekil 4.18. Yetkili söküm tesisleri ile yeniden işleme/parçalama merkezleri arasındaki akış

Çizelge 4.26'ya göre K1, K2 yetkili söküm tesislerinden L3'e, K4 ve K5'den L1'e K3'den ise hem L1'e hem de L3 yeniden işleme/parçalama merkezine toplamda 15278,1884 tonluk hulk (araç gövdesi) gönderilmektedir.

Yeniden işleme parçalama tesisleri ile geri dönüşüm ve bertaraf merkezleri arasındaki akış Şekil 4.19, akış oranları ise Çizelge 4.27 ve 4.28 aracılığı ile verilmiştir.



Şekil 4.19. Yeniden işleme/parçalama tesisleri ile geri dönüşüm ve bertaraf merkezleri arasındaki akış

Çizelge 4.27. Yeniden işleme/parçalama tesisinden geri dönüşüm tesislerine gönderilen materyal miktarı

G_{nir} / (ton)	Geri dönüştürülebilir materyaller	Yeniden İşleme/Parçalama Tesisleri	GDT	
			R1	R2
Demirli Metal		L1	4242,02	1582,51
		L3	5299,01	-
Demir İçermeyen Metal		L1	695,47	-
		L3	632,72	-

Yukarıdaki çizelgeye göre yeniden işleme/parçalama merkezlerinden geri dönüşüm merkezlerine toplamda 12451,72354 ton ağırlığında demir ve demir içermeyen metal gönderilmektedir. Bu metallerin %87'si R1, %13'ü ise R2 geri dönüşüm tesisine gönderilmektedir. Bu durumda R1 kapasitesinin %98'ini, R2 ise kapasitesinin %14'ünü yeniden işleme/parçalama tesislerinden gelen metal bileşenler için kullanmaktadır.

Sonuç olarak R1 geri dönüşüm tesisi yetkili sökülme tesisleri ve yeniden işleme/parçalama merkezlerinden gelen bileşenler ile kapasitesini %100 oranında kullanmaktadır. R2 geri dönüşüm merkezinde ise halen kullanılabilir %77'lik boş kapasite bulunmaktadır.

Çizelge 4.28. Yeniden işleme/parçalama tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen ASR' nin miktarı

E_{ip} / (ton)	YİPT	BM	Bertaraf Merkezine Gönderilen ASR' nin Miktarı			
			Akü	Akıcı Madde/Sıvılar	Patlamamış Hava Yastıkları	Diğer
L1		P1	-	-	-	222
		P2	481	740	37	-
L3		P1	437,6	-	33,66	-
		P2	-	673,23	-	201,97

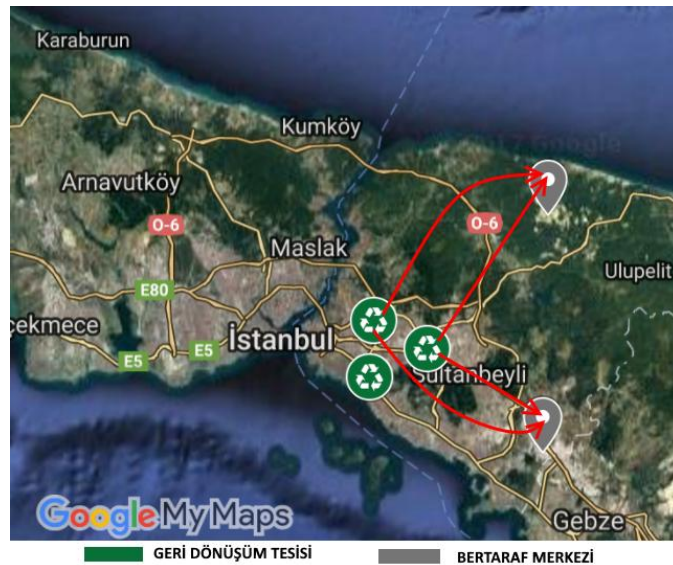
Yeniden işleme/parçalama merkezlerindeki işlemler sonucu ortaya çıkan 2826,454853 tonluk ASR, kontrollü bir şekilde imha edilmek üzere P1 ve P2 bertaraf merkezlerine gönderilmektedir.

Geri dönüşüm işlemleri sonucu ortaya çıkan 2023,369709 tonluk tehlikeli ve zehirli atık ise kontrollü bir şekilde imha edilmek üzere bertaraf merkezlerine gönderilmiştir.

Geri dönüşüm ve bertaraf merkezleri arasındaki akış ve akış miktarları ise Şekil 4.21 ve Çizelge 4.30 aracılığı ile verilmiştir.

Çizelge 4.30. Geri dönüşüm tesisinden elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen bertaraf miktarı

F_{nrrp} / (ton)	Tehlikeli/Zehirli Atıklar	GDT BM	R1		R2	
			P1	P2	P1	P2
			Demirli Metal	1431,154	-	-
Demir İçermeyen Metal	-	199,227	-	-		
Plastik ve Proses Polimerler	-	-	-	80,9178		
Lastik	-	-	24,8979	-		
Cam	-	-	-	24,8978		
Akü	-	6,3758	1,716	-		
Akıcı Madde/Sıvılar	9,809	-	-	2,64		
Patlamamış Hava Yastıkları	-	0,49	0,132	-		
Diğer	-	2,947	0,792	-		



Şekil 4.21. Geri dönüşüm tesisleri ile bertaraf merkezleri arasındaki akışlar

Amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık olan modelin Zimmerman yaklaşımı ile çözümlenmesi sonucu ömrünü tamamlamış araçların tersine lojistik ağına toplamda 18862 tonluk ÖTA dahil olmuştur. Modellenen ağ tasarımı ile 11465,76163 ton ÖTA bileşeni geri dönüştürülmüş, ÖTA'lardan çıkan 4849,824562 tonluk tehlikeli ve zararlı atık ise imha edilmiştir. Araçlardaki yeniden kullanılabilir bileşenler ve geri dönüştürülebilen ham maddeler ile toplamda 14012,23493 tonluk ÖTA bileşeninikincil pazar/marketlere satışı sağlanmaktadır.

Tasarlanılan tersine lojistik ağı ile kâr sağlanamada Zimmermann yaklaşımına göre doğada 18 bin 862 tonluk yer kaplayacak ve doğaya geri dönüşümü mümkün olmayan zararlar verecek hurda araç yığınlarının %74 oranında azaltılarak 4849,824562 tona indirgenmesi sağlanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü, kamu yaptırımları ve çevreci işletme anlayışı ile son zamanlarda uluslararası araştırmalarda yoğun ilgi gören güncel konular arasında yerini almaya başlamıştır.

Ömrünü tamamlamış araçlar, içinde barındırdığı yüksek oranlardaki geri dönüştürülebilir, geri kazanılabilir ve yeniden kullanılabilir malzemeler nedeniyle, çevresel faydasının yanı sıra ekonomik değeriyle de dikkat çeken çok önemli kaynaklardır. Doğal kaynaklarımızın hızla tükenmeye başladığı ve yerine yenilerini bir daha koymamızın mümkün olmadığı göz önünde bulundurulursa, küçük bir ürünün bile geri dönüştürülmesinin doğaya verdiği katkının küçümsenemeyecek kadar çok olduğu daha iyi anlaşılacaktır.

Bu çalışmada, İstanbul ilindeki ömrünü tamamlamış araçlar için örnek bir tersine lojistik ağı tasarlanmıştır. Tasarlanılan ağ İstanbul ili için hazırlanmış olsa da diğer iller ve bölgeler için dizayn edilip, kullanılabilir niteliktedir. İçerisinde toplama, sökme, yenileme, işleme (parçalama), geri dönüşüm, kısmi yeniden kullanma ve elden çıkarma faaliyetlerini kapsayan tersine lojistik ağı için üç farklı matematiksel programlama modeli geliştirilmiştir.

