

Ters Lojistikte Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Yaklaşımı

Abdullah Hasan Ali Ali

**DOKTORA TEZİ**

İstatistik Anabilim Dalı

Ocak 2017

Fuzzy Multi objective Optimization Approach in Reverse Logistics

Abdullah Hasan Ali Ali

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Statistics

January 2017

Ters Lojistikte Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Yaklaşımı

Abdullah Hasan Ali Ali

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
İstatistik Anabilim Dalı  
Yöneylem Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Hasan Kıvanç AKSOY

Ocak 2017

## ONAY

İstatistik Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Abdullah Hasan Ali ALI'nin DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Ters Lojistikte Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Yaklaşımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Hasan Kıvanç Aksoy

**İkinci Danışmanı:**

**Doktora Tezi Savunma Jürisi:**

**Üye:** Prof. Dr. Şenol Erdoğan

**Üye:** Prof. Dr. Zeki Yıldız

**Üye:** Doç. Dr. Zerrin Aşan Greenacre

**Üye:** Doç. Dr. Sevil Şentürk

**Üye:** Doç. Dr. Hasan Kıvanç Aksoy

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. H. Kıvanç Aksoy danışmanlığında hazırlamış olduğum “Ters Lojistikte Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Yaklaşımı” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 18/01/2017

Abdullah Hasan Ali Ali

2017

## ÖZET

Geri dönüşüm problemleri ve buna bağlı geliştirilen ağ tasarımı lojistikte, tedarik zinciri yönetiminde maliyetlerin azaltılması ve servis hizmetlerini iyileştirmede önemli bir rol oynamaktadır. İade edilen, kullanım ömrü bitmiş olan yada tüketicinin yeni ürün aldığı için elden çıkardığı ürünlerin geri toplanması ve maliyeti üretici açısından stratejik öneme sahiptir. Yeniden üretim, kullanılmış, yıpranmış ürünlerin endüstriyel işlemler sonucunda "yeni ürün" durumuna getirilmesidir. Yeniden üretim atık miktarını azaltmak için kullanılan doğrudan ve karlı bir yöntem olduğu kadar, doğal kaynakların tüketimini de azaltmaktadır.

Yeniden üretim firmalarının karşılaştıkları zorluklar daha çok tedarik yönünden olmaktadır. Buradaki zorluk sisteme dönen ürünlerdeki zamanlama ve miktar belirsizliği olduğu kadar dönen ürünlerin kalitesi ve buna bağlı olarak geri kazanımındaki yüksek değişkenlik oranı, sistemdeki parça akışını ve kontrolünü güçleştirmektedir.

Bu tez çalışmasında ele alınan çok amaçlı bulanık optimizasyon modelinin üç hedefi; toplam maliyetin en aza indirgenmesi, geri dönüşüm oranının maksimize edilmesi ve geri kazanım miktarının maksimize edilmesidir. Çalışmada talep, kullanılmış ürünlerin geri dönüşümü ve geri kazanım oranı bulanık değişken olarak ele alınmıştır. Sayısal bir örnek problem üzerinde farklı talep, geri dönüş ve geri kazanım oranları için üç hedefin etkileşimi ve sistem maliyetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışmamızda, ele alınan 18 farklı durum için toplam 144 deney sonuçlarını incelediğimizde verilen denemeler içinde kullanılan ürünlerin geri iade oranı ve talep arasındaki dengenin birinci amaç fonksiyonu üzerinde geri kazanım oranı ile birlikte önemli bir unsur olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Ters lojistik, Bulanık çok amaçlı optimizasyon, Genetik algoritma

## SUMMARY

Product recovery problems and reverse supply chain complications constitute the major problems of reducing the supply chain management costs and improving service functions. Collection process of used items which are returned to the manufacturer at the end of their useful life is strategically important. Remanufacturing operations is an industrial process to recover used products or manufactured products with certain faults. Remanufacturing operations keep the identity of the recovered items and restore them as a brand new product. Remanufacturing process not only reduces the consumption of natural resources, it also reduces the amount of waste and is an economic option for procuring new materials and parts.

One of the major difficulties for reverse supply chain firms is the reverse flow of used items from consumers to manufacturer. These difficulties are timing and amount of the used products. Besides that, quality and condition of the returned items complicate the coordination of the remanufacturing operations and system inventory control. In this dissertation, we considered a fuzzy multi-objective optimization model and the objectives are minimizing total operation costs, maximizing recovery rate of returned products, and maximizing amount of returned items. In this work, we assumed that demand rate, return rate of used products, and recovery rate of collected products are fuzzy variables. We investigated the system behavior with various values of return rate, recovery rate, and demand rate through its life cycle via numerical example. Also, we examine the interaction of these three objectives under different demand and return product rate circumstances.

We have examined 144 experiments for 18 different cases for return rate and demand and concluded that recovery rate of used products together with return rate of cores constitute the major factor on the first objective function.

**Keywords:** Reverse logistics, Fuzzy multi-objective optimization, Genetic algorithm.

## TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan kıymetli hocam danışmanım Sayın Doç. Dr. Hasan Kıvanç AKSOY'a sonsuz teşekkür ederim.

Yetişmemde katkıda bulunan, İstatistik Anabilim Dalı başkanı Prof. Dr. Veysel YILMAZ, Prof.Dr. Zeki YILDIZ ve İstatistik Anabilim Dalındaki diğer hocalarıma ve Fen Bilimleri Enstitü müdürü Prof.Dr Hürriyet ERŞAHAN, Fen Bilimleri Enstitü müdür yardımcısı DOÇ.Dr. Mustafa ERTUNÇ TAT, Fen Bilimleri Enstitüsünde çalışan diğer hocalar, Fen Bilimleri Enstitü sekreterliğinde çalışan Ziyet YILDIZ, Bülent SÜLÜK, Sadet ÇOLPAN Her zaman yanımda olan arkadaşlarım Dr.Bashar İBRAHİM ve ailesi, kütüphanede çalışanlar Erdim TETİK, Ali Rıza ALPTEKİN ve Metin CAN teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca doktora süresince madi desteklerini esirgemeyen Yurt Dış Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na, iyi ve kötü günlerimde hep yanımda olan aileme özellikle kardeşim Saad AL- JADDADİ ve hanımına Ğazele teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bana çalışmamda destek olan yüksek öğretim bakanlığında özellikle yöneylem araştırma kurumunda çalışın memur arkadaşlar, Bağdat üniversitesi, Ankarada bulunmakta olan irak ateşeliği ve bütün arkadaşlarözellikle ömer doğuya teşekkür etmek bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	vi
<b>SUMMARY</b> .....	vii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xiv
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xv
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	4
2.1. Ters Lojistikte Çok Hedefli Optimizasyon Modeli .....	4
2.2. Bulanık Çok Hedefli Optimizasyon Modellemesi .....	9
<b>3. TERS TEDARİK ZİNCİRİ</b> .....	14
3.1. Giriş.....	14
3.2. Lojistik Tanımı .....	15
3.3. Ters Lojistiğin Önemi .....	21
3.4. Ters Lojistiğin Uygulanma Nedenleri .....	23
3.5. Ters Lojistik Prensipleri, Sistemi ve İşleyişi.....	23
3.6. Ters Lojistik Faaliyetleri .....	25
3.7. Ters Lojistikte Araştırma Alanları ve Problemler .....	27
3.8. Ters Lojistik Ağ Tasarımı .....	28
3.8.1. Ters lojistik ağda ürün geri dönüşleri.....	31
3.8.2. Kullanılmış ürünü geri kazanma işlemleri .....	32
3.8.3. Ters lojistik ağı kurmada karar verme aşamaları .....	33
3.8.4. Ters lojistik ağ yapısı türleri.....	34
3.8.5. Ters lojistik ağ tasarımında nicel modellerin rolü.....	36
3.9. Ters Lojistik Ağının Tasarımı .....	37
3.10. Ters Lojistik Ağ Tasarım Modelleri.....	39
3.10.1. Deterministik ağ model .....	40
3.10.2. Stokastik ağ modelleri .....	40

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

	<u>Sayfa</u>
<b>4. METARYAL VE YÖNTEM</b> .....	43
4.1. Bulanık Küme Teorisine giriş .....	43
4.1.1. Bulanık mantığın temel kavramları .....	44
4.1.2. Bulanık kümeler ile ilgili temel kavramlar.....	46
4.1.2.1. <u>Temel açıklamalar</u> .....	46
4.1.2.2. <u>Bulanık kümeler</u> .....	46
4.1.2.3. <u>Bulanık kümelerde temel küme küresi işlemleri</u> .....	50
4.1.3. Zadehin genişleme prensibi.....	53
<b>4.1.4. Bulanık sayılar</b> .....	<b>55</b>
4.1.4.1. <u>Bulanık sayılarda temel aritmetik işlemler</u> .....	56
4.1.4.2. <u>Özel bulanık sayılar</u> .....	57
4.2. Bulanık Karar Verme .....	60
4.3. Bulanık Lineer Programlama (BLP) .....	65
4.4. Çok Amaçlı Lineer Programlama (ÇALP).....	66
4.4.1. ÇALP için çözüm yöntemleri lineer programlama .....	66
4.4.1.1. <u>Ölçekleme metodları</u> .....	68
4.4.1.2. <u>Lineer hedef programlama</u> .....	71
4.4.1.3. <u>Etkileşimli çok amaçlı lineer programlama</u> .....	74
4.5. Bulanık Çok Amaçlı Lineer Programlama.....	76
4.5.1. Üyelik fonksiyonlarının değişik biçimleri.....	78
4.6. Optimizasyon.....	84
4.6.1. Çok amaçlı faydalanma problemlerin çözümünde kullanabilecek Optimizasyon teknikleri .....	84
4.6.2. Optimizasyon yönetimleri .....	86
4.7. Genetik Algoritmalar.....	87
4.7.1. Genetik algoritmalara giriş .....	87
4.7.2. Genetik algoritmaların özellikleri .....	89

## ÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.7.3. Genetik algoritmanın temel çalışma prensibi.....	90
4.7.4 Amaç fonksiyonu ve parametreler .....	93
4.7.5. Genetik algoritmanın kodlanması ... ..	94
4.7.6. Çok amaçlı genetik algoritmalar.....	96
4.7.7. Bulanık çok amaçlı eniyileme problemlerin genetik algoritması kullanılarak çözümü .....	95
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>100</b>
5.1.Giriş.....	100
5.2. Problem Tanımı ve Modelleme Çerçevesi .....	101
5.3. Genetik Algoritma Yöntemini Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon .....	113
5.4. Sayısal Örnekler ve Analiz.....	114
5.5. Sayısal Sonuçlar .....	120
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>143</b>
6.1. Tartışma ve Sonuç.....	143
6.2. İleride Yapılabilecek Çalışmalar .....	145
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>146</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>163</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. İleri Lojistik Akışı.....	16
3.2. Ters Lojistik Akışı.....	17
3.3. Ters Lojistik ile İleri Lojistik Akışları.....	19
3.4. Ürün Yaşam Eğrisinde Aktiviteler ve İlişkileri.....	25
3.5. Ürün Geri Alım Opsiyonları.....	27
3.6. Ters Lojistik ağa girin ürün, Tamir etme, yenileme, parçalama, yeniden imal etme ve geri dönüştürme işlemleri.....	31
4.1. Bulanık Mantık İşlemleri.....	44
4.2. Konveks Bulanık Küme.....	47
4.3. Konveks Olmayan Bulanık Küme.....	48
4.4. Normal Bulanık Küme.....	48
4.5. Normal Altı Bulanık Küme.....	48
4.6. Genişleme Prensibinin Açılanması.....	54
4.7. FGT Bulanık Sayı Örnekleri.....	55
4.8. Bulanık A sayısının Alfa Keseni.....	55
4.9. L-R Tipli Bulanık Sayılar.....	58
4.10. Üçgensel ve Yamuksal Bulanık Sayılar.....	58
4.11. L-R Tipli Bulanık Sayısının Açıklaması.....	59
4.12. Amaç Fonksiyonu İçin Lineer Üyelik Fonksiyonu.....	77
4.13. Amaç Fonksiyonu İçin Lineer Üyelik Fonksiyonu.....	80
4.14. Üstel Üyelik Fonksiyonu.....	81
4.15. Hiperbolik Üyelik Fonksiyonu.....	82