Çizelge 4.31. Kurulan model çözümlerinin karşılaştırılması

Elde Edilen Sonuçlar	Model 1	Model 2	Model 3
	Klasik Model	Bulanık Model (Verdegay) $\lambda = 0$	Bulanık Model (Zimmermann) $\lambda = 0,63$
Ağa katılan araç miktarı:	13708 ton	13708 ton	18862 ton
Optimum amaç fonksiyonu değeri:	-12055753 TL	-12055715 TL	-14270778 TL
Açılan Tesisler:	K2, K3, K4, K5 L2, L3	K2, K3, K4, K5 L2, L3	K1, K2, K3, K4, K5 L1, L3
Geri dönüştürülebilir ham madde miktarı:	8333,138346 ton	8333,138346 ton	11465,76163 ton
Bertaraf edilen ASR ve tehlikeli atık miktarı:	3524,784787 ton	3524,784787 ton	4849,824562 ton
İkincil pazara satılan bileşen ve ham madde miktarı:	10183,79687 ton	10183,79687 ton	14012,23493 ton

Geliştirilen modeller GAMS programı yardımıyla çözümlenerek elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır.

Yapılan analiz sonucunda maddi kâr sağlanamasa da elde edilecek ekolojik ve sosyal faydanın önemi oldukça büyüktür. Ayrıca kurulan modellerin çözümlenmesi ile hurda araçların %61'inin geri dönüştürülmesi sağlanmıştır. Bunun yanı sıra çevresel açıdan ciddi bir risk unsuru olan ÖTA atık miktarının %74 oranında azaltılması kazanılan en önemli çıktılardan başında gelmektedir. Giderek büyük alanlar kaplayan bertaraf merkezleri; toprağın, yüzey ve yer altı sularının ve havanın kirlenmesine yol açarak, ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra geniş bir alanı kirleterek görüntü ve çevre kirliliği oluşturmaktadır. Hurda araçların toplanıp geri dönüşüm ağına katılması ile birlikte hem Karayollarındaki can ve mal güvenliğinin artması sağlanacak, hem de hurda araçlardan kaynaklanan çevre kirliliği önlenmiş olacaktır.

Kamu ve üretici firma bilincinin yanı sıra tüketici bilincinin de artması ile ürün geri dönüşümü ve ürün geri dönüşüm sistemlerinden elde edilecek kârın pozitif yönlü bir artış ile maddi kazanç sağlayan sistemler haline gelmesi beklenmektedir.

Yapılan analizler sonucu klasik ve bulanık modeller kullanılarak test edilen ağ için bulanık modellerin özellikle geri dönüşüme giren araç sayısındaki belirsizliği daha doğru şekilde modellediği ve bu nedenle daha sağlıklı sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Alcı M., Karatepe E., 2002. *Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları*.
- Anonim., 2002. Act on Recycling , etc . of End - of - Life Vehicles. 87.1–84.
- Anonim., 2000. DIRECTIVE 2000/53/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL.1–15.
- Azar A. T., El-Said S. A., Hassanien A. E., 2013. Fuzzy and hard clustering analysis for thyroid disease. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 111(1). 1–16. Beals R., Greiner P. C., 1988. Calculus on Heisenberg Manifolds, *Annals Mathematics Studies*, 119, Princeton University Press.
- Ballı H., 2014. *Bulanık doğrusal programlama modeli ile bir kamu kurumu için tesis yeri seçimi*. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı.
- Bellman R., Zadeh L. A., 1970. Decision-Making Fuzzy Environment. *Management Science*. 17(4). 141–165.
- Budayan C., 2008. Strategic Group Analysis: Strategic perspective, differentiation and performance in construction.1–289.
- Chanas S. Z., 1983. The use of parametric programming in fuzzy linear programming. *Fuzzy Sets and Systems*. 11(1–3). 229–241.
- Choi J., Stuart J. A., Ramani K., 2005. Modeling of Automotive Recycling Planning in the United States. *International Journal of Automotive Technology*. 6(4).413-419.
- Cruz-Rivera R., Ertel J., 2009. Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*. 930–939.
- Çevik O., Yıldırım Y., 2010. An Application in Milk Products Factory with Fuzzy Linear Programming. *Karamanoglu Mehmetbey University Journal of Social and Economic Research*. 12(18). 15–26.
- Çobanoğlu B., 2000. *Bulanık Mantık Ve Bulanık Küme Teorisi* . Nispetiye MYO.GOP UniverSitesi.
- Demirel E., Demirel N., Gökçen H., 2016. A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey. *Journal of Cleaner Production*. 112. 2101–2113.

- Dombi J., Gera, Z., 2005. The approximation of piecewise linear membership functions and Łukasiewicz operators. *Fuzzy Sets and Systems*, 154(2).275–286.
- Dweiri F., Meier F. A., 1996. Application of fuzzy decision-making in facilities layout planning. *International Journal of Production Research*. 34(11). 3207–3225.
- Elmas Ç., 2003. *Bulanık Mantık Denetleyiciler*. Seçkin Yayınevi. Ankara.
- Ene S., Öztürk N., 2014. Ömrünü Tamamlamış Araçlar İçin Toplama Ağının Tasarımı. OTEKON'14 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi.1–7.
- Ene S., Öztürk N., 2015. Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles. *Waste Management Elsevier Ltd*. 38(1). 284–296.
- Ercan S., Kayakutlu G., 2015. SCHEDULING IN ENERGY SYSTEMS. *Sigma Journal Engineering and Natural Sciences*.679–690.
- Erdaş M. L., Demir Y. D., 2016. DEVELOPING A PORTFOLIO OPTIMIZATION MODEL BY FUZZY LINEAR PROGRAMMING. *The Journal of International Social Research*. 9(45).768–789.
- Erdogan T. Y., 2003. *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ. Ankara.
- Erdoğan Ş., Öğütlü A. S., 2007. Bulanık Doğrusal Programlama Kullanılarak Broiler Etlik Piliçleri İçin Yem Karışımlarının Hazırlanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 395–404.
- Folguera L., Zupan J., Cicerone D., Magallanes J. F., 2015. Self-organizing maps for imputation of missing data in incomplete data matrices. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*.
- Gołebiewski B., Trajer J., Jaros M., Winiczenko R., 2013. Modelling of the location of vehicle recycling facilities: A case study in Poland. *Resources Conservation and Recycling*. 80(1).10–20.
- Gülcan B., 2012. Bulanık doğrusal programlama ve bir bisküvi işletmesinde optimum ürün formülü oluşturma . Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi.
- Güner H., 2005. Bulanık AHP ve Bir İşletme İçin Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması. Pamukkale Üniversitesi.
- Hansen B., 1996. *Fuzzy Logic and Linear Programming Find Optimal Solutions for Meteorological Problems*.
- Harras N. A., Galal N. M., 2011. Design of Sustainable End-of-life Vehicle recovery network in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*. 211-219.
- Haykin S. S., 2009. *Neural networks and learning machines*. 3rd Edition.

- Höppner F., 2002. Speeding up fuzzy c-means: using a hierarchical data organisation to control the precision of membership calculation. *Fuzzy Sets and Systems*, 128(3).365–376.
- Hsu C. C., 2006. Generalizing self-organizing map for categorical data. *IEEE Transactions on Neural Networks*. 17(2). 294–304.
- Jody B.J., Daniels E.J., 2006. End-of-Life Vehicle Recycling: The State of the Art of Resource Recovery from Shredder Residue.
- Kabak Ö., 2008. Olabilirsel Doğrusal Programlama İle Tedarik Zinciri Ağ Yapısının Modellenmesi ve Bir Uygulama. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kaufman L., Rousseeuw P. J., 1990. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Wiley Series in Probability and Statistics.
- Kaymak U., Sousa J. M., 2001. Weighted Constraints in Fuzzy Optimization. ERIM Report Series Research in Management. 1–21.
- Kiang M. Y., 2001. Extending the Kohonen self-organizing map networks for clustering analysis. *Computational Statistics and Data Analysis*. 38(2). 161–180.
- Klir G. J., Yuan B. O., 1995. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. New Jersey: Prentice Hall.
- Kohonen T., 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*. 43(1). 59–69.
- Kohonen T., 2001. Self-Organizing Maps, Springer Series in Information Sciences.
- Kumar V., Sutherland J.W., 2009. Development and assessment of strategies to ensure economic sustainability of the U.S. automotive recovery infrastructure. *Resources, Conservation and Recycling*. 53(8).470–477.
- Lai Y.J., Hwang C.L., 1992. Fuzzy Mathematical Programming. Springer Verlag. Berlin.
- MacQueen J. B., 1967. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. 281–297.
- Mahmoudzadeh M., Mansour S., Karimi B., 2011. A Decentralized Reverse Logistics Network for End of Life Vehicles from Third Party Provider Perspective. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology*. 2. 338–342.