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.16. Ters Hiperbolik Üyelik Fonksiyonu.....	83
4.17. Parçalı lineer üyelik fonksiyonu.....	84
4.18. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensiplerinin Akışı Şeması.....	91
4.19. Üyelik Fonksiyonu.....	97
5.1. Ters ve İleri Lojistik Şebeke Ağ Tasarımı.....	102
5.2. Ters ve İleri Lojistik Şebeke Ağ Tasarımı.....	114
5.3. Ters ve İleri Lojistik Şebeke Ağ Tasarımı.....	115

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Cizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1. Ters Lojistik ile İleri Lojistiğin Bazı Özellikleri	18
3.2. Ters Lojistik Unsurları	21
3.3. Ters Lojistikte İşlemler ve Tanımları	26
3.4. Ters Lojistik Ağda Karar Verme Aşamaları Stratejik karar verme seviyesi	34
5.1 Sayısal problem için işlem merkezi sayıları	117
5.2. Örnek problem veri kümesi	119
5.3. Amaç fonksiyon değerleri	120

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$\subseteq$	Alt Kümesi veya Eşit
$\subset$	Alt Kümesi
$\cup$	Birleşim
$\in$	Elamanıdır
$\notin$	Elemanı Değil
$\cap$	Kesişim
$\parallel$	Paralel
$\mathcal{R}$	Reel Sayılar Kümesi
$T$	Transpoz

### Kısaltmalar

BLP	Bulanık Lineer Programlama
ÇALP	Çok Amaçlı Lineer Programlama
DC	Distribution Center
EPQ	Ekonomik Üretim Miktarı
WEEE	Elektrik Atık Elemanları.
HP	Hedef Programlama
İSBler	İleri Sevkiyat Bildirileri
KV	Karar Verici
LP	Lineer Programlama
MILNP	Mixed – İnteger Lineer Olmayan Programlama
MILP	Mixed – İnteger Lineer Programlama
RLND	Ters Lojistik Ağ Tasarımları
TL	Ters Lojistik

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Acıklamalar</u></b>
AHP	Analitik Hiyerarşik Prosesi
BK BK	Bulanık Kural Bazlı Kümelenendiriciler
ÇAE OA	Çok Amaçlı Evrimsel Optimizasyon Algoritması
DİM	Dağınık İade Merkezi
LP	Doğrusal Programlama
EPQ	Ekonomik Üretim Miktarı
KOBİ	Küçük Orta Büyüklükte İşletmeler
KV	Karar Verme
MİM	Meerkezileştirilmiş İade Merkezi
MV	Ortalama Varyans
ORDÇ	Ortalama Risk Dezavantajlı Çarpıklık
MVS	Varyans-Çarpıklığı
SBO	Sezgisel Bulanık Optimizasyon
TVB	Toplam Verimli Bakımı
ABD	United States



## 1. GİRİŞ

Ters lojistik (reverse logistics) kavramı ve üzerindeki çalışmalar ekonomik, sosyal algı ve devletlerin uygulamaya koymuş oldukları yasalar gibi faktörlerden dolayı son dönemde artış göstermektedir. Ters lojistik (TL) ağ tasarımı bu konuda en çok araştırmanın yapıldığı alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Amerika ters lojistik İcra Konseyi'nin TL tanımı şu şekildedir: “ Hammadde, süreç içi envanterin, bitmiş ürün ve bunlarla ilişkili bilgilerin tekrar kazanımı veya uygun bir şekilde yok edilmesi amacıyla, tüketim noktasından kaynak noktasına doğru maliyet etkin ve etkili bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrolü sürecidir” (Rogers ve Tibben -Lembke, 1999; Ayvaz vd., 2013).

Karaçay (2005) dağıtım planlaması açı sından TL'yi “kullanılmış ürünün son tüketiciden üreticiye doğru fiziksel nakliyesini kapsar. Sonraki aşama geri dönmüş ürünün üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline getirilmesi işlemidir” olarak ele almıştır (Karaçay, 2005).

Flieschmann'a (2001) göre ters lojistik “geleneksel tedarik zincirinin ters yönde yeniden değer elde etmek ve uygun bir ortadan kaldırma gerçekleştirmek için, ikincil ürünlerin depolanması ve bunlarla ilgili akışını etkin ve verimli bir şekilde yerine getirilmesi için planlanması, uygulaması ve kontrol edilmesi sürecidir” (Flieschmann, 2001).

Ters lojistik sadece son tüketicilerden hatalı ürünlerin geri alınması ile başlayan, geri kazanım noktasına kadar uzanan bir süreç olarak algılanmaktadır. Aslında ters lojistik kavramı bundan daha fazlasını kapsamaktadır. Ters lojistik; söz konusu ürünün, ürün bileşimi, bozulma ve kullanım şekli gibi sebeplerle üretim ve dağıtım sürecinde veya müşteriye ulaştıktan sonra geri dönmesini ve yapısına göre onarım, yenileme, yeniden üretim, yamyamlaşma (parça kazanımı), geri dönüşüm gibi işlemlerle değer katılmasını ve gerekirse uygun şekilde bertaraf edilmesini kapsayan faaliyetlerin etkin ve verimli şekilde planlanması, uygulanması ve kontrolüdür. Ters lojistik sürecinin etkinliği için dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Bunlardan birincisi ileri ve ters lojistikte yer alacak aktörlerdir. Ters lojistik, ileri lojistikte yer alan aktörlerin yer alması maliyeti düşürebileceği gibi bilgi ve deneyim birikimi ile konudan çok fazla uzaklaşmadan ters lojistik faaliyetinin gerçekleştirilebilmesini sağlar. Bu sayede kapalı

sistemde lojistik yönetimi mümkün hale gelir. Ters lojistikte bir diğer önemli unsur ayrıştırma (disassembly) ve geri kazanım seçeneğinin belirlenmesidir. Ayrıştırma işlemi ile ürünler niteliklerine göre sınıflandırılırlar. Bu sayede her ürün veya malzeme en yüksek faydayı sağlayacak biçimde geri kazanım işlemine tabi tutulabilmektedir (Kırda, 2013).

Ters lojistiğin uygulandığı ve üreticiye geri dönen ürünlerin geri kazanımının sağlandığı üretim ortamlarında, geleneksel üretim sistemlerinde de olduğu gibi, üretim, dağıtım, stok, ve pazarlamaya ilişkin kararların alınması gerekmektedir (Karaçay, 2005).

Rogers ve Tibben-Lembke (1998) ters lojistiği “ürünlerin nihai geliş noktalarında değerlerini korumak veya ürünleri doğru bir şekilde ortadan kaldırmak için taşınması olarak ifade etmiştir”. Ters lojistik yeni bir kavram olduğu diğer kavramlarla karıştırılmamalıdır. Ters lojistik yeni ürün olarak kullanılamayacak olan atıkların toplanıp işlenmesini kapsayan atık yönetiminden farklı algılanmalıdır. Eksik olan nokta atığın tanımından kaynaklanmaktadır. Ters lojistik, iyileştirilebilecek bir değere sahip olan ürünlerle ilgilenmekte ve onları yeni bir tedarik zincirine katmayı hedeflemektedir. Ayrıca Ters lojistik’in tek hedefi çevresel yapıyı korumak olmadığından “yesil lojistik” kavramından da farklılık göstermektedir (Dekker vd., 2004; Tibben- Lembke ve Rogers, 2002).

Bu tez çalışmasında ters lojistik için, bulanık olarak genetik çok amaçlı optimizasyon modeli önerilmiştir. Bu amaçla belirsizlik koşullarında toplam maliyetin minimize edildiği üretim merkezleri ve geri dönüşüm merkezleri tarafından talebi karşılamak için ters lojistik ağı problemi öncelik tabanlı genetik algoritma ile çözümü önerilmiştir. Bir problemde belirli koşullar altında mümkün olan alternatifler içinden en iyisini seçmeye çalışan optimizasyon teknikleri kullanılarak ortaya konan “Optimum Çözüm” olarak adlandırılır ve optimizasyonda hedef her zaman için bu optimum çözümü yakalayabilmektir. Optimizasyon, anlamından da anlaşılacağı gibi, her alanda kullanılabilir. İnşaattan, ekonomiye, tasarım optimizasyonundan, lojistik sektörüne birçok alanda oluşabilecek olan probleme optimizasyon teknikleri yardımı ile bir en iyi çözüm aranır.

Çok amaçlı analizin tek amaçlı analize göre çeşitli avantajları vardır. Birincisi, stratejik kararların etkilerini anlamak için sistematik bir metodoloji sağlar. İkincisi, doğal ölçüm birimlerinde incelenecek çeşitli kriterleri verir.

Bu tez çalışmasında ele alınan TL modelinin optimize etmeyi hedeflediği amaç fonksiyonları aşağıdaki gibidir;

Birinci amaç, toplam maliyeti en aza indirmektir. Toplam maliyet içerisindeki unsurlar, müşteri talebini yerine getirememenin ceza maliyeti (penalty cost), tesisler, müşteriler arasında ve her bir tesis çifti arasındaki toplam taşıma maliyetlerini, tesisleri (tesisler, depolar, sınıflandırma depoları ve demontaj merkezleri) açmanın sabit maliyetlerinin toplamıdır.

İkinci amaç, TL problemi içerisinde çevre ve ilgili mevzuatlarla ilgilidir. Hedef, iade edilen ürünlerin toplam miktarını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu amacın asıl motivasyonu, çevre ile ilgili yasalardır.

Üçüncü amaç ise, iade edilen ürünlerin geri kazanım oranını maksimize etmektir. Bu hedef her bir ürün için toplanan kullanılmış ürün miktarı ile toplam atık miktarı arasındaki farkı göstermektedir.

Yukarıda verilen amaçları en iyilemeyi hedeflerken ele alınan kısıtlar; her bir ürüne olan müşteri talebinin karşılanması, her bir ürün için toplam geri dönüş miktarının toplam iade alan kapasitesini aşmaması, her bir ürün için önceden belirlenen minimum geri kazanım oranının sağlanması, ileri ve ters lojistiğin düzenlenmesi, ters lojistik faaliyetleri içerisinde yer alan depo, demontaj birimi ve yeniden üretim merkezlerinin kapasiteleridir. Bu tez altı bölümden oluşmaktadır.

İlk bölümde giriş, İkinci bölümde literatür araştırması ele alınmıştır. Bu bölümde ters lojistikte çok hedefli optimizasyon modeli ve bulanık çok hedefli optimizasyon modellenmesi sunulmuştur. Üçüncü bölümde ters tedarik zinciri, dördüncü bölümde metaryal ve yöntem, beşinci bölüm bulgular ve tartışma, altıncı bölüm de ise sonuçlar ve öneriler ele alınmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Ters Lojistikte Çok Hedefli Optimizasyon Modeli

Fleischmann vd. (1997), ters lojistik konusundaki kantitatif modellerin bir incelemesini sunmuş ve bu sahayı üç ana alana ayırmıştır: dağıtım planlama, envanter kontrolü ve üretim planlama. Ters dağıtım planlamasında araştırmacılar ters dağıtım ağının tasarımını düşünmüşler ve bunun zorunlu olarak ileri dağıtım ağlarının bir simetrik resmi olmadığına işaret etmişlerdir. Bu yüzden, bu yeni çıkarıma uyması için geleneksel ağ tasarım modellerini değiştirmek ve genişletmek gerekmektedir. Çalışmada, malzeme arzı ve ürün talebine dair yüksek sistem belirsizliği ve ağ yapısı gibi ters dağıtım ağlarının ayrı özellikleri tartışılmıştır. Yüksek envanter sistemlerinin belirsizliği, kısmen maddi değer tasarruflarını dengeleyebilir ve sistem performansının analizini karmaşık hale getirebilir (Fleischmann vd., 1997).

Krikkea (1999), yılında yapılan bir çalışmada atılan bilgisayar ekranlarının geri dönüşüm için uygun onarım stratejisinin belirlenmesini hedeflemiştir. Bu çalışmada ekran geri dönüşümünün ekonomik olarak hayata geçirilebilirliğini analiz etmiştir, Ayrıca önceki araştırmalarda geliştirilen modellerin pratik olarak uygulanabilirliğini geçerli hale getirmiştir (Krikkea vd., 1999).