- Mahmoudzadeh M., Mansour S., Shokoohyar S., Karimi B., 2009. Designing and Modelling a Third-Party Reverse Logistics Network for End of Life Vehicles.
- Mamdani E. H., 1974. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. 121(12).
- Mansour S., Zarei M., 2008. A multi-period reverse logistics optimisation model for end-of-life vehicles recovery based on EU Directive. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 21(7). 764-777.
- Mansour S., Zarei M., Husseinzadeh Kashan A., Karimi B., 2010. Designing a reverse logistics network for end-of-life vehicles recovery. Mathematical Problems in Engineering.
- McNeill F. M., Thro E., 1994. Fuzzy Logic: a practical approach. Academic Press. London.
- Merkisz-Guranowska A., 2011. END-OF-LIFE VEHICLES RECYCLING NETWORK DESIGN. Journal of KONES Powertrain and Transport. 18(3).
- Merkisz-Guranowska A., 2011. The optimization of vehicles recycling facility location. WIT Transactions on the Built Environment.
- Niziplioğlu M., 2012. END OF LIFE VEHICLES MANAGEMENT IN TURKEY.
- Oğuzlar A., 2005. Kümeleme Analizinde Yeni Bir Yaklaşım: Kendini Düzenleyen Haritalar (Kohonen Ağları). İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi. 19(2).
- Özceylan E., Demirel N., Çetinkaya C., Demirel E., 2016. A Closed-Loop Supply Chain Network Design for Automotive Industry in Turkey. Computers & Industrial Engineering.
- Özçalıcı M., 2016. Clustering Stocks with Self-Organizing Maps: An application on Stocks Listed in BIST50 Index. Istanbul University Journal of the School of Business.45.22-33.
- Özkan M. M., 2003. Bulanık Hedef Programlama. Ekin Kitabevi.
- Paksoy, T., 2010. Bulanık küme teorisi ve doğrusal programlamada kullanımı: Karşılaştırmalı bir analiz.
- Paksoy T., Pehlivan N. Y., Özceylan E., 2013. Bulanık Küme Teorisi. Ankara.
- Phuc K., Nguyen P., Yu V. F., Tsao Y.C., 2016. Optimizing fuzzy reverse supply chain for end-of-life vehicles. Computers & Industrial Engineering. 1-20.
- Pişkin, S., 2017. Otomotiv Sektör Raporu.

- Reutterer T., 1998. Competitive Market Structure and Segmentation Analysis with Self-Organizing Feature Maps. Proceedings of the 27th EMAC Conference. 85–115.
- Safi M., Maleki H., Zaeimazad E., 2007. A Geometric Approach for Solving Fuzzy Linear Programming Problems. *Fuzzy Optimization and Decision Making*. 6(4). 315–336.
- Sakai S., Hideto Y., Carlo V., 2014. An international comparative study of end-of-life vehicle (ELV) recycling systems. *J Mater Cycles Waste Manag*. 1–20.
- Sakawa M., 1983. Interactive computer programs for fuzzy linear programming with multiple objectives. *International Journal of Man-Machine Studies*. 18(5). 489–503.
- Schultmann F., Zumkeller M., Rentz O., 2006. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. *European Journal of Operational Research*. 10-20.
- Simic V., Dimitrijevic B., 2012. Modelling production processes in a vehicle recycling plant. *Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association*. ISWA. 30(9).
- Simic V., Dimitrijevic B., 2013. Risk explicit interval linear programming model for long-term planning of vehicle recycling in the EU legislative context under uncertainty. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Simic V., 2015. Fuzzy risk explicit interval linear programming model for end-of-life vehicle recycling planning in the EU.
- Simic V., Dimitrijević B., 2015. END-OF-LIFE VEHICLE RECYCLING IN THE REPUBLIC OF SERBIA: INTERVAL LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR LONG-TERM PLANNING UNDER UNCERTAINTY. 1st Logistics International Conference Belgrade, Serbia. 252–257.
- Smink C.K., 2007. Vehicle recycling regulations: lessons from Denmark. *Journal of Cleaner Production*. 15(11-12). 1135–1146.
- Srinivasan S., Khan S. H., 2016. Environmentally Conscious Optimization of Closed Loop Supply Chain Network with Vehicle Routing. *Advances in Theoretical and Applied Mathematics*. 11(3). 223–243.
- Sugeno M., 1972. Fuzzy measures and fuzzy integrals (in Japanese). *Trans. of the Soc. of Instrument and Control Engineers*. 8(2).
- Şahin İ., 2015. Otomotiv sektörü. 1–40.

- Şen Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Sanat Yapım Yay. Tan. Kağ. Turz. Tic.Şti.
- Şen Z., 2004. Mühendislikte Bulanık Mantık ile Modelleme Prensipleri Su Vakfı Yayınları.
- Şengül Ü., 2010. Tersine Lojistik Ağ Tasarımında Karma Tamsayı Programlama Modeli ve Ambalaj Atıkları Geri Dönüşümü İçin Bir Uygulama. Atatürk Üniversitesi.
- Temur G. T., Ayvaz B., Bolat B., 2015. Tersine Lojistik Yönetimi: Dünyada ve Türkiye'de Durum. 1.Baskı. Nobel Yayıncılık.
- TUİK, 2017. Motorlu Kara Taşıtları Aralık 2016, 38–39.
- KPMG Türkiye, 2015. Türkiye Otomotiv Sektöründe Yeni Stratejik Yatırım Hedefleri 2015.
- Verdegay J.L., 1982. Fuzzy Mathematical Programming. Approximate Reasoning in Decision Analysis. 231–236.
- Verdegay J. L., 1984. A Dual Approach to Solve the Fuzzy Linear Programming Problem. Fuzzy Sets and Systems. 14. 131–141.
- Wang D., 1997. An inexact approach for linear programming problems with fuzzy objective and resources. Fuzzy Sets and Systems. 89. 61–68.
- Wu H.C., 2003 Duality Theory in Fuzzy Linear Programming Problems with Fuzzy Coefficients. Fuzzy Optimization and Decision Making. 2(1). 61–73.
- Yen J., Langari R., 1999. Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information. Prentice Hall.
- Xiang W., Ming C., 2011. Implementing extended producer responsibility: vehicle remanufacturing in China. Journal of Cleaner Production, 19(6-7). 680–686.
- Xiaolong J., Rui F., WANG L., 2009. The Location Selection of Automobile Reverse Logistics Network within Closed-loop Supply Chains. Scholl of Automobile Chang'an University.
- Yıldırım Y., 2009. Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yun J., Park I., 2007. Act for Resource Recycling of Electrical and Electronic Equipment and Vehicles. The adopted Act of 2 April 2007 for Resource Recycling of Electrical and Electronic Equipment and Vehicles.
- Zadeh L. A., 1965. Fuzzy sets. Information and Control. 8(3).338–353.

Zadeh L. A., 1973. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics. 3(1).28-44.

Zhao Q., Chen M., 2011. A comparison of ELV recycling system in China and Japan and China's strategies. Resources, Conservation and Recycling. 57.15-21.

Zimmermann H.J., 1991. Fuzzy Set Theory and Its Applications. Massachusetts: Kluwer Academic.

Zimmermann H. J., 1978. Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. Fuzzy Sets and Systems. 1(1). 45-55.

Zimmermann H. J., 1987. Fuzzy Set Theory-and Applications. Fourth Edition. Kluwer Academic Publishers. Boston.