Fleischmann (2000), fiziksel geri kazanım ağlarının tasarım sorunlarını incelemiştir. Ürün geri kazanım ağlarının temel özellikleri, saptanmıştır ve üretim-dağıtım ve atık bertaraf ağları gibi klasik lojistik yapılarıyla karşılaştırılmıştır. Geri kazanım ağlarının özelliklerini, klasik üretim-dağıtım ağlarıyla karşılaştırmak bazı büyük farklılıkları yansıtmaktadır. Bir farklılık, tedarik noktalarından çıkmaktadır. Klasik üretim-dağıtım ağlarında, tedarik; zamanlama, kalite ve miktar aracılığıyla çoğu durumda kontrol edilebilir, ancak geri kazanım ağlarında, bunları tahmin etmek zordur. Diğer bir farklılık, yüksek belirsizliğe maruz geri kazanılan ürün/malzeme için talep tahminidir (Fleischmann, 2000).

Mitra (2005), Hindistandaki geri dönüşümü yapılan cep telefonları bağlamında, geliri arttırmak için sayısal örnekler ve hassas analizlerle bir model sunmuştur. Örnekleme için iki kalite düzeyinde isim yapmış yeniden üretilmiş ve yenilenmiş ürünü

almışlardır, ve modelleri sorunların karmaşıklığındaki artışla birlikte kalite düzeylerinin herhangi bir miktarına için geliştirilebilmektedir. Modellerde kullanılan atık maliyeti satış eğiliminden akazanılan geliri de göstererek negatif olabilir (Mitra, 2005).

Labib (1998), yaptığı çalışmada İngiltere Otomotiv Endüstrisi için Dünya Klasında Bakım olarak adlandırdığı bir sistem geliştirmiştir. Bu sistemde makineler gösterdikleri performansa göre değerlendirilmiş, performans ölçütü olarak arıza sayısı ve arıza sıklığı ele alınmış ve düşük performans gösteren makineler incelenerek bunlara uygulanması gereken bakım stratejilerine çok ölçütlü karar verme yaklaşımıyla karar verilmiştir. Araştırmacı yaptığı bu çalışma sonucunda makinelerin arıza sürelerinin aylık 800 saatten 100 saate düştüğünü ifade etmiştir. Labib kötü performans gösteren makinelerin belirlenmesi ve bunların durumunun iyileştirilmesinin yeni bir konu olmadığını, ancak çok kriterli ve kural tabanlı bir yaklaşımın kendi geliştirdiği modelin bakım sistemine bir katkısı olduğunu ifade etmiştir (Mete, 2007).

Bevilacqua ve Braglia (2000), bir İtalyan petrol şirketi için Analitik Hiyerarşi Prosesini kullanarak bakım stratejisi seçimi çalışması yapmıştır. Bu çalışmada makineler kritiklik analizine tabi tutulduktan sonra bakım stratejileri AHP ile değerlendirilmiştir. AHP'nin etkinliğini artırmak için kullanılan metodoloji duyarlılık analizine tabi tutulmuştur. Bakım stratejilerinde önceliklerin potansiyel değişimlerini incelemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Amaç karar vericilerin değerlendirme düşünceleri değiştiğinde sonucun ne kadar değiştiğini kontrol etmektir (Mete, 2007).

Pati (2008), kağıt geri dönüşüm lojistik ağının tasarımında bir karışık tam sayı hedef programlama modelini sunmuştur. Bu model üç amacı yani toplam maliyeti en aza indirme, ürün kalitesini en yükseğe çıkarma ve atık kağıt geri kazanımını en üst düzeye çıkarmayı dikkate alır. Sorun, geri dönüştürülebilir atık kağıdın farklı türleri ve yönünün yanı sıra tesis lokasyonlarını belirlemektir. Üç amaca dayalı olarak, altı öncelik yapısı, üç amaç düzenlemesinin farklı kombinasyonlarını dikkate alarak yapılandırılmıştır. Böylece yapılarak, sistem davranışı üzerinde her bir amacın etkisini anlamada karar vericilere yardımcı olmak için farklı senaryolardaki amaçlar arasındaki değiş tokuşlar incelenebilir. Önerilen modelin kullanımını göstermek için, Hindistan'daki kağıt dönüşümündeki gerçek bir dünya sorunu çözülmüştür (Pati vd., 2008).

Sundin vd., (2008), üç farklı yeniden üreticinin durumunu ve bunların ilişkilerinin çekirdek tedarikçileriyle olan işlerini nasıl etkilediğini açıklamaktadır. Ürün hizmet sisteminin bir parçası olarak satılan ürünler verimli bir şekilde yeniden üretimler için

büyük bir potansiyele sahiptir. Bu, yeniden üretim faaliyetlerini planlanmak ve yeniden üretim tesislerine gelen çekirdekler hakkında ön bilgi elde etmek için büyük olasılıktan kaynaklanmaktadır (Sundin vd., 2008).

Xanthopoulos (2009), ömrünü tamamlamış elektrik ve elektronik ürünlerin iyileştirme işlemlerinin ideal tasarımı problemi üzerinde çalışmıştır. Yapılan çalışmanın amaç; ekonomik değer elde etmek ve üretilen toplam atık miktarını azaltmaktır. Ters lojistik kapsamındaki belirsizliklerin bulunması için simülasyon bazlı bir yaklaşım önermiştir. Genel olarak yaklaşım orta seviyeli yönetim kararlarını destekleyebilecek kullanımı kolay bir yöntem sunmuştur (Xanthopoulos, 2009).

Sundin vd., (2011), İsveç geri dönüşüm merkezlerindeki ana akışı ve düzen türlerini tanımlamayı hedeflemiştir. Amaç aynı zamanda, geri dönüşüm merkezi operasyonları için tasarım ve yönetim uyumu yapmak ve üretim teorisi uygulamaktır (Sundin vd., 2011).

Khajavi (2011), yetkilendirilmiş tesislere sahip entegre lojistik ağı için bir iki amaçlı model oluşturmuşlardır. Ağın cevap verme yeteneğini; ürün/iade taleplerine bağlı olarak teslim edilen ürünlerin/toplanan iadelerin, ileri ve ters akışların uygunluk sırasına göre ağırlıklandırılan toplamı olarak açıklamışlardır. Optimizasyon modelleri, ağ cevap verebilirliğini en üst seviyeye çıkarırken, toplam masrafları en aza indirmişlerdir. Modelin hassaslık analizi, ağın ileri cevap verebilirliğinin toplam ağ masraflarını önemli ölçüde etkilediğini gösterirken, artan bir ters yanıt verebilirlik yalnızca iade masraflarını etkilemiştir (Khajavi, 2011).

Ramezani ve diğerleri (2012), yılında en karmaşık modeli önermiş olabilir; çok ürünlü bir tümleşik ağ için bir çok amaçlı modele olasılıklı bir yaklaşımda bulmuşlar ve tüm amaçlar arasındaki değiş tokuşları incelemişler. Toplam maliyet ve ağ yanıt vericiliğinin yanında, modelleri ve imal edilen ürünlerin kalitesini en yükseğe çıkarmak için çeşitli tedarikçilerden elde edilen hammaddelerdeki kusurların toplam sayısını da en aza indirmişler (Ramezani vd., 2012).

Sundin ve Dunbäck (2013), bu araştırma otomotiv mekatronik yeniden üretimini aşamasında toplanmasına ilişkin sorunları belirlemek amacıyla, kullanılmış otomotiv mekatronik cihazlarını yeniden üreten ve satan KOBİ'lerin ters lojistikleri ile ilişkili sorunlara dair KOBİ'lerle yapılan röportajlara dayanan bir nicel araştırma sunmaktadır (Sundin ve Dunbäck, 2013).

Diabat (2013), Merkezileştirilmiş iade merkezleri (MİM) iadelerin verimli bir şekilde yönetimi için özellikle hazırlanmışlardır. Geçen yıllarda, ters lojistik ile uğraşan firmalar arasında giderek daha da popüler hale geldiler. MİM'ler dahil edilirken, ilk toplama noktalarını müşteri yaşam alanlarına yerleştirmek ve sonrasında toplama noktalarındaki küçük miktarların toplanabilmesi ve potansiyel olarak işleme ve taşıma masraflarında tasarruf sağlayacak şekilde büyük bir parti halinde iyileştirme noktasına getirilebilmeleri için merkezi iade merkezi dikkatlice kurulması zorunludur (Diabat vd., 2013).

Umeda (2013), ters lojistik akışı olan tedarik zinciri sistemlerine dair simülasyon modelleme yöntemi önermektedir. Bu makale, iki tür ters tedarik zincirini ele almaktadır: İTMELİ ve ÇEKMEELİ türden ters lojistik (Umeda, 2013).

Tao Yel (2014), yapılan araştırmada amac, ters lojistik ağı literatürlerini, incelemiştir. Literatürün büyük kısmı elektrik ve elektronik cihaz geri dönüşümü hakkındaki vaka çalışmalarına odaklanmaktadır. Ters lojistik ağı modelleri; kapalı döngülü ağ modeli, jenerik model, stokastik model ve 3PL modeli olarak sınıflandırılabilirler (Tao Yel, 2014).

Yadegaril (2015), yılında önerilen ağ kapsamındaki tesislerin açılmasına dair toplam maliyeti en aza indirmeyi amaçlayan çok aşamalı kapalı döngülü tedarik zinciri ağı tasarımı problemi geliştirilmektedir (Yadegaril, 2015).

Yadegari (2015) yılında bu model, düz ve ters lojistik ağlarındaki ağ tasarım kararlarını birleştirmekte ve ürünleri müşteri bölgelerindeki daha esnek lokasyonlara teslim etmek için dağıtım-orta seviyedeki işlemi geçme stratejisi ile ürünleri müşterilere teslim edebilmek için modeli zenginleştiren üç tür teslimat modeli (normal teslimat, doğrudan gönderi ve doğrudan teslimat) uygulamaktadır. Büyük ölçekli problemlerde ideale yakın çözümleri bulmak için kombinasyonel yerel arama yöntemi olan bir memetik algoritma uygulanmaktadır. LINGO ve CPLEX optimizasyon yazılımı ile küçükten büyüğe bazı test problemleri de çözülmektedir. Memetik algoritma ile elde edilen çözümlerin, önceki kesin yöntemlerle elde edilen çözümler ile karşılaştırılması sonucunda, algoritmanın kesinliği, kapasitesi ve etkinliği kanıtlanmıştır. Bu makale, bu problemlerin çözümünde esnek karışık tamsayı bir programlama modeli önermektedir (Yadegari, 2015).

Machacek (2016), yaptığı çalışmada ters lojistik gelişimindeki genel eğilimleri incelemektedir. Aynı zamanda üretim süreçlerinde ortaya çıkan atık malzemeleri ve

şirketlerin geri dönüşüm veya dış şirketlere nakliyat için toplanmasında nasıl karar aldıklarını belirtmektedir. Küçük ve orta boyutlu işletmeler için tipik olan ters lojistik sistemi kanalları, şematik gösterim ile açıklanmaktadır. Atık maddelerin yenilenebilir enerjiye dönüştürülmesine odaklanarak ters lojistiğe dair ekonomik açıdan kabul edilebilir bir model bulmak amacıdır ( Machacek vd., 2016).

Shuang vd. (2016), Yapılan bu araştırmada, bir onarım servisi için ters lojistiğe dair çok dönemli tasarım problemi için iki amaçlı karışık tamsayıli lineer bir programlama modeli önerilmektedir. Tesislerin kapasitesinde ve ağ ayarlarındaki kademeli değişikliklere uygunluk için ters lojistik ağını esnek hale getirmek amacıyla çok dönemli bir düzen göz önünde bulundurulmaktadır. NP-zor problemin iki amaçla çözümü için, baskın olmayan derecelendirme genetik algoritmasını (BDGA-II) yerel bir arama yöntemiyle bir araya getiren bir karma evrimsel algoritma geliştirilmiştir. Karma evrimsel algoritmayı, sayısal örnekler kullanarak BDGA-II ve  $\epsilon$ -kısıt yöntemi ile karşılaştırdık. Sonuçların karşılaştırma analizi, karma evrimsel algoritmanın genellikle BDGA-II'yi daha düşük hesaplama süresiyle geride bıraktığını gösterdi. Son olarak, geniş bir parametrik analiz yapıldı ve çeşitli yönetimsel sezgiler elde edildi. İlk olarak, üretici, müşterinin daha yüksek seviyeli servis kapsamı talebini karşılamaya çalışmalıdır ve daha sıkı servis kapsamı kısıtı daha uzun döngü süresine neden olmaktadır. İkinci olarak, ortalama onarım süresini azaltmak, maliyet azaltma ve müşteri memnuniyetini artırma açısından iyidir. Son olarak, nakliyat masraflarının artması, maliyet ile döngü süresinin yavaşlığı arasındaki çatışmayı zayıflatır. Bu makale statik bir model formüle etmiştir ve iade edilen ürünlerin miktarından yapılan tahmin sapmalarını görmezden gelmiştir (Shuang vd., 2016).