EKLER

EK A. Deterministik Modelin Kodları

sets

*n BilesenMalzemeler Dizisi /n1*n9/*

**n1: Demirli Metal, n2: Demir İçermeyen Metal, n3: Plastik ve Proses Polimerler,*

**n4: Lastikler, n5: Cam, n6: akü, n7: Akıcı Madde/Sıvılar, n8: Patlamamış hava yastıkları n9: diğer*

*i Araç Kullanıcıları /i1*i39/*

*j Lisanslı Araç Toplayıcıları /j1*j52/*

*k Yetkili Söküm Tesisi /k1*k5/*

*l Yeniden İşlemeParçalama Tesisi /l1*l4/*

*p Elden ÇıkarmaBertaraf Merkezi /p1*p2/*

*r Geri Dönüşüm Tesisi /r1*r3/*

*m İkincil PazarMarket /m1*m29/*

*n1_2(n) n1: Demirli Metal n2: Demir İçermeyen Metal /n1*n2/*

n3_9(n) n3: Plastik ve Proses Polimerler n4: Lastikler n5: Cam n6: akü n7: Akıcı Madde(Sıvılar) n8: patlamamış hava yastıkları n9: diğer

*/n3*n9/*

n6_9(n) n6: akü n7: Akıcı Madde(Sıvılar) n8: patlamamış hava yastıkları n9: diğer

*/n6*n9/*

parameters

Return(i) i araç kullanıcısı tarafından gönderilen ELV miktarı

/

i1 13.9796184

i2 229.0433306

i3 390.9941324

i4 406.8851257

i5 695.4484251

i6 553.4798163

i7 205.8435168

i8 342.2227011

i9 252.7715485

i10 175.2303123

i11 231.7297709

i12 275.2328919

i13 220.9506951

i14 219.4913371

i15 63.79254725

i16 221.7363609

i17 423.1222191

i18 735.7033871

i19 349.4778483

i20 386.1561337

i21 462.4841687

i22 276.2406541

i23 418.5609155

i24 406.8851257

i25 425.0350238

i26 709.4210612

i27 453.586434

i28 640.0825832

i29 348.9198312

i30 317.1841147
i31 157.8022272
i32 300.4861714
i33 485.9190344
i34 31.6866702
i35 252.452285
i36 224.161838
i37 642.3748026
i38 495.5867031
i39 266.4202941
/

f_l(l) l yenisinden işleme parçalama tesisinin sabit açılış maliyeti

/
l1 2500000
l2 2500000
l3 2500000
l4 2500000
/

f_k(k) k yetkili söküm tesisinin sabit açılış maliyeti

/
k1 887500
k2 887500
k3 887500
k4 887500
k5 887500
/

cap_j(j) j lisanslı araç toplayıcılarının kapasitesi (ton)

/
j1 3000
j2 3000
j3 3000
j4 3000
j5 3000
j6 3000
j7 3000
j8 3000
j9 3000
j10 3000
j11 3000
j12 3000
j13 3000
j14 3000
j15 3000
j16 3000
j17 3000
j18 3000
j19 3000
j20 3000
j21 3000
j22 3000
j23 3000
j24 3000
j25 3000
j26 3000
j27 3000
j28 3000

j29 3000
j30 3000
j31 3000
j32 3000
j33 3000
j34 3000
j35 3000
j36 3000
j37 3000
j38 3000
j39 3000
j40 3000
j41 3000
j42 3000
j43 3000
j44 3000
j45 3000
j46 3000
j47 3000
j48 3000
j49 3000
j50 3000
j51 3000
j52 3000
/

capk(k) k yetkili söküm tesisinin kapasitesi (ton)

/
k1 4000
k2 4000
k3 4000
k4 4000
k5 4000
/

capl(l) l yenden işleme parçalama tesisinin kapasitesi (ton)

/
l1 8000
l2 8000
l3 8000
/

capp(p) p elden çıkarmabertaraf merkezinin kapasitesi (ton)

/
p1 25000
p2 25000
/

capnr(r) r geri dönüşüm tesisinin kapasitesi (ton)

/
r1 11000
r2 11000
r3 11000
/

parameter ToplamaTesis_x(j)

/

j1 41.136422

...

...

j52 41.004165

/

parameter ToplamaTesis_y(j)

/

j1 29.044014

...

...

j52 28.958140

/

parameter YetkiliSokumTesis_x(k)

/

k1 41.065984

k2 41.084214

k3 40.963273

k4 40.932043

k5 41.089791

/

parameter YetkiliSokumTesis_y(k)

/

k1 28.630449

k2 28.794098

k3 29.111103

k4 29.138767

k5 28.796329

/

parameter YenidenislemeParcalamaTesis_x(l)

/

l1 41.022527

l2 40.900017

l3 41.066336

l4 40.893556

/

parameter YenidenislemeParcalamaTesis_y(l)

/

l1 28.809901

l2 29.371738

l3 28.785070

l4 29.391068

/

parameter GeriDonusumTesis_x(r)

/

r1 40.997182

r2 41.028679

r3 40.965004

/

parameter GeriDonusumTesis_y(r)

/
r1 29.197192
r2 29.118060
r3 29.111668
/

parameter BertarafMerkezi_x(p)

/
p1 40.877460
p2 41.147295
/

parameter BertarafMerkezi_y(p)

/
p1 29.371686
p2 29.378915
/

parameter market_x(m)

/
m1 41.080638
...
...
m29 40.994798
/

parameter market_y(m)

/
m1 28.795054
...
...
m29 29.182002
/

Parameter

$d_{jk}(j,k)$ k. yetkili söküm tesisleri ve j lisanslı araç toplayıcıları arasındaki mesafe (km) ;
 $d_{jk}(j,k)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{ToplamaTesis}_x(j)-\text{YetkiliSokumTesis}_x(k))+\text{SQR}(\text{ToplamaTesis}_y(j)-\text{YetkiliSokumTesis}_y(k)))$;

Parameter

$d_{kl}(k,l)$ l yeniden işleme parçalama tesisi ve k yetkili söküm tesisleri arasındaki mesafe (km) ;
;
 $d_{kl}(k,l)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_x(k) - \text{YenidenislemeParcalamaTesis}_x(l))+\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_y(k) - \text{YenidenislemeParcalamaTesis}_y(l)))$;

Parameter

$d_{kr}(k,r)$ r geri dönüşüm tesisi ve k yetkili söküm tesisi arasındaki mesafe (km) ;
 $d_{kr}(k,r)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_x(k) - \text{GeriDonusumTesis}_y(r))+\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_y(k) - \text{GeriDonusumTesis}_y(r)))$;

Parameter

$d_{lr}(l,r)$ r geri dönüşüm tesisi ve l yeniden işleme parçalama tesisi arasındaki mesafe (km) ;
 $d_{lr}(l,r)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_x(l) - \text{GeriDonusumTesis}_y(r))+\text{SQR}(\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_y(l) - \text{GeriDonusumTesis}_y(r)))$;

Parameter

$d_{lp}(l,p)$ p elden çıkarmabertaraf merkezi ve l yeniden işleme parçalama tesisi arasındaki mesafe (km) ;

$$d_{lp}(l,p) = 100 * \text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_x(l) - \text{BertarafMerkezi}_x(p)) + \text{SQR}(\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_y(l) - \text{BertarafMerkezi}_y(p)));$$

Parameter

$d_{rp}(r,p)$ p elden çıkarmabertaraf merkezi ve r geri dönüşüm tesisi arasındaki mesafe (km) ;

$$d_{rp}(r,p) = 100 * \text{SQRT}(\text{SQR}(\text{GeriDonusumTesis}_x(r) - \text{BertarafMerkezi}_x(p)) + \text{SQR}(\text{GeriDonusumTesis}_y(r) - \text{BertarafMerkezi}_y(p)));$$

Parameter

$d_{km}(k,m)$ k yetkili söküm tesisi ile market arası mesafe(km) ;

$$d_{km}(k,m) = 100 * \text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_x(k) - \text{market}_x(m)) + \text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_y(k) - \text{market}_y(m)));$$