Daaboul (2016), yaptıkları çalışmada ters bir lojistik ağı tasarlamak için entegre kapalı döngülü bir PLM yaklaşımı önermektedir. Bu yaklaşım farklı uzmanlarla ve döngünün farklı aşamaları arasında işbirliği ve koordinasyona olanak sağlamaktadır. Bu yöntem iki süreçten oluşmaktadır: ömrün başlangıcından sonuna ve sonunda başına. İlk süreç potansiyel ters lojistik ağlarının çevresel etkilerini hesaplamak için ürün verilerini entegre ederken, ikinci süreç ürünü bu belirli ağa göre optimize etmeden önce en uygun ters lojistik ağını seçer. Bu makale ters akış için farklı kaynakları (orijinal tedarik zinciri ve alternatif tedarik zincirleri) göz önünde bulundurmaktadır. Hesaba katılan karar alma kriterleri, toplam ters lojistik ağı maliyeti ve tüm üretim döngüsü üzerindeki çevresel



etkileridir. Öneri, geri dönüştürülen alüminyum otomotiv parçalarına dair bir vaka çalışması ile gösterilmektedir (Daaboul, 2016).

## 2.2. Bulanık Çok Hedefli Optimizasyon Modellemesi

Bellman ve Zadeh (1970), belirsiz miktarlar ve bulanık karar verme kavramlarını tanıttılar (Bellman ve Zadeh, 1970).

Belirsiz küme fikri, belirsizlikten çok rastgelelik nedeniyle ilk olarak Zadeh (1965) tarafından önerilmiştir.

Zimmermann (1978), canlı çok amaçlı doğrusal programlama sorununu çözmek için belirsiz programlama yaklaşımını tanıttı (Zimmermann, 1978).

Bulanık ortamda modelleme ve optimizasyona belirsiz modelleme ve belirsiz optimizasyon denir. Bulanık modelleme, bulanık optimizasyon üyelik fonksiyonları ve /veya olasılık dağılım fonksiyonları açısından bulanık bilgilerin formülasyonu temelinde optimizasyon teknikleri ve araçları vasıtasıyla optimum bulanık modelini `çözmeyi amaçlaması gibi problem ve bulanık bilgilerin analizi anlayışına dayalı, uygun bir modeli inşa etmeyi hedefler. Bulanık optimizasyon uygulaması tüm işlem karmaşık bir sorundur.

Wang ve Liang (2004), bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, toplam üretim maliyetinin minimize edilmesi, taşıma ve sipariş maliyetinin minimize edilmesi, işgücü seviyesi değişim oranının minimize edilmesi olmak üzere bulanık üç hedef bulunmaktadır. Bunun yanı sıra bulanık olmayan stok taşıma kısıtı, işgücü seviyesi kısıtı, makine ve depo alanı kısıtı olmak üzere üç kısıt bulunmaktadır (Wang ve Liang, 2004)

Massa (2009), çok amaçlı optimizasyon problemlerindeki kusurları hesaba katan bir yöntem öne sürmektedir. En önemli amaç, bulanık kısıtlama kurallarını onaylayan ve bulanıklaştırılan hedef fonksiyonlarını optimize eden bulanık tasarım değişkenleri için uygun bir tasarım alanı belirlemektir. Önerilen yöntem, ürün özelliklerini karşılayan yeterli idealliğe sahip bir mekanik davranış elde etme çabasıyla tasarım aşamasında hesaba katılacak girdi bilgisi değişkenliği ve tasarımcı kararı ve/veya deneyimine olanak sağlamaktadır (Massa, 2009).

keleşoğlu (2007), geometrik doğrusal olmayan çok amaçlı bulanık optimum uzay kafesi tasarımı için bir algoritma hesabı geliştirilmiştir. Geliştirilen optimum tasarım

algoritması bulanık kümeler ve bulanık parametreler ile doğrusal olmayan analiz teknikleri birleştirilmesi ile elde edilir. Tasarımda bir çok amaçlı bulanık optimal karar kullanılır ( Keleşoğlu, 2007).

Özkan (2007), yaptığı çalışmada bulanık hedef programlama kullanarak üretim planlama ile ilgili bir model önerisinde bulunmuştur. Çalışmada bulanık hedefler, üretimin gerçekleştiği endirekt işçilik, genel dikim ve kolileme hedefleri, üretimde kullanılan kumaş girdisi için kumaş kesim firesi hedefi, üretilecek ürünlere ilişkin talep miktarı hedefleri ve üretim maliyeti hedefleri olmak üzere dört kısımda ele alınmıştır. Çalışmada üretim maliyeti hedefi için Lin ve Chen tarafından geliştirilen “böl ve yönet” ilişkisi kullanılmıştır (Özkan, 2003).

Ertuğrul ve Güneş (2007), haftalık üretim planı oluşturmak için bulanık hedef programlama modeli ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında Narasimhan Yaklaşımını kullanmışlardır. Bulanık hedef programlamanın klasik hedef programlamadan daha esnek olduğu kanısına varmışlardır (Ertuğrul ve Güneş, 2007).

Çevik ve Yıldırım (2010), süt imalatı yapan bir işletmenin verilerinden yararlanarak bulanık doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Modelin çözümünde Wonnens Yaklaşımını kullanılmıştır (Çevik ve Yıldırım, 2010).

Bhattacharyya (2011), klasik Ortalama-Varyans (MV) portföy seçimi modelini, bulanık ortamda kısa ve uzun vadeli olarak ele almışlardır. likidite ve temettü kriterlerine göre Ortalama Varyans-Çarpıklık (MVS) modeline uzatmıştır. Gömme teoremi bulanık MVS modelini canlı çok amaçlı kısıtlı optimizasyon problemine dönüştürmek için kullanılmıştır (Bhattacharyya, 2011).

Nureiz ve Watada (2011), yaptıkları araştırmada, bulanık rastgele regresyon yaklaşımı ile elde edilen bir bulanık amaç programlama önerisinde bulunmaktadır. Bulanık rastgele regresyon, bulanık rastgele koşullarla başa çıkılması ve geliştirilen model için katsayıların yaklaşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Öne sürülen yöntem, istenilen sonucu verebilecek çok seviyeli karar verme probleminin çözümü için kullanılan matematiksel yöntemde bulunan bulanık rastgele veri açısından önemlidir (Nureiz ve Watada, 2011).

Hossein Barough tarafından hazırlanan (2011), tarihli kaynakta, yazar, arz ve taleplerin trapezoid bulanık değerler olduğu ve amaç fonksiyonunun çok amaç varsayımında bulunduğu lineer olmayan bir ulaşım problemi sunmaktadır. Sonrasında, lineer olmayan kısıtlar, ek kısıtlar ekleme yoluyla lineer hale getirilmektedir. Son olarak,

problemin ideal çözümü, lineer programlama problemini bulanık ve net kısıtlarla çözerek ve bulanık programlama tekniği kullanılarak bulunmakta ve KaysonCo. Lojistik Departmanı'nda Karar Destek Sistemleri'nden biri olarak kullanılmaktadır (Barough, 2011).

Behret yaptığı çalışmada belirsizliğe sahip tek dönemlik envanter probleminin optimizasyonu analiz edilmektedir. Geçmiş veri eksikliğinden dolayı, talep öznel olarak belirlenmekte ve bulanık bir dağıtım ile temsil edilmektedir. Bu makale, bulanık tek dönemlik envanter problemi için toplam maliyet fonksiyonunun beklenen kesin değerinin belirlenmesi amaçlı bir analitik yöntem oluşturmayı hedeflemektedir. Bulanık toplam maliyet fonksiyonunu en aza indirgeyen ideal sipariş miktarını belirlemek için, güvenilirlik kuramına dayanan bir bulanık fonksiyonun beklenen değerini uygulayabiliriz. Elde edilen kapalı formdaki çözümlerin avantajları; alternatif değerlerdeki sayım gerekliliğini ortadan kaldırmaları ve ideal sipariş miktarı ve maliyet değerindeki model parametrelerinin etkilerini incelemeleridir (Behret, 2011).

Ondemir (2012), araştırmada bulanık çok amaçlı ARTODTO modelini sunmaktadır. Öne sürülen modelin amacı, çeşitli belirsiz sistem hedeflerine ulaşmak için kullanılan ürün ve bileşen talepleri ile geri dönüştürülen materyal taleplerini karşılamak amacıyla eldeki her EOLP'nin işlenme şeklinin belirlenmesidir (Ondemir, 2012). Glock (2012), yoğun ilgi gören bulanık talepli optimum ekonomik sipariş miktarı (EOQ) modelini bularak öğrenme eğrisine göre sınırlar arasındaki farkın talepteki yayılmayı veya oynamayı azalttığı yerde alt ve üst sınırlar arasındaki talebin değişebildiği varsayılır. Envanter politikası üzerindeki bulanıklığın öğrenme etkisi geliştirilen modelin sonuçlarının klasik EOQ modeliyle ve EOQ modelinin bulanık taleple (öğrenmesiz) karşılaştırılmasıyla analiz edilir (Glock, 2012).

Garg ve Sharma (2013), kararları daha gerçekçi, jenerik ve uygulama etki alanına uzatılabilir hale getiren belirsizlikleri nitelleştirmiştir. Bu yazı güvenilirliği ve sistem maliyetinin hedeflerle çeliştiği karmaşık bir yapılandırma olan üre gübre fabrikasının sentez ünitesi için bulanık çok amaçlı güvenilirlik optimizasyon problemiyle ilgilenmektedir. Karar verici tercihlerini ağırlık olarak ve hedeflerin üyelik fonksiyonları dikkate alarak, sorun bir tek-amaçlı optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir ve daha sonra parçacık sürüsü optimizasyonu ile çözülmüştür. Bulanık optimizasyon problemleri için modeller ve bazı tanınmış yöntemleri için katyon ve formülasyon

kullanılmıştır. Bulanık anlamda optimum çözümün ve problemin formüle edilmesinin yorumunun önemi vurgulanmıştır (Garg, 2013).

Dey (2015), yaptığı çalışmada belirli bir kısıt kümesine tabi birden fazla amaç ile uçak kafesi yapısı tasarımını optimize etme amaçlı bir sezgisel bulanık optimizasyon (SBO) yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu ideal tasarım formülasyonunda, amaç fonksiyonları. Bu makalenin en önemli amacı, SBO tekniğinin lineer olmayan bir yapısal problemi çözmeye nasıl kullanılabileceğini göstermektir. Ele alınan problemde elde edilen sonuçların karşılaştırması, sezgisel bulanık optimizasyonun bulanık optimizasyon karşısındaki üstünlüğünü açık bir şekilde göstermektedir (Dey, 2015).

Marian (2016), çalışmasında çok amaçlı evrimsel optimizasyon algoritmaları (ÇAEOA) kullanarak finansal verilerden bulanık kural bazlı kümeleyicilerin otomatik bir şekilde oluşturulması amaçlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yöntem, doğruluk yorumlanabilirlik değişimine dair çeşitli adımlarla karakterize edilen optimize çözümler kümesini (finansal BKBK) ele alan tek bir deneyle başlamaktadır. Kesinlik, hassaslık, belirginlik ve belirli sayıdaki yorumlanabilirlik ölçütlerini içeren çeşitli kapasite ölçütleri, elde edilen sistemleri değerlendirmek amacıyla uygulanmıştır. Yöntem finansal veri kümeleyicilerinin yorumlanabilirliği açısından alternatif yöntemlere oranla önemli ölçüde üstünlük sağlamıştır (Marian, 2016).

Antonelli (2016), yorumlanabilirlik ve yönetimi belirsiz ve dengesiz veri halinde tutarak, yüksek kesinlik elde etme amaçlı çok amaçlı evrimsel algoritmanın (ÇAEA) ortaya çıkardığı verilerden elde edilen tip-2 bulanık kural bazlı kümeleyicileri (BKBK) olarak finansal veri sınıflandırması yapmak için yeni bir yöntem sunmaktadır. Özellikle, tip-2 aralık bulanık kümeleri ve dengesiz veri setlerinin yönetimi için BKBK'lerin kural ve veri temellerini öğrenmek amacıyla MOEA bazlı bir yaklaşım olan PAES-RCS'yi genişletmiştir. Parametrik olmayan istatistiksel testler uygulayarak, üç geliştirmenin, karşılaştırılan yaklaşımları egride alan olarak hesaplanan kesinlik ve yasa sayısı olarak hesaplanan karmaşıklık açısından geride bırakan kümeleyicilerin elde edilmesine olanak sağladığını kanıtlanmıştır. Sonuç olarak, üç geliştirmeyi bir araya getiren PAES-RCS'nin genişletilmesi, ortalama olarak, en az sayıda kural ve toplam kural uzunluğu açısından yüksek kesinlik gösterdiğini kanıtladı (Antonelli , 2016).

Saborido (2016), Risk Dezavantajı Çarpıklığı (ORDÇ) modeli olarak adlandırılan bir modeli ele almıştır. Model, bütçe, sınır ve nicelik kısıtlarını göz önünde bulundurarak belirlenen bir portföyün beklenen getirisi, dezavantaj riski ve çarpıklığını optimize

etmektedir. Bu makalenin en önemli amacı, ORDC portföy seçim modelini bir tamamen kısıtlı üç amaçlı optimizasyon problemi olarak çözmek ve üç kriteri eş zamanlı olarak derinlemesine incelemek için daha önce kullanılmayan öğeleri bulmaktır. Çok amaçlı optimizasyon ORDC problemi lineer ve konveks değildir. Bu çalışmada, ORDC modelinin domine olmayan portföylerini bulmak için evrimsel çok amaçlı optimizasyon algoritmalarından faydalanmaktadır (Saborido, 2016).

### 3. TERS TEDARİK ZİNCİRİ

#### 3.1. Giriş

Ters lojistik, kullanıcılardan ya da müşteri hizmetleri merkezlerinden iade edilen ürünlere yeniden değer kazandırma sürecidir (Çetik ve Batuk , 2013). Tersi yönde olan ters lojistik, müşteriden üreticiye doğru ürün hareketi olarak görülmüştür (Rogers ve Tibben- Lembke, 2001; Çetik ve Batuk , 2013).

Küresel ekonominin ortaya çıkışı ve yoğunlaşan rekabet birçok şirketin etkili lojistik yönetiminin önemini kabul etmelerine neden oldu. Lojistik sistemlerinin etkili kullanımı yakın gelecekteki başlıca rekabetin avantajlı güçlerinden biri olacaktır. Böylece lojistik rekabetçi avantaj kazanmada arttırılmış önemi olan anahtar kavramlardan birisidir (Yıldıztekin, 2002).

Ters lojistik üzerindeki çalışmalar sosyal, ekonomik ve devletlerin koymuş oldukları yasalar gibi faktörlerden dolayı iş dünyasında hızlı bir şekilde artış göstermektedir.

Literetürde, ters lojistik ağ tasarımı konusunda çok sayıda araştırma yapıldığını görmekteyiz. Ters lojistik tanımı genellikle şu şekilde tanımlamıştır: “Hammadde, süreç içi envanterin, bitmiş ürün ve bunlarla ilişkili bilgilerin tekrar kazanımı veya uygun bir şekilde yok edilmesi amacıyla, tüketim noktasından kaynak noktasına doğru maliyet etkin ve etkili bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrolü sürecidir” (Rogers vd., 1999; Ayvaz vd., 2013).

Geri kazanma ağının genel yapısı ile tesislere karşılık gelen düğümler ve taşıma kanallarına karşılık gelen yaylar tanımlanmaktadır. Tesislerin beş ara aşaması dikkate alınmaktadır. Bu aşamalar, iadelerin toplanması, izlenmesi ve ayrımı için demontaj merkezleri ve geri kazanmaya dayalı iade sınıflandırmasıdır. Birincil piyasalardan iade edilen ürünleri toplamak için gerekli sınıflandırma deposu, ürünlerin dağıtım depoları, kullanılmış ürünlerin yeniden işlenmesi ve yeni ürünlerin üretimine yönelik tesislerden oluşur.

Ürünler hem ileri hem de ters yönde taşınır. İleri lojistik ağları; üretim lokasyonları, depolar ve dağıtım lokasyonları ve birincil piyasa lokasyonlarından meydana gelir (Rahmatian, 2008).

Günümüzde, kullanılmış ürünlerden elde edilen ekonomik yararların artması nedeniyle atıkların geri kazanımı önemli bir konu haline gelmiştir. Bin dokuz yüzlü yılların başlarında tüketicilere, atık miktarının artmasına rağmen ve geri dönen ürünlerin çözümüne yönelik etkin bir atık yönetimi uygulanmamıştır (Deniş, 2012).

Lojistik uygulanmaları, geri kazanım metodu; enerji tasarrufu, ekonomik kazanç, başta insan olmak üzere canlı sağlığının olumsuz etkilerden korunması gibi nedenlerden dolayı son derece önemlidir. Geri dönüşüm de geri kazanım yönetiminin bir bileşenidir ve bütün dünyada gittikçe artan yaygın uygulama alanlarına sahiptir. Dolayısıyla insan hayatını kolaylaştıran ekipmanların kullanımı gün gittikçe artmaktadır. Bu durum optimum şekilde çözülmesi gereken sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Ciddi vd., 2014).

### 3.2. Lojistik Tanımı

Lojistik Yunanca 'Logistikos' kelimesinden gelmiş; 'hesap kitap yapma bilimi' anlamına gelmektedir. Lojistik hayatın bir parçası olsa da kavramsal olarak ortaya çıkışı 20. yüzyılda gerçekleşmiştir (Yardımcıoğlu, vd., 2012; Eker, 2006).

Ters lojistik, bir şeyi yeniden satılabilir hale getirmek ve elde edilen çıktıların tedarik zincirine yeniden dahil olmaktadır (Birdoğan, 2003).

Genellikle "lojistik" terimi akla şirketten çıkan ve müşteriye giden mallarının akışını ve taşımacılığını getirir. Lojistik Yönetimi Konseyi (1998) lojistiği "müşteri ihtiyaçlarını yerine getirme amacıyla menşeden tüketim noktasına etkili, az masraflı hammadde akışını, süreçteki stoku, nihai malları ve ilgili bilgileri planlama, uygulama ve kontrol etme süreci" olarak tanımlamaktadır. "Ters Lojistik" aynı zamanda kaynakları verimli bir şekilde kullanmak için tekrar üretim, geri dönüşüm ya da ortadan kalkma gibi meselelerle ilgilenir (Fleischmann, 2001).

Araştırma alanında, "ters lojistik, iade lojistiği, ters lojistik ve ters dağıtım" gibi TL'yi andıran bazı terimlere rastlanabilir. Bu yeni kavram çoğunlukla geri kazanma ile ilişkilendirilmiş fakat yol, zaman ve ürün akış yapısı gibi çoğu yönden

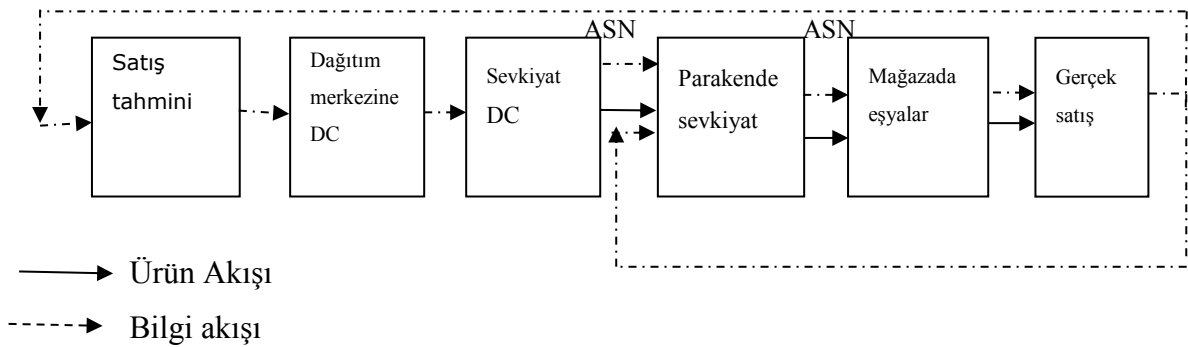
farklı göstermektedir. Ürünlerin tekrar kullanımı ekonomik faydalarından dolayı bir çok yıldır uygulanmaktadır (Melissen, Ron , 1999).

Geri dönüşüm, zararlı malzemelerin kullanılması; kaynak tasarrufu, geri dönüşüm, yerine koyma malzemelerin yeniden kullanımı ve elden çıkarma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ile ilgili lojistik aktivitelerini kapsamaktadır (Stock, 1992; Kara, 2008).

Başka bir tanım ise: ürünlerin tüketiciden üreticiye doğru ters yönde hareketidir. Rogers 1998 yılında Ters Lojistiği şöyle tanımlamıştır. Uygun şekilde bertaraf etmek için malzemelerin, ürünlerin,envanterlerin ve ilgili bilginin tüketim noktasından başlangıç noktasına olan planlama, uygulama ve kontrol faaliyetlerinin yürütülmesidir (Pohlen ve Farris, 1992; Kara, 2008).

Ters lojistik, geleneksel lojistikten ya da ileri lojistikten, faaliyetlerden oldukça farklıdır.

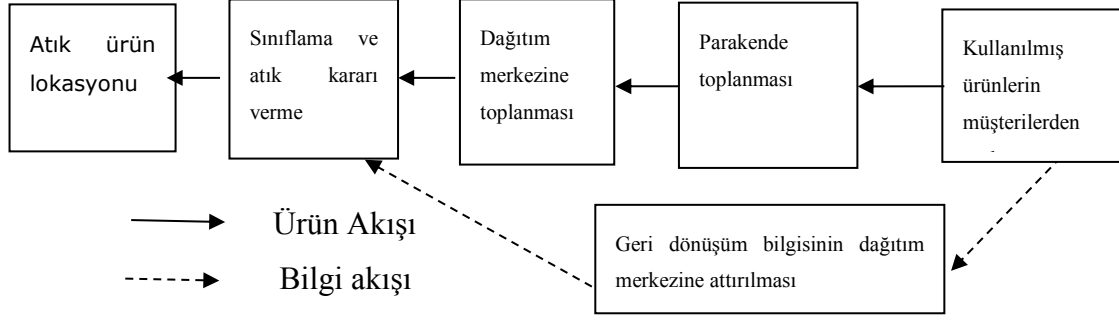
İleri lojistik (hammaddeden son kullanıcıya) ve ters lojistik (son kullanıcıdan geri kazanıma ya da yeni kullanıcıya) arasındaki sınır birinin modern tedarik zincirinde 'hammaddenin' ne olduğu ya da 'son kullanıcının' kim olduğunu merak etmesi gibi katı bir şekilde tanımlanmaz (Tibben, and Rogers , 2002). Çizelge 3.1. Rogers ve Tibben-Lembke (2002) tipik bir perakende lojistik sürecine ilişkin bilgi akışını şekil 3.1'de ki gibi gösterilmiştir (Tibben, and Rogers , 2002).



Şekil 3.1. İleri Lojistik Akışı (Rogers vd., 2002; Alamassı, 2014).



Aşağıdaki şekil 3.2’de ters lojistik bilgi akışı gösterilmiştir. Buna göre, geri dönen ürünler, toplanarak dağıtım merkezine aktarılır. Aynı zamanda dönen ürünlere ilişkin bilgiler; ürün tanımı, iade durumu, müşteri bilgisi ...vb. iade işlem merkezine aktarılır (Alumur, 2012).