Parameter

$d_{rm}(r,m)$ r geri dönüşüm tesisi ile market arası mesafe(km) ;

$$d_{rm}(r,m) = 100 * \text{SQRT}(\text{SQR}(\text{GeriDonusumTesis}_x(r) - \text{market}_x(m)) + \text{SQR}(\text{GeriDonusumTesis}_y(r) - \text{market}_y(m)));$$

Parameter ratio(n) oranlar

/

n1 0.67

n2 0.08

n3 0.13

n4 0.04

n5 0.04

n6 0.013

n7 0.02

n8 0.001

n9 0.006

/

scalar

sumn1_2;

$$\text{sumn1}_2 = \text{sum}(n1_2, \text{ratio}(n1_2));$$

scalar

sumn3_9;

$$\text{sumn3}_9 = \text{sum}(n3_9, \text{ratio}(n3_9));$$

scalar

sumn6_9;

$$\text{sumn6}_9 = \text{sum}(n6_9, \text{ratio}(n6_9));$$

Parameter ratio_n1_2(n1_2);

$$\text{ratio}_n1_2(n1_2) = \text{ratio}(n1_2) / \text{sumn1}_2;$$

Parameter ratio_n3_9(n3_9);

$$\text{ratio}_n3_9(n3_9) = \text{ratio}(n3_9) / \text{sumn3}_9;$$

Parameter ratio_n6_9(n6_9);

$$\text{ratio}_n6_9(n6_9) = \text{ratio}(n6_9) / \text{sumn6}_9;$$

scalar

a1 Sökme-parçalama giden ELV içerisindeki Hulk'un ağırlık yüzdesi /0.81/

a2 Sökme -market oranı /0.135/

a3 Sökme -geri dönüşüm /0.055/

a4 parçalama-bertaraf /0.185/

a5 parçalama-geri dönüşüm /0.815/

a6 geri dönüşüm- bertaraf /0.15 /

*toplama maliyeti

ccj j lisanslı araç toplayıcısında birim başına ELV toplama maliyeti /200/

ckk k yetkili söküm tesisinde birim başına ELV toplama maliyeti /100/

dck k yetkili söküm tesisinde birim başına ELV işleme maliyeti /490/

scl l yetkili parçalama tesisinde birim başına ELV işleme maliyeti /135/

rcr r geri dönüşüm tesisinde birim başına ELV işleme maliyeti /500/

lcp bertaraf maliyeti /250/

t taşıma maliyeti /0.013/

;

Parameter S1n(n)

/

n1 1200

n2 6000

n3 6000

n4 0

n5 6000

n6 3100

n7 6250

n8 200

n9 6000

/

Parameter S2n(n)

/

n1 250

n2 750

n3 0

n4 150

n5 0

n6 200

n7 300

n8 0

n9 0

/

positive variables

$X(i,j)$ i araç kullanıcısı tarafından j lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ELV miktarı

$Y(i,k)$ i araç kullanıcısı tarafından k yetkili söküm tesislerine gönderilen ELV miktarı

$W(j,k)$ j lisanslı araç toplayıcılarından k yetkili söküm tesisine gönderilen ELV miktarı

$S(n,k,m)$ k yetkili söküm tesisinden m ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir n komponentmateryal miktarı

$A(n,k,r)$ k yetkili söküm tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılamayacak olan n komponentmateryal miktarı

$B(k,l)$ k yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı

$G(n,l,r)$ l yeniden işleme parçalama tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen n materyalinin miktarı

$E(n,l,p)$ l yeniden işleme parçalama tesisinden p elden çıkarmabertaraf merkezine gönderilen ASR' nin miktarı

$F(n,r,p)$ r geri dönüşüm tesisinden p elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen n bertaraf miktarı

$F_m(n,r,m)$ r geri dönüşüm tesisinden m ikincil pazara gönderilen;
 binary variables
 $el(l)$ l yeneden işleme parçalama tesisinin açılıp açılmama kararı
 $ek(k)$ k yetkili sökülme tesisinin açılıp açılmama kararı;

variable
 z Amaç Fonksiyonu ;

Equations

karmaksimize

Kisit1

Kisit1a

Kisit2

Kisit3

Kisit4

Kisit5

Kisit6

Kisit7

Kisit8a

Kisit8b

Kisit9a

Kisit9b

Kisit10

Kisit11

Kisit12

Kisit13

Kisit14

;

karmaksimize.. $z = e = \sum((n,k,m), S(n,k,m) * S1n(n)) + \sum((n,r,m), F_m(n,r,m) * S2n(n)) -$
 $(\sum(l, fl(l) * el(l)) + \sum(k, fk(k) * ek(k)) +$
 $\sum((j,k), W(j,k) * t * dj(k,j,k)) +$
 $\sum((n,k,r), A(n,k,r) * t * dkr(k,r)) +$
 $\sum((n,k,m), S(n,k,m) * t * dkm(k,m)) +$
 $\sum((k,l), B(k,l) * t * dkl(k,l)) +$
 $\sum((n,l,r), G(n,l,r) * t * dlr(l,r)) +$
 $\sum((n,l,p), E(n,l,p) * t * dlp(l,p)) +$
 $\sum((n,r,p), F(n,r,p) * t * drp(r,p)) +$
 $\sum((n,r,m), F_m(n,r,m) * t * drm(r,m)) +$
 $\sum((i,j), X(i,j) * ccj) +$
 $\sum((i,k), Y(i,k) * cck) +$
 $\sum((j,k), W(j,k) * cck) +$
 $\sum((j,k), W(j,k) * dck) +$
 $\sum((i,k), Y(i,k) * dck) +$
 $\sum((k,l), B(k,l) * scl) +$
 $\sum((n,k,r), A(n,k,r) * rcr) +$
 $\sum((n,l,r), G(n,l,r) * rcr) +$
 $\sum((n,l,p), E(n,l,p) * lcp) +$
 $\sum((n,r,p), F(n,r,p) * lcp) ;$

Kisit1(i).. $\sum(j, X(i,j)) = e = 0.7 * \text{Return}(i) ;$

Kisit1a(i).. $\sum(k, Y(i,k)) = e = 0.3 * \text{Return}(i) ;$

Kisit2(j).. $\sum(i, X(i,j)) = e = \sum(k, W(j,k)) ;$

Kisit3(k).. $\sum(l, B(k,l)) = e = a1 * (\sum(i, Y(i,k)) + \sum(j, W(j,k))) ;$

Kisit4(k).. $\sum((m,n), S(n,k,m)) = e = a2 * (\sum(i, Y(i,k)) + \sum(j, W(j,k))) ;$

Kisit5(n3_9,k).. $\sum(r, A(n3_9,k,r)) = e = a3 * \text{ratio_n3_9}(n3_9) * (\sum(i, Y(i,k)) + \sum(j, W(j,k))) ;$

Kisit6(l,n6_9).. $\sum(p, E(n6_9,l,p)) = e = a4 * \text{ratio_n6_9}(n6_9) * (\sum(k, B(k,l))) ;$

Kisit7(l,n1_2).. $\sum(r, G(n1_2,l,r)) = e = a5 * \text{ratio_n1_2}(n1_2) * (\sum(k, B(k,l))) ;$

Kisit8a(r,n3_9).. sum(p,F(n3_9,r,p))=e=(a6)*(sum(k,A(n3_9,k,r)));
 Kisit8b(r,n1_2).. sum(p,F(n1_2,r,p))=e=(a6)*(sum(l,G(n1_2,l,r)));
 Kisit9a(r,n3_9).. sum(m,Fm(n3_9,r,m))=e=(1-a6)*(sum(k,A(n3_9,k,r)));
 Kisit9b(r,n1_2).. sum(m,Fm(n1_2,r,m))=e=(1-a6)*(sum(l,G(n1_2,l,r)));

*kapasite kısıtları

Kisit10(j).. sum(i,X(i,j))=l= capj(j);
 Kisit11(k).. sum(i, Y(i,k))+sum(j,W(j,k))=l= capk(k)*ek(k);
 Kisit12(l)..sum(k,B(k,l))=l=capl(l)* el(l) ;
 Kisit13(r).. sum((k,n),A(n,k,r))+sum((l,n), G(n,l,r))=l=capnr(r);
 Kisit14(p)..sum((l,n),E(n,l,p))+sum((r,n),F(n,r,p))=l=capp(p) ;

model ELV /all/;
 solve ELV using mip maximizing z;