Şekil 3.2. Ters Lojistik Akışı (Rogers vd., 2002; Alamassı, 2014).

İleri ve ters lojistikte olası akışları en basit şekli ile ifade edilmesi ve etkin bir dağıtım ağının oluşturulabilmesi için aşağıda çizelge 3.1’de tanımlanan bazı özelliklerin değerlendirilmesi gerekmektedir (Fleischmann vd., 1997).

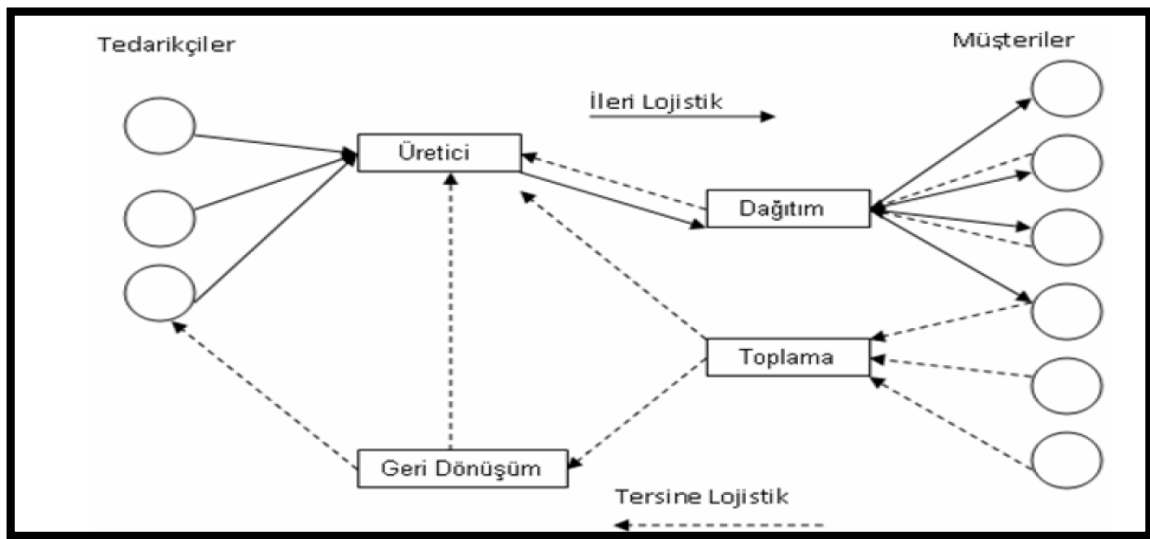
Çizelge 3.1. Ters Lojistik ile İleri Lojistiğin Bazı Özellikleri (Tibben-Lembke ve Rogers, 2002; Karaçay, 2005; Demirel vd., 2008).

İleri lojistik	Ters lojistik
Tahmin yapmak göreceli olarak kolaydır.	Tahminler daha zordur.
Nakliye “birden çokadoğru”dur.	Nakliye “birden çokadoğru”dur.
Ürün kalitesi standarttır.	Ürün kalitesi standart değil.
Gidilecek yer/rotalama belirlidir	Gidilecek yer/rotalama belirli değildir.
Kanallar standartlaştırılmıştır	İstisnalarla yönlendirilir.
Fiyat genellikle standarttır	Fiyatlama birçok faktöre bağlıdır.
İleri dağıtım maliyetleri muhasebe sistemi ile yakından takip edilir.	Ters lojistik maliyetleri daha az belirgindir
Stok yönetimi tutarlıdır	Stok yönetimi tutarlı değildir.
Taraflar arası anlaşmalar açık ve anlaşılırdır	Taraflarla anlaşmalar ilave varsayımlar sebebi ile daha karmaşıktır
Pazarlama metotları belirlidir	Pazarlama metotları belirlidir

İleri lojistikte görev alan bazı üyeler olabileceği gibi, ters lojistiğe özgü görevleri gerçekleştiren yeni üyeler de olabilirler. Ağ tasarımı aşamasında, olası fonksiyonlar olan ürün testi, ayrıştırma, nakliye ve ürün işlemenin nerede yapılacağı belirlenmelidir.

İleri ve ters dağıtım kanalı arasındaki ilişki aynı elemanlar bile kullanılıyor olsa, iki dağıtımda farklı fonksiyonlar gerçekleştirileceğinden bunların entegrasyonunda rotalama düzeyinde karmaşıklıklar olacaktır. İleri lojistikte ürün ve paketleme kalitesi belirli ve ayındır, bu da taşımayı kolaylaştırır. Ancak, geri dönüşlerde ürünler tam olarak paketlenmemiş olabilir. Aynı zamanda, dönen ürünler, giden yeniürünler kadar büyük miktarlarda olmadığından, bunlar için taşımayı

kolaylaştırıcı paketlemeler kullanılmamaktadır. Paketlemenin olmaması, ürünün üretici firma ve işleyecek personel tarafından tanımlanmasını da zorlaştırmaktadır. Geri dönen ürünün kalitesi standart olmadığından tedarikçi, müşterilere satın aldıkları ürün miktarı ve diğer birçok faktöre bağlı olarak farklı fiyatlar uygulayabilir. İleri lojistik, bir orijin noktasından birçok dağıtım noktasına olacak şekilde akarken, ters lojistikte bunun ters geçerlidir. Ters lojistik ile İleri lojistiğin etkin bir dağıtım ağının oluşturulabilmesi için bazı özelliklerin değerlendirilmesi aşağıdaki (Şekil 3.3) 'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Ters Lojistik ile İleri Lojistik akışları (Fleischmann vd., 1997).

Ters lojistik işlemleri ilk olarak 1980'lerde tekstil ürünlerinde ve daha sonra elektronik endüstrisinde (bilgisayar, ofis otomasyonu, haberleşme gereçleri, kontrolü ve fabrika otomasyonu v.b.) uygulanmıştır. Bin doksanlı yıllarda firmalar kârlarını iyileştirmek için ters lojistiği bir işletme stratejisi olarak kullanılmıştır (Şengül, 2011; Birdoğan, 2003; Karaçay, 2005).

Türkiye'de, ters lojistik ağı kurmasıyla ürettiği malları değerlendiren firma sayısı bir elin parmaklarını geçmez. Plastik şişe üreten , üretici firmalar adına ters lojistik faaliyetiyle ürünlerinin %30 unu geri toplamakta ve topladığının %70 ini de geri kazanmaktadır. Lojistik ağları da Ters Lojistik süreçlerini içermeyip atıklar çoğunlukla çöp müteahhitleri tarafından toplanmaktadır (Birdoğan, 2003).

Ters lojistik ile ilgili çalışmalar, son 10-15 yılda büyük bir gelişme göstermiş, 90'lı yıllardan itibaren üretim ve işlemler yönetimi alanında da ele alınmaya

başlamıştır. Pek çok dergi, bu alanlarda özel sayılar yayınlamış; hatta günümüzde bu alana özel dergiler gibi ortaya çıkmıştır (Akyıldırım, 2016).

Ters lojistik tanımı ile ilgili, Lambert ve Stock 1981 yılında üreticiden tüketiciye doğru, ileri lojistik önemi nedeni ile “tek yönlü bir yolda yanlış yönde gitmek” olarak tanımlanmıştır (Çetin vd., 2013).

Stock (2001), ters lojistiği “ürün dönüşleri, kaynak azatlımı, geri dönüşüm, materyal ikamesi, materyallerin yeniden kullanımı, atıkların yok edilmesi ve yakılması, tamir ve yeniden üretimde lojistiğin rolü” olarak tanımlamıştır (Çetin vd., 2013). Tedarik zincirinde hammaddeler üreticiye gönderilir pazarda dağıtıcıya nakledilir ve tüketici ürüne ulaşır (Ammons vd., 1999).

Quin (1997), tedarik zincirini; sipariş işleme, stok yönetimi, nakliye, depolama ve müşteri hizmeti olarak tanımlamıştır (Lummus ve Vokurka, 1999).

İki bin’li yıllarda, tüketici ürünler, alüminyum kaplar, yeniden kullanılabilir paketleme malzemeler, plastik kaplar, kağıtlar gibi ürünlerin geri kazanılması ve zarar görmüş, stokta kalmış, herhangi birkazadan kurtarılmış malzemeyi geri alma ve fazla stoktan dolayı geri dönen ürünlerin işlenmesini alınmaktadır (Heine, 1993).

Ters lojistik alanında ortaya çıkan ürünlerin geri alınması ile ilişkilendirilmiş lojistik aktiviteler tasarlanmıştır (Fleischmann vd., 1997).

Giuntinu ve Andel (1995), Ters lojistiği altı kısımda incelemişlerdir. Buna göre ters lojistik, aşağıda sıralanan temel adımlar ile ifade edilmiştir (Giuntinu ve Andel, 1995)

*Gözden geçirme:* Firmanın geri alınmış ürün ile ne yapacağına karar vereceği aşamasıdır.

*Kabul:* Müşteriden geri kazanılacak ürünün alınması. Bu aşamada firmanın sipariş giriş veya muhasebe sistemlerinden faydalanmaktadır.

*Geri alım:* Ürünün müşteriden fiziksel olarak taşınması aşaması.

*Yenileme:* Geri dönen ürünün tamiri veya işlenmesidir.

*Nakil:* ürün, organizasyonun tedarik zincirinden taşınır.

*Re-Engineering:* Ters tedarik zincirini kontrol etmesi aşamasıdır.

Çizelge 3.2. Ters lojistik unsurları ( Karacay, 2005; Lourenço ve Soto, 2002).

Nedir?	Girdiler	Aktivitele	Çıktı	Nereden?	Nereye?
*Süreçler	*Atılmış	*Etkili ve	*Yeniden	*Tüketim	*Üretici
*Görevler	Ürünler	maliyet	Kullanılabilen	noktası	Merkezi
*Yetenek	*Kullanılmış	aktif	Ürünler		*Toplama
ve		akışın			
Aktiviteler	Ürünler	planlama,	*Geri		Noktaları
	*Daha	uygulama	Dönüşüm		*Orijin
	öncegönderilmiş	ve			
	ürün ve	kontrolü	*Yeniden		Noktası
	Parçalar	*Toplama	Üretim		
	*Zararlı ve	*Nakliye	*Yok etme		
	Zararlı	*Depolama	*Azaltma		
	Olmayan	*İşleme	*Yönetme		
	Atıktan	*Kabul	*Geri alım		
	ürün ve	*Geri	Değeri		
	Paketler	kazanım			
	*Hammadde	*Paketleme			
	*Bilgi	*Gönderme			
	*Süreç içi	*Azaltma			
	Stoklar	*Yönetme			
	*Nihai ürün	*Yok etme			

### 3.3. Ters Lojistiğin Önemi

Genel olarak lojistiğin görevi, çalışanlardan en üst düzey yönetime kadar, ürün ya da hizmetin belirli bir yerde, belirli bir zamanda ve istenilen kalitede sevkiyatını garanti altına almaktır. Bu anlamda lojistik şu iş süreçlerini içerir:

- 1- Müşterilerle olan dağıtım ilişkisi,

2- Satıcılar ve ambar arasındaki hammaddeyi temin operasyonunu sürekli kılmak ve ilişki kurmak,

3- Geçici güzergâhları ve yarı bitmiş ürünlerin stoklanmasını da içeren üretim süreci.

Lojistik olmaksızın; üretim, pazarlama ve uluslar arası ticarete başarılı olmak olanaksızdır. Olağanüstü durumlarda lojistiğin gerekliliği daha da iyi anlaşılmıştır. Bu alandaki planlamayı en iyi yapan taraf çok büyük avantajlar sağlamıştır. Kimi zaman ordular karşılıklı savaşmak yerine hiç kılıç kullanmadan kazanmanın sırrını da düşmanın kaynağını yok etmek ya da etkisiz hale getirmek için çalışmışlardır (Karacan, 2011; Yardımcıoğlu, 2012).

Ters lojistik; lojistiğin akış yönünün ters yönlü olan sürecidir. Ters lojistik, malların tekrar dönüşümü olarak algılanmıştır (Karacan, 2011).