Scalar ikincielsg 2. el ürünlerin satış gelirleri;
 ikincielsg = sum((n,k,m),S.l(n,k,m)*S1n(n));

Scalar gsg geri dönüştürülen ürünlerin satış gelirleri;
 gsg = sum((n,r,m),Fm.l(n,r,m)*S2n(n));

Scalar tlm yeniden işleme parçalama tesisinin toplam açılış maliyeti;
 tlm = sum(l, fl(l)*el.l(l));

Scalar tkm yetkili söküme tesisi toplam açılış maliyeti;
 tkm = sum(k, fk(k)*ek.l(k));

Scalar ttm toplam taşıma maliyeti;
 ttm = sum((j,k),W.l(j,k)*t*djk(j,k)) +
 sum((n,k,r),A.l(n,k,r)*t* dkr(k,r)) +
 sum((n,k,m),S.l(n,k,m)*t* dkm(k,m)) +
 sum((k,l),B.l(k,l)*t* dkl(k,l))+
 sum((n,l,r), G.l(n,l,r)*t* dlr(l,r))+
 sum((n,l,p),E.l(n,l,p)*t*dlp(l,p))+
 sum((n,r,p),F.l(n,r,p)*t*drp(r,p))+
 sum((n,r,m),Fm.l(n,r,m)*t*drm(r,m));

Scalar tELVm Toplam ELV toplama maliyeti;
 tELVm = sum((i,j),X.l(i,j)*ccj) + sum((i,k),Y.l(i,k)*cck) + sum((j,k),W.l(j,k)*cck);

Scalar tELVi Toplam ELV işleme maliyeti;
 tELVi = sum((j,k),W.l(j,k)*dck) + sum((i,k),Y.l(i,k)*dck)+
 sum((k,l),B.l(k,l)*scl) + sum((n,k,r),A.l(n,k,r)*rcr)+
 sum((n,l,r),G.l(n,l,r)*rcr)+ sum((n,l,p),E.l(n,l,p)*lcp)+
 sum((n,r,p),F.l(n,r,p)*lcp) ;

set mali maliyet kalemleri /mali1*mali7/;
 parameter maliyet(mali);

maliyet('mali1')= ikincielsg;
 maliyet('mali2')= gsg;
 maliyet('mali3')= -tlm;
 maliyet('mali4')= -tkm;
 maliyet('mali5')= -ttm;
 maliyet('mali6')= -tELVm;
 maliyet('mali7')= -tELVi;

display z,l,el.l,ek.l,X.l,Y.l,W.l,S.l,A.l,B.l,G.l,E.l,F.l,Fm.l, maliyet;
 execute_unload "emineMIPM.gdx" X.l Y.l W.l S.l A.l B.l G.l E.l F.l Fm.l z.l el.l ek.l maliyet

```
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=X.l rng=A1'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=Y.l rng=Sayfa2!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=W.l rng=Sayfa3!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=S.l rng=Sayfa4!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=A.l rng=Sayfa5!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=B.l rng=Sayfa6!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=G.l rng=Sayfa7!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=E.l rng=Sayfa8!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=F.l rng=Sayfa9!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=Fm.l rng=Sayfa10!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=z.l rng=Sayfa11!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=ek.l rng=Sayfa12!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls var=el.l rng=Sayfa13!'  
execute 'gdxxrw.exe emineMIPM.gdx o=emineMIPM.xls par=maliyet rng=Sayfa14!'
```



EK B. Bulanık Modelin Kodları (Zimmermann)

sets

*n Bileşen Malzemeler Dizisi /n1*n9/*

**n1: Demirli Metal, n2: Demir İçermeyen Metal, n3: Plastik ve Proses Polimerler,*

**n4: Lastikler, n5: Cam, n6: akü, n7: Akıcı Madde/Sıvılar, n8: Patlamamış hava yastıkları n9: diğer*

*i Araç Kullanıcıları /i1*i39/*

*j Lisanslı Araç Toplayıcıları /j1*j52/*

*k Yetkili Söküm Tesisi /k1*k5/*

*l Yeniden İşleme Parçalama Tesisi /l1*l4/*

*p Elden Çıkarma Bertaraf Merkezi /p1*p2/*

*r Geri Dönüşüm Tesisi /r1*r3/*

*m İkincil Pazar Market /m1*m29/*

*n1_2(n) n1: Demirli Metal n2: Demir İçermeyen Metal /n1*n2/*

n3_9(n) n3: Plastik ve Proses Polimerler n4: Lastikler n5: Cam n6: akü n7: Akıcı Madde(Sıvılar) n8: patlamamış hava yastıkları n9: diğer

*/n3*n9/*

n6_9(n) n6: akü n7: Akıcı Madde(Sıvılar) n8: patlamamış hava yastıkları n9: diğer

*/n6*n9/*

parameters

Return(i) i araç kullanıcısı tarafından gönderilen ELV miktarı

/

i1 21.336264

i2 364.751671

i3 622.6584411

i4 647.9648595

i5 1107.502124

i6 881.4170111

i7 327.8059507

i8 544.9899011

i9 402.5388754

i10 279.0544001

i11 369.0298292

i12 438.3085811

i13 351.8641431

i14 349.5401144

i15 101.589678

i16 353.1153165

i17 673.8224426

i18 1171.608181

i19 556.5437283

i20 614.9539247

i21 736.506376

i22 439.9134431

i23 666.5585632

i24 647.9648595

i25 676.8685855

i26 1129.753558

i27 722.336727

i28 1019.331981

i29 555.6550857

i30 505.1159341

i31 251.300162

i32 478.5244472

i33 773.8264168

i34 50.46104541
i35 402.0304481
i36 356.9778906
i37 1022.982342
i38 789.2221862
i39 424.2745128
/

f(l) l yeniden işleme parçalama tesisinin sabit açılış maliyeti
/
l1 2500000
l2 2500000
l3 2500000
l4 2500000
/

fk(k) k yetkili söküm tesisinin sabit açılış maliyeti
/
k1 887500
k2 887500
k3 887500
k4 887500
k5 887500
/

capj(j) j lisanslı araç toplayıcılarının kapasitesi (ton)
/
j1 3000
j2 3000
j3 3000
j4 3000
j5 3000
j6 3000
j7 3000
j8 3000
j9 3000
j10 3000
j11 3000
j12 3000
j13 3000
j14 3000
j15 3000
j16 3000
j17 3000
j18 3000
j19 3000
j20 3000
j21 3000
j22 3000
j23 3000
j24 3000
j25 3000
j26 3000
j27 3000
j28 3000
j29 3000
j30 3000
j31 3000
j32 3000

j33 3000
j34 3000
j35 3000
j36 3000
j37 3000
j38 3000
j39 3000
j40 3000
j41 3000
j42 3000
j43 3000
j44 3000
j45 3000
j46 3000
j47 3000
j48 3000
j49 3000
j50 3000
j51 3000
j52 3000
/

capk(k) k yetkili söküm tesisinin kapasitesi (ton)

/
k1 4000
k2 4000
k3 4000
k4 4000
k5 4000
/

capl(l) l yenden işleme parçalama tesisinin kapasitesi (ton)

/
l1 8000
l2 8000
l3 8000
/

cappp(p) p elden çıkarmabertarafmerkezinin kapasitesi (ton)

/
p1 25000
p2 25000
/

capnr(r) r geri dönüşüm tesisinin kapasitesi (ton)

/
r1 11000
r2 11000
r3 11000
/

parameter ToplamaTesisix(j)

/
j1 41.136422
...
...
j52 41.004165
/

parameter ToplamaTesis_y(j)

/
j1 29.044014
...
...
j52 28.958140
/

parameter YetkiliSokumTesis_x(k)

/
k1 41.065984
k2 41.084214
k3 40.963273
k4 40.932043
k5 41.089791
/

parameter YetkiliSokumTesis_y(k)