Ters lojistik aktivitelerinin ekonomide önemli bir rolü olduğu ve önemi artmaktadır. Avrupa’da elektronik ve otomobil gibi birçok ürünlerin toplanması sorumluluğu üreticilere verilmektedir. İşletmeler, yasal baskılar gibi değişen koşullar sebebi ile Ters lojistik stratejileri geliştirmekte ve uzun dönemli planlarını buna göre yapmaktadırlar. Örneğin, BMW’nin stratejik amacı, 21. yüz yıl’da tamamıyla geri kazanılabilir otomobiller tasarlamaktadırlar (Dowlatsahi, 2000; Hillegersberg vd., 2001).

Ters lojistik, otomotiv endüstrisi dışında, bilgisayar, elektronik, çelik, kimya, ilaç, tıbbi araçları da içeren birçok endüstride kullanılmaktadır. Ters lojistik uygulayan büyük firmalar arasında General Motors, BMW, Delphi, DuPont ve HP sayılabilmektedir (Rogers vd., 2001).

Ancak; ters lojistik aktivitelerinin tutarını, firmalar ters lojistik aktivitelerini yeterince takip etmediklerinden dolayı belirlemek oldukça güçtür. Rogers vd., 2001 yılında yaptıkları bir çalışmada, Ters lojistik maliyetlerinin, toplam lojistik maliyetlerinin yaklaşık %4’ü kadar olduğu tahmin edilmektedir. Bu durumda maliyet, ABD GSMH’sının yüzde yarımı kadar olduğu söylenebilmektedir ( Karaçay, 2005).

### 3.4. Ters Lojistiğin Uygulanma Nedenleri

Ters lojistiğin uygulama nedenleri 5 başlık altında toplanır:

**1- Yasalar açısından:** Firmalar tarafından üretilen ürünlerin bir çok ülkede belirli bir kısmını toplamakla (Almanya’da 1991 yılında yürürlüğe giren Alman Atık ve Paketleme Yasası kapsamında, üreticiler, dağıtımıcılar ve perakendeciler paketleme atıklarının en az %60-%75’ini geri dönüştürmek zorundadırlar) yükümlüdürler (Fleischmann vd., 1997; Şengül, 2011). Avrupa Birliği, 2003 yılında WEEE (Waste Electronic and Electrical Equipment- Elektronik ve elektrik atık elemanları) yönergesine göre ürünlerin yeniden kullanımını desteklemiştir (Nakipoğlu, 2007). Türkiye de otomotivde geri kazanım şu an için bulunmamakta ancak bu hususla çalışmalar sürdürülmektedir.

**2- Ekonomi açısından (Doğrudan ve Dolaylı):** Malzeme girişi, maliyet azalımı ve katma değeri ters lojistiğin ekonomiye doğrudan faydalarından ve geri kazanım şeklindedir. Bu ürünlerden çıkardığı parçalar demonte ederek, çok büyük kazançlar elde etmekle tanınmıştır (Fleischmann vd., 2002).

**3- Pazarlama açısından:** Firmalar tarafından yapılan çevresel raporlarda, yeniden kullanım ve geri kazanım aktivitelerini vurgulamaktadırlar (Fleischmann, 2001).

**4- Varlığı koruma:** Üretilen ürünlerin bilgisini korumakta ve diğer firmaların eline geçmesi önlenmektedir.

**5- Kurumsal Sorumluluk:** Bu sorumluluğun oluşmasında ilkeler ve değerler vardır. Müşteri, gelirini artıran ürünü geri getirme programını destekler (Gaurang, 2006).

### 3.5. Ters Lojistik Prensipleri, Sistemi ve İşleyişi

Lojistik faaliyetlerinin uygulanması için, Lojistiğin kavramsal tanımı yapıldıktan sonra gerek üretim sektöründe, gerekse diğer lojistik sektörlerde genelde aynı olan prensiplerine değinmek gerekmektedir. Bu nedenle lojistik prensipler lojistik faaliyetlerin planlaması için rehber olarak kullanılmalıdır. Ürünün kullanım yada ömrü sonunda yeniden üretim, geri dönüşüm yada uygun şekilde yok etme amacı ile oluşan dönüşler, yeterli olmayan kalite, üretim sonucu artan ürünler gibi sebeplerle geri dönüşler, bazen hatalı ürünler ancak, ürün tedarik zincirine girdikten sonra fark edilebilir ve zincirden geri çağırılır olması, bazı ticari anlaşmalara dayalı geri

gönderimler veya zamanlama ve ürün kalitesi açısından talep ve tedarikçi eşleşmemesi durumunda oluşan dönüşler gibi sebeplerden dolayı, ekipman ve materyallerden dolayıdır. Ürün, bileşen, tedarik zincirinde ters lojistiğe konu olabilmektedir. Ayrıca yasal zorunluluklar yada çevresel kaygılar ekonomik sebepler ile sosyal sorumluluk firmaları ve diğer organizasyonları geri kazanımda bulunmaya neden olan sebepler arasındadır (Brito ve Dekker, 2002).

Ters lojistik; geri dönmüş üründen yeniden üretim yada geri dönüşümle yeni ürün elde etmek için enerji tüketimi gerektirmesi ve dolaylı ekonomik sebeplerden dolayı daha karlıdır. Ters lojistik; işletme, pazar ve rekabet koşulları ile stratejiler nedeni ile içinde yer alabilir. Gelecekteki kanunlara hazırlanmak üzere firmalar stratejilerini bu yönde oluşturabilirler. Diğer firmaların teknolojiyi almasını yada pazara girmesini engellemek için rekabet açısından uzun dönemde bu kararı alabilirler. Müşteri ile daha yakın ve iyi ilişkiler içinde olmak ve müşteri gözünde çevreci imajı oluşturmak için ters lojistik aktivitelerini uygulayabilirler. Ters lojistik firmalar için yukarıda bahsedilen faktörlerin bir karması olarak ortaya çıkmaktadır. Ürün geri alım sürecinde, firmanın ürün geri alma opsiyonlarını bilmesi oldukça önemlidir. Ancak bu analizin doğru yapılabilmesi için tedarik zinciri içindeki ilgili tüm birimlerin katılımı ile, aşağıdaki şekilde dört sınıfta toplanabilecek bilgilerin edinilmesi gerekmektedir (Thierry vd., 1995).

*1- Dönüş akışının şiddeti ve belirsizliği hakkında bilgi:* Geri dönüş akışının şiddeti ve belirsizliğini üreticiler tarafından belirlenmekte ve her geri akış, farklı karakteristikte olacaktır.

*2- Gerçekleşen ürün geri alımı ve atık yönetimi operasyonları hakkında bilgi:* Ürünün ne miktarda işlendiği; maliyet ve kazançlar nelerdir; bütünsel sürecin çevreye etkisi nedir? şeklindeki sorulara yanıt verilmektedir.

*3- Bileşen ve materyallerin pazarı hakkında bilgi:* Her ürün geri alım opsiyonunda üretici, potansiyel pazarları da gözden geçirmelidir. Ürün ve materyaller, firmanın kendisi tarafından, zincirdeki başka bir firma tarafından (örneğin tedarikçi) veya zincir dışındaki bir firma tarafından kullanılacak olabilir.

*4- Ürünün bileşimi hakkında bilgi:* Materyal tipleri, değerleri, potansiyel zararları hakkındaki bilgilerdir (Thierry vd., 1995).

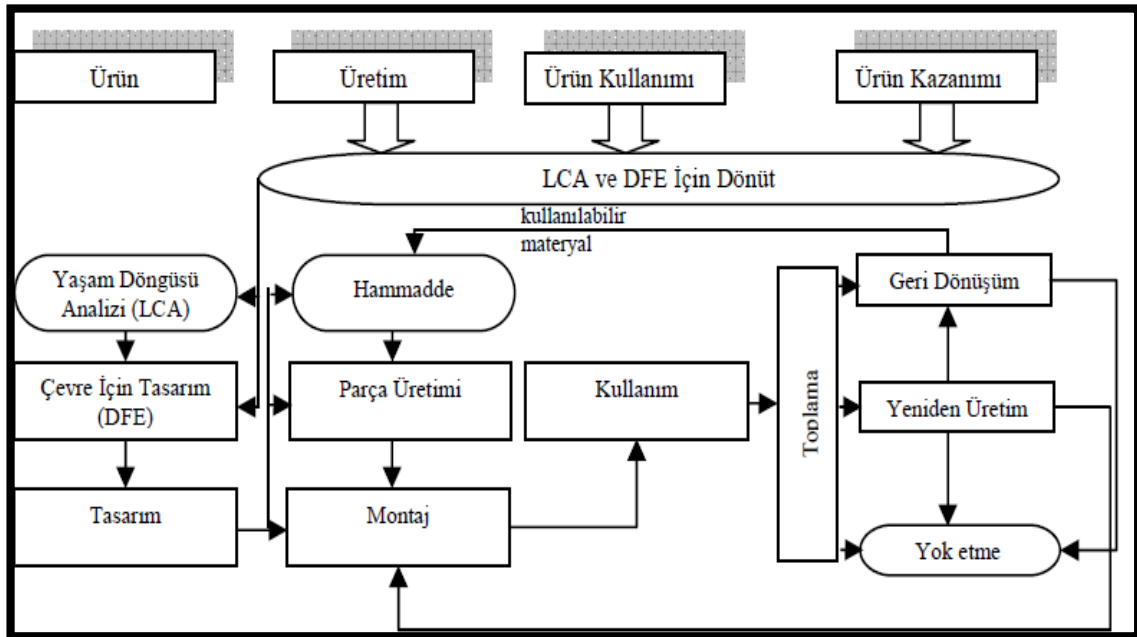
Ters lojistikte, ürün üreticiye döndüğünde bunu tekrar dağıtmak için alternatif yollar izlenebilir (Rengel ve Seyd, 2002):



- 1- *Outlet ile Satış*: üretici ürünleri geri alır ve işlemlerden sonra kendi outlet mağazalarında bu ürünleri satar.
- 2- *İkincil Pazarlara Satış*: Firmalar ürünleri bu pazarda kendi dükkanlarında veya diğer perakendeciler aracılığı ile satabilirler.
- 1- *Yeniden Üretim*: Düşük kalite düzeyinde olan ürünün temel özellikleri korunur.
- 2- *Kurumlara Bağış*: Bazı durumlarda ürünü belirli organizasyonlara vermek bir alternatif olacaktır.
- 3- *Geri Dönüşüm*: Üründe kullanılan materyal miktarını azaltmak için yeniden kullanım veya geri dönüşüm uygulanır.
- 4- *Gömmek*: Ürün yok edilecekse, en az maliyetle veya enerji kazanımı ile (yakma) yok etme uygulanmalıdır (Rengel ve Seyd, 2002).

### 3.6. Ters Lojistik Faaliyetleri

Ters Lojistik aktivitelerinin başarılı bir biçimde yerine getirilebilmesi için ürünün, tasarımından üretimine ve geri kazanımına kadar yaşam döngüsü boyunca gerçekleştirilmesi gereken faaliyetler, Şekil (3.4)'de gösterilmiştir (Nakıpoğlu, 2007).