/
k1 28.630449
k2 28.794098
k3 29.111103
k4 29.138767
k5 28.796329
/

parameter YenidenislemeParcalamaTesis_x(l)

/
l1 41.022527
l2 40.900017
l3 41.066336
l4 40.893556
/

parameter YenidenislemeParcalamaTesis_y(l)

/
l1 28.809901
l2 29.371738
l3 28.785070
l4 29.391068
/

parameter GeriDonusumTesis_x(r)

/
r1 40.997182
r2 41.028679
r3 40.965004
/

parameter GeriDonusumTesis_y(r)

/
r1 29.197192
r2 29.118060
r3 29.111668
/

parameter BertarafMerkezi_x(p)
/
p1 40.877460
p2 41.147295
/

parameter BertarafMerkezi_y(p)
/
p1 29.371686
p2 29.378915
/

parameter market_x(m)
/
m1 41.080638
...
...
m29 40.994798
/

parameter market_y(m)
/
m1 28.795054
...
...
m29 29.182002
/

Parameter
djk(j,k) k. yetkili söküm tesisleri ve j lisanslı araç toplayıcıları arasındaki mesafe (km) ;
 $djk(j,k)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{ToplamaTesis}_x(j)-\text{YetkiliSokumTesis}_x(k))+\text{SQR}(\text{ToplamaTesis}_y(j)-\text{YetkiliSokumTesis}_y(k)))$;

Parameter
dkl(k,l) l yeniden işleme parçalama tesisi ve k yetkili söküm tesisleri arasındaki mesafe (km) ;
 $dkl(k,l)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_x(k)-\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_x(l))+\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_y(k)-\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_y(l)))$;

Parameter
dkr(k,r) r geri dönüşüm tesisi ve k yetkili söküm tesisi arasındaki mesafe (km) ;
 $dkr(k,r)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_x(k)-\text{GeriDonusumTesis}_y(r))+\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_y(k)-\text{GeriDonusumTesis}_y(r)))$;

Parameter
dlr(l,r) r geri dönüşüm tesisi ve l yeniden işleme parçalama tesisi arasındaki mesafe (km) ;
 $dlr(l,r)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_x(l)-\text{GeriDonusumTesis}_y(r))+\text{SQR}(\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_y(l)-\text{GeriDonusumTesis}_y(r)))$;

Parameter
dlp(l,p) p elden çıkarmabertaraf merkezi ve l yeniden işleme parçalama tesisi arasındaki mesafe (km) ;
 $dlp(l,p)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_x(l)-\text{BertarafMerkezi}_x(p))+\text{SQR}(\text{YenidenislemeParcalamaTesis}_y(l)-\text{BertarafMerkezi}_y(p)))$;

Parameter
drp(r,p) p elden çıkarmabertaraf merkezi ve r geri dönüşüm tesisi arasındaki mesafe (km) ;

$drp(r,p)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{GeriDonusumTesis}_x(r)-\text{BertarafMerkezi}_x(p))+\text{SQR}(\text{GeriDonusumTesis}_y(r)-\text{BertarafMerkezi}_y(p)))$;

Parameter

$d_{km}(k,m)$ k yetkili sökümlük tesisi ile market arasındaki mesafe (km) ;
 $d_{km}(k,m)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_x(k)-\text{market}_x(m))+\text{SQR}(\text{YetkiliSokumTesis}_y(k)-\text{market}_y(m)))$;

Parameter

$d_{rm}(r,m)$ r geri dönüşüm tesisi ile market arasındaki mesafe (km) ;
 $d_{rm}(r,m)=100*\text{SQRT}(\text{SQR}(\text{GeriDonusumTesis}_x(r)-\text{market}_x(m))+\text{SQR}(\text{GeriDonusumTesis}_y(r)-\text{market}_y(m)))$;

Parameter ratio(n) oranlar

/
n1 0.67
n2 0.08
n3 0.13
n4 0.04
n5 0.04
n6 0.013
n7 0.02
n8 0.001
n9 0.006
/

scalar

sumn1_2;
sumn1_2= sum(n1_2, ratio(n1_2));

scalar

sumn3_9;
sumn3_9= sum(n3_9, ratio(n3_9));

scalar

sumn6_9;
sumn6_9= sum(n6_9, ratio(n6_9));

Parameter ratio_n1_2(n1_2);

ratio_n1_2(n1_2) = ratio(n1_2)/sumn1_2;

Parameter ratio_n3_9(n3_9);

ratio_n3_9(n3_9) = ratio(n3_9)/sumn3_9;

Parameter ratio_n6_9(n6_9);

ratio_n6_9(n6_9) = ratio(n6_9)/sumn6_9;

scalar

a1 Sökme-parçalama giden ELV içerisindeki Hulk'un ağırlık yüzdesi /0.81/
a2 Sökme -market oranı /0.135/
a3 Sökme -geri dönüşüm /0.055/
a4 parçalama-bertaraf /0.185/
a5 parçalama-geri dönüşüm /0.815/
a6 geri dönüşüm- bertaraf /0.15 /

*toplama maliyeti

ccj j lisanslı araç toplayıcısında birim başına ELV toplama maliyeti /200/

cck k yetkili söküm tesisinde birim başına ELV toplama maliyeti /100/
dck k yetkili söküm tesisinde birim başına ELV işleme maliyeti /490/
scl l yetkili parçalama tesisinde birim başına ELV işleme maliyeti /135/
rcr r geri dönüşüm tesisinde birim başına ELV işleme maliyeti /500/
lcp bertaraf maliyeti /250/
t taşıma maliyeti /0.013/
z0 amaç fonksiyonuna ait üyelik derecesi 1 iken aldığı değer /12055752.8848475/
zd0 amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonunun üyelik derecesinin sıfır olmasını sağlayan
yüzdesel değer /0.5/
d0 Return değerlerinin yüzdesel olarak sapma miktarı /0.37/
;

*n1: Demirli Metal , n2:Demir İçermeyen Metal , n3:Plastik ve Proses Polimerler ,
*n4:Lastikler , n5:Cam ,n6:akü ,n7: Akıcı Madde/Sıvılar , n8:patlamamış hava yastıkları n9:diğer

Parameter S1n(n)

/
n1 1200
n2 6000
n3 6000
n4 0
n5 6000
n6 3100
n7 6250
n8 200
n9 6000
/

Parameter S2n(n)

/
n1 250
n2 750
n3 0
n4 150
n5 0
n6 200
n7 300
n8 0
n9 0
/

positive variables

$X(i,j)$ i araç kullanıcısı tarafından j lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ELV miktarı

$Y(i,k)$ i araç kullanıcısı tarafından k yetkili söküm tesislerine gönderilen ELV miktarı

$W(j,k)$ j lisanslı araç toplayıcılarından k yetkili söküm tesisine gönderilen ELV miktarı

$S(n,k,m)$ k yetkili söküm tesisinden m ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir n
komponentmateryal miktarı

$A(n,k,r)$ k yetkili söküm tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak
olan n komponentmateryal miktarı

$B(k,l)$ k yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı

$G(n,l,r)$ l yeniden işleme parçalama tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen n materyalinin
miktarı

$E(n,l,p)$ l yeniden işleme parçalama tesisinden p elden çıkarmabertaraf merkezine gönderilen ASR'
nin miktarı

$F(n,r,p)$ r geri dönüşüm tesisinden p elden çıkarma bertaraf merkezine gönderilen n bertaraf
miktarı

$Fm(n,r,m)$ r geri dönüşüm tesisinden m ikincil pazara gönderilen

lamda bulanık kesişim kümesinin üyelik derecesi;

binary variables

$el(l)$ l yenden işleme parçalamaya tesisinin açılıp açılmama kararı
 $ek(k)$ k yetkili söküme tesisinin açılıp açılmama kararı;

variable

z Amaç Fonksiyonu ;

Equations

karmaksimize

Kisit1b

Kisit1

Kisit1a

Kisit2

Kisit3

Kisit4

Kisit5

Kisit6

Kisit7

Kisit8a

Kisit8b

Kisit9a

Kisit9b

Kisit10

Kisit11

Kisit12

Kisit13

Kisit14

;

karmaksimize.. z = e = lamda;

Kisit1b.. $\sum((n,k,m), S(n,k,m) * S1n(n)) + \sum((n,r,m), Fm(n,r,m) * S2n(n)) -$
 $(\sum(l, fl(l) * el(l)) + \sum(k, fk(k) * ek(k)) +$
 $\sum(j,k), W(j,k) * t * dj(k,j,k)) +$
 $\sum((n,k,r), A(n,k,r) * t * dkr(k,r)) +$
 $\sum((n,k,m), S(n,k,m) * t * dkm(k,m)) +$
 $\sum((k,l), B(k,l) * t * dkl(k,l)) +$
 $\sum((n,l,r), G(n,l,r) * t * dlr(l,r)) +$
 $\sum((n,l,p), E(n,l,p) * t * dlp(l,p)) +$
 $\sum((n,r,p), F(n,r,p) * t * drp(r,p)) +$
 $\sum((n,r,m), Fm(n,r,m) * t * drm(r,m)) +$
 $\sum((i,j), X(i,j) * ccj) +$
 $\sum((i,k), Y(i,k) * cck) +$
 $\sum((j,k), W(j,k) * cck) +$
 $\sum((j,k), W(j,k) * dck) +$
 $\sum((i,k), Y(i,k) * dck) +$
 $\sum((k,l), B(k,l) * scl) +$
 $\sum((n,k,r), A(n,k,r) * rcr) +$
 $\sum((n,l,r), G(n,l,r) * rcr) +$
 $\sum((n,l,p), E(n,l,p) * lcp) +$
 $\sum((n,r,p), F(n,r,p) * lcp)) = g = -z0 - (1-lamda) * zd0 * (z0);$

Kisit1(i).. $\sum(j, X(i,j)) = g = 0.7 * Return(i) - (1-lamda) * d0 * (0.7 * Return(i)) ;$

Kisit1a(i).. $\sum(k, Y(i,k)) = g = 0.3 * Return(i) - (1-lamda) * d0 * (0.3 * Return(i)) ;$

Kisit2(j).. $\sum(i, X(i,j)) = e = \sum(k, W(j,k));$

Kisit3(k).. $\sum(l, B(k,l)) = e = a1 * (\sum(i, Y(i,k)) + \sum(j, W(j,k)));$

Kisit4(k).. $\sum((m,n), S(n,k,m)) = e = a2 * (\sum(i, Y(i,k)) + \sum(j, W(j,k)));$

Kisit5(n3_9,k).. $\sum(r, A(n3_9,k,r)) = e = a3 * ratio_n3_9(n3_9) * (\sum(i, Y(i,k)) + \sum(j, W(j,k)));$

Kisit6(l,n6_9)..sum(p,E(n6_9,l,p))=e= a4*ratio_n6_9(n6_9)* (sum(k,B(k,l)));
 Kisit7(l,n1_2)..sum(r, G(n1_2,l,r))=e= a5*ratio_n1_2(n1_2)* (sum(k,B(k,l)));
 Kisit8a(r,n3_9).. sum(p,F(n3_9,r,p))=e=(a6)*(sum(k,A(n3_9,k,r)));
 Kisit8b(r,n1_2).. sum(p,F(n1_2,r,p))=e=(a6)*(sum(l,G(n1_2,l,r)));
 Kisit9a(r,n3_9).. sum(m,Fm(n3_9,r,m))=e=(1-a6)*(sum(k,A(n3_9,k,r)));
 Kisit9b(r,n1_2).. sum(m,Fm(n1_2,r,m))=e=(1-a6)*(sum(l,G(n1_2,l,r)));

*kapasite kısıtları

Kisit10(j).. sum(i,X(i,j))=l= capj(j);
 Kisit11(k).. sum(i, Y(i,k))+sum(j,W(j,k))=l= capk(k)*ek(k);
 Kisit12(l)..sum(k,B(k,l))=l=capl(l)* el(l) ;
 Kisit13(r).. sum((k,n),A(n,k,r))+sum((l,n), G(n,l,r))=l=capnr(r);
 Kisit14(p)..sum((l,n),E(n,l,p))+sum((r,n),F(n,r,p))=l=capp(p) ;

model ELV /all/;
 solve ELV using mip maximizing z;

Scalar ikincielsg 2. el ürünlerin satış gelirleri;
 ikincielsg = sum((n,k,m),S.l(n,k,m)*S1n(n));

Scalar gsg geri dönüştürülen ürünlerin satış gelirleri;
 gsg = sum((n,r,m),Fm.l(n,r,m)*S2n(n));

Scalar tlm yeniden işleme parçalama tesisinin toplam açılış maliyeti;
 tlm = sum(l, fl(l)*el.l(l));

Scalar tkm yetkili söküme tesisi toplam açılış maliyeti;
 tkm = sum(k, fk(k)*ek.l(k));

Scalar ttm toplam taşıma maliyeti;
 ttm = sum((j,k),W.l(j,k)*t*djk(j,k)) +
 sum((n,k,r),A.l(n,k,r)*t* dkr(k,r)) +
 sum((n,k,m),S.l(n,k,m)*t* dkm(k,m)) +
 sum((k,l),B.l(k,l)*t* dkl(k,l))+
 sum((n,l,r), G.l(n,l,r)*t* dlr(l,r))+
 sum((n,l,p),E.l(n,l,p)*t*dlp(l,p))+
 sum((n,r,p),F.l(n,r,p)*t*drp(r,p))+
 sum((n,r,m),Fm.l(n,r,m)*t*drm(r,m));

Scalar tELVm Toplam ELV toplama maliyeti;
 tELVm = sum((i,j),X.l(i,j)*ccj) + sum((i,k),Y.l(i,k)*cck) + sum((j,k),W.l(j,k)*cck);

Scalar tELVi Toplam ELV işleme maliyeti;
 tELVi = sum((j,k),W.l(j,k)*dck) + sum((i,k),Y.l(i,k)*dck)+
 sum((k,l),B.l(k,l)*scl) + sum((n,k,r),A.l(n,k,r)*rcr)+
 sum((n,l,r),G.l(n,l,r)*rcr)+ sum((n,l,p),E.l(n,l,p)*lcp)+
 sum((n,r,p),F.l(n,r,p)*lcp) ;

set mali maliyet kalemleri /mali1*mali7/;
 parameter maliyet(mali);

maliyet('mali1')= ikincielsg;
 maliyet('mali2')= gsg;
 maliyet('mali3')= -tlm;
 maliyet('mali4')= -tkm;
 maliyet('mali5')= -ttm;
 maliyet('mali6')= -tELVm;
 maliyet('mali7')= -tELVi;

display z.l,el.l,ek.l,X.l,Y.l,W.l,S.l,A.l,B.l,G.l,E.l,F.l,Fm.l, maliyet;

execute_unload "emineZİM6H.gdx" X.l Y.l W.l S.l A.l B.l G.l E.l F.l Fm.l z.l el.l ek.l maliyet

*execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=X.l rng=A1'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=Y.l rng=Sayfa2!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=W.l rng=Sayfa3!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=S.l rng=Sayfa4!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=A.l rng=Sayfa5!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=B.l rng=Sayfa6!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=G.l rng=Sayfa7!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=E.l rng=Sayfa8!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=F.l rng=Sayfa9!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=Fm.l rng=Sayfa10!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=z.l rng=Sayfa11!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=ek.l rng=Sayfa12!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls var=el.l rng=Sayfa13!'
execute 'gdxxrw.exe emineZİM6H.gdx o=emineZİM6H.xls par=maliyet rng=Sayfa14!'*



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emine Cin
Doğum Yeri ve Yılı : Aybastı, 02/06/1991
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : eminecinn@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Bayrampaşa Tuna Lisesi, 2009
Lisans : Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü
Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yayımları

Cin, E., Kuşakcı, A.O., 2017. A Literature Survey on Reverse Logistics of End of Life Vehicles. Southeast Europe Journal of Soft Computing, 6(1), 32-39.