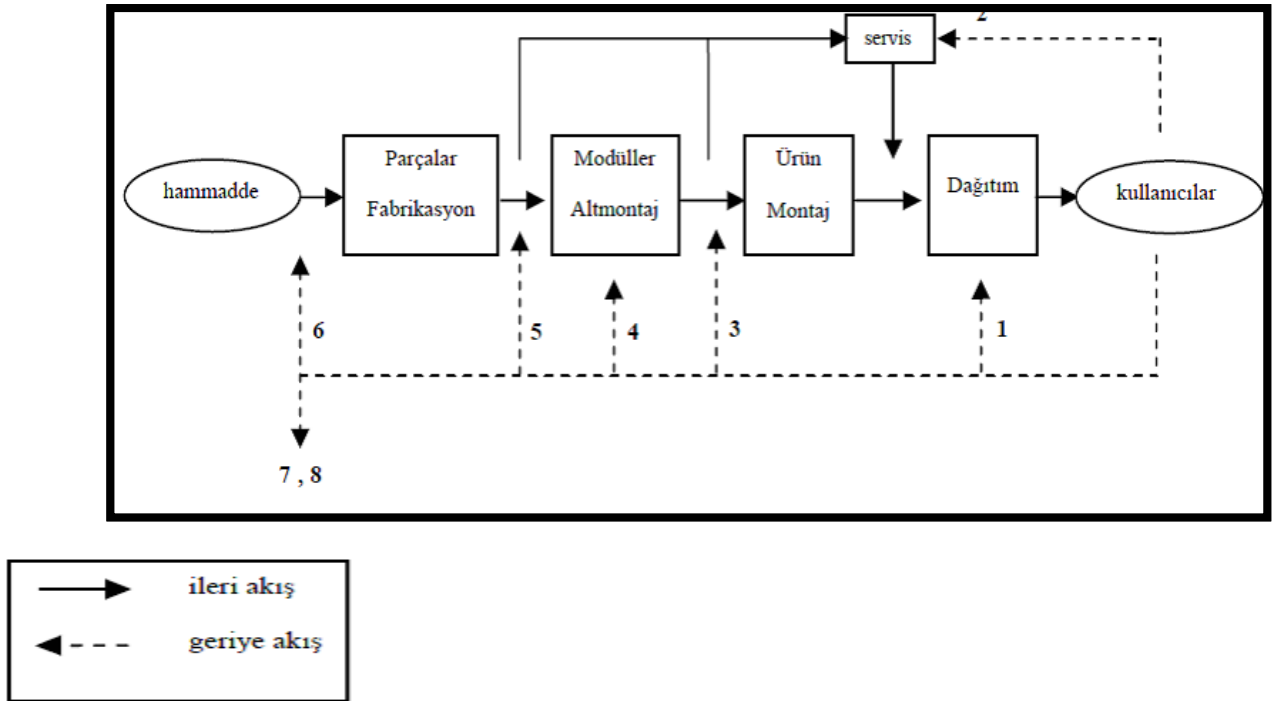
Şekil 3.4. Ürün Yaşam Eğrisinde Aktiviteler ve İlişkileri (Nakıpoğlu, 2007).

Ürün tasarımında, kalite, toplam maliyet,montaj, güvenlik ve çevre gibi faktörler varlığında tasarlanıp üretilen ürünler ise çevreye daha duyarlı ürünler olacaktır (Çizelge 3.3).

Çizelge. 3.3. Ters Lojistikte İşlemler ve Tanımları ( Nakipoğlu, 2007; Parkinson ve Thompson, 2003; Thierry vd., 1995).

İşlemler	Uygulamalar
Ürün geliştirme (Upgrade)	Ürünün fonksiyonlarını artıran işlemler
Yeniden İşleme (Reprocessing)	Ürünü iyileştirme, geliştirme ve yeniden üretme esnasında yapılan değer katıcı işlemler
Yeniden Üretim (remanufacturing)	Kullanılmış ürünün, yeni ürün düzeyinde veya daha yüksek düzeyde kalite, güvenilirlik ve performans özelliklerine sahip olmasını sağlayan işlemlerden geçirilmesi süreci
Ürün yenileştirmek (Refurbishment)	Ekipmanın özelliklerinin istenen sınırlar arasına minimum Maliyet leulastırılmasını sağlayan yeniden isleme süreci
Yenileme (Recondition)	Yeniden üretim içinde yer alan ve kullanılmış ürünün durumunun yenisi kadar iyi hale getirilmesini sağlayan süreç
Geri Dönüşüm (Recycle)	Ürünün iskartaya atıldıktan sonra materyallerinin geri dönüştürülmesi süreci
Yeniden değerlendirme (Revalorization)	Iskartaya atılmış ürün veya materyalin içindeki değerini kazanılmasını amaçlayan her bir süreç
Yeniden Kullanım (Reuse)	Önceki kullanıcısının artık kullanmadığı ürünü geri dönüştürülmesi veya ortadan kaldırılması yerine kullanımına devam edilmesi.
Olduğu gibi yeniden kullanma (reuse 'as is')	Ürünün, minimum yeniden isleme ile yeniden kullanılması
Tamir (Repair)	Ürünün hizmet süresi boyunca fonksiyonlarının devam etmesi için veya ömrü sonunda geri dönmüsürünün fonksiyonlarına devam etmesi için alınan önlemler

Zararlı atıkların uygun bir şekilde yok edilmesi, üreticinin sorumluluğundadır. ürünlerin uygun şekilde yok edilmesini ise şekil (3.5)te ifade edilmektedir (Nakipoğlu, 2007).



Şekil 3.5. Ürün Geri Alım Opsiyonları (Thierry vd., 1995)

- |  |  |
|--|--|
| 1. Direkt Yeniden Kullanım/Yeniden Satış | 5. Ürün Yamyamlaştırma (Cannibalization) |
| 2. Tamir (Repair)                        | 6. Geri Dönüşüm (Recycling)              |
| 3. Ürün Yenileme (Refurbishing)          | 7. Yakma (Incineration)                  |
| 4. Yeniden Üretim (Remanufacturing)      | 8. Gömme (Landfilling)                   |

### 3.7. Ters Lojistikte Araştırma Alanları ve Problemler

“İşletmelerin ters lojistik aktivitelerini uygulayabilmeleri için karar alma aşamalarında yeniden düzenlemeler yapmaları gerekmektedir. Düzenlemeler gerektiren bu alanların hepsi, çözülmesi gereken problemler olarak da karşımıza çıkmaktadır. Ters lojistiğin uygulandığı ve üreticiye geri dönen ürünlerin geri kazanımının sağlandığı üretim ortamlarında, geleneksel üretim sistemlerinde de

olduğu gibi, üretim, dağıtım, stok, ve pazarlamaya ilişkin kararların alınması gerekmektedir (Karaçay, 2005).

### 3.8. Ters Lojistik Ağ Tasarımı

Ters ağ, kullanılmış ürün ve malzemelerin geri dönüşümüyle ilgilenir. Ürünlerden fayda sağlamak ve gideri en aza indirmektir. Ters Lojistik ağ yapısı ve Ters Lojistik ağ yapısında nicel modellerin rolü ele alınmıştır (Gaurang, 2006). Genel bir Ters Lojistik ağ, tüketiciler tarafından kullanılan ürünlerin geri donuşum amacıyla, depolanması, yeniden islenmesi ve yeniden dağıtılması faaliyetlerini oluşturur (Demirel, 2008).

İşletmelerin Ters lojistik faaliyetleri tam olarak uygulayabilmeleri için, var olan sistemlerinde süreçlerinde ve karar verme aşamalarında yeniden düzenleme gereksinimi doğar ve düzenleme yapmaları gerekir. Ağ, ya orijinal ileri kanal içinden ayrılan bir ters ağ veya ileri ve ters kanalın tek bir ortak noktada birleşmesiyle oluşan kapalı bir ağ içerisinde yer alır (fleischmann, 1997).

Ters lojistik ağı içindeki süreçler; işletmelerin değerlendirilmesinde geriye dönen ürünleri ve atıkları toplama işlemi ve bunları işleme prosesin yavaş olması nedeniyle yavaşlatmaktadır (Dowlatschi, 2005).

Ters lojistik ağların tasarlanmasının ileri lojistik tasarlanması kadar kolay olmamaktadır. Çünkü ürünler müşterilerden geri alınıp toplandığında, izliyecekleri yollar ürünün durumuna göre değişecektir. Diğer bir başka konuda ürünün tüm bileşenleri imalat tesislerine taşınmaya degecek değer deolmayacağı aşikardır. ürünlerin dönüş zamanları, miktarları ve kalitelerindeki bilinmezlikler, geleneksel sistemlerde uygulanan bir çok varsayımı ters lojistik için geçersiz kılmaktadır. İyileştirilen ürünler için son ticari pazarların bilinmemesi ağ tasarımını daha fazla zor duruma getirmektedir (Fleischmann, 1997). Gelişmiş etkili bir ters lojistik ağın gerekleri aşağıdaki gibidir (Gaurang, 2006).

Zamanlama Politikası, Ürün Devir Zamanı (Cycle Time): Ürünlerin geri alınması ve doğal çevreye verilebilecek zararların önlenmesi için gereklidir. Geri alınacak ürüne ne kadar hızlı bir şekilde ulaşırsa pazarda kalan ürünlere göre ekonomik değeri o kadar yüksektir.

*Özel Toplama Merkezi:* Seviyeli bir ürün toplama merkezine ürün çeşitlerinin fazlalığından dolayı gereksinim vardır.

*Sınıflandırma Sistemi:* iyi tanımlanmış bir sınıflandırma sistemi için, ürün çeşitliliğinin çok olması gerekir.

*Stok Politikası:* Esnek bir depolama politikası Ters Lojistik akışı ile ilişkilendirilmiş olmaları gereklidir.

*Esneklik:* Uygulama, nakletme gibi kapasitesine dahil edildiği esnek bir sistem planlamak gereklidir.

*Çok Parçalı Koordinasyon:* Ters lojistiğe uygun ağ sistemlerinin dikkatlice planlanması, ağ giderlerini geri almanın uygulanabilirliği ekonomik olarak etkilenmesinden dolayı önemlidir. Ters lojistik ağ yapısındaki işlemler aşağıdaki gibi açıklanmıştır Şekil (3.6) .

1- *Toplama (Collection):* Kullanılmış ürün ya da malzemelerin işlenmesi için tüketiciden tekrar alınıp toplanması işlemleridir. İşletmeler oldukça maliyetli olan bu aşamanın üstesinden gelmede iki yöntem izlenmektedir.

2- *Dağıtım ve Toplama:* Bağlantılarını Birleştirerek bir sinerji yaratmaktır. Bunun en bilinen örneği, ülkemizde de depozitoları olarak adlandırılan ve yeniden kullanılabilir doldurulabilir içecek şişelerinin toplanması ile bir çok “eskiyi getir yeniyi götür” kampanyalarıdır (Verme vd., 2005).

3- *Kontrol ve Ayırıştırma ( Inspection And Separation):* Kontrol ve ayırıştırma aşamasında; test etme (testing), küçük parçalara ayırma (shredding), demontaj (disassembly), sınıflandırma (sorting) ve depolama (storage) işlemleri yapılmaktadır (Kumar vd., 2006). Lokal eleme denilen bu işlemde toplanan ürünlerin üreticinin eline geçmeden önce muayene ve ayıklama işlemlerinden geçirilmelidir. Öncelikle tedarik zincirine girmemesi gereken mallar elenir. Ürünler imalatçının ürünle ilgili bilgileri detaylı tanımlamasına göre toplama noktasında elenir (Gaurang, 2006 ). Bu aşamada, nakliye ve yatırım masrafları arasında doğrusal bir ilişki gözükmemektedir. Test etme tesisleri merkezileştirilmelidir. Toplanan ürünlerin taşınma kanallarının ilk aşamalarında test edilmesi, gideceği yere varış masraflarını en aza indirilebilir (Kumar vd., 2006).

4- *Direk Geri Kazanım (Direct Recovery):* Muayene ve ayırıştırma aşamasından sonra mallar doğrudan geri kazanımla üretim sürecine girerler. Bu aşama sırasında, mallara

herhangi bir işlem uygulanmadan yeniden satışa yada tekrar kullanıma gönderilir (Verma vd., 2005).

5- *Elden Çıkarma (Disposal)*: Elden çıkarma aşamasında tekrar kullanılmayan (teknik veya ekonomik sebeplerden dolayı) değeri olmayan ürünler için gerekli olan işlemler yapılmaktadır. Bu aşamada, ürünler atık olarak ayrılması ile başlar, nakliye (Transportation) (Fleischmann, 2001), toprağa gömme (Land Fill) ve yakma (İncinerator) veya herhangi bir şekilde imha edilme ile son bulmaktadır (Kumar vd., 2006).

6- *Yeniden Dağıtım (Re-Processing)*:Yeniden dağıtım sırasında satış (Sales), nakliye (Transportation), depolama (Storage) (Kumar vd., 2006) ve kiralama (leasing) işlemlerinden oluşur. Tekrar kullanılabilir malların ileri lojistiğe taşınma işlemleridir. (Fleischmann, 2001). Yeniden dağıtım stratejilerinin oluşturulmasında dikkat edilecek en önemli unsur piyasadan toplanabilecek atık miktarlarıdır. Bu nedenle miktarla ilgili olarak aşağıda sıralanan değişken unsular ayrı ayrı gözden geçirilmelidir (Şengül, 2011).

1- *Kaynakların bölgesel dağılımı,*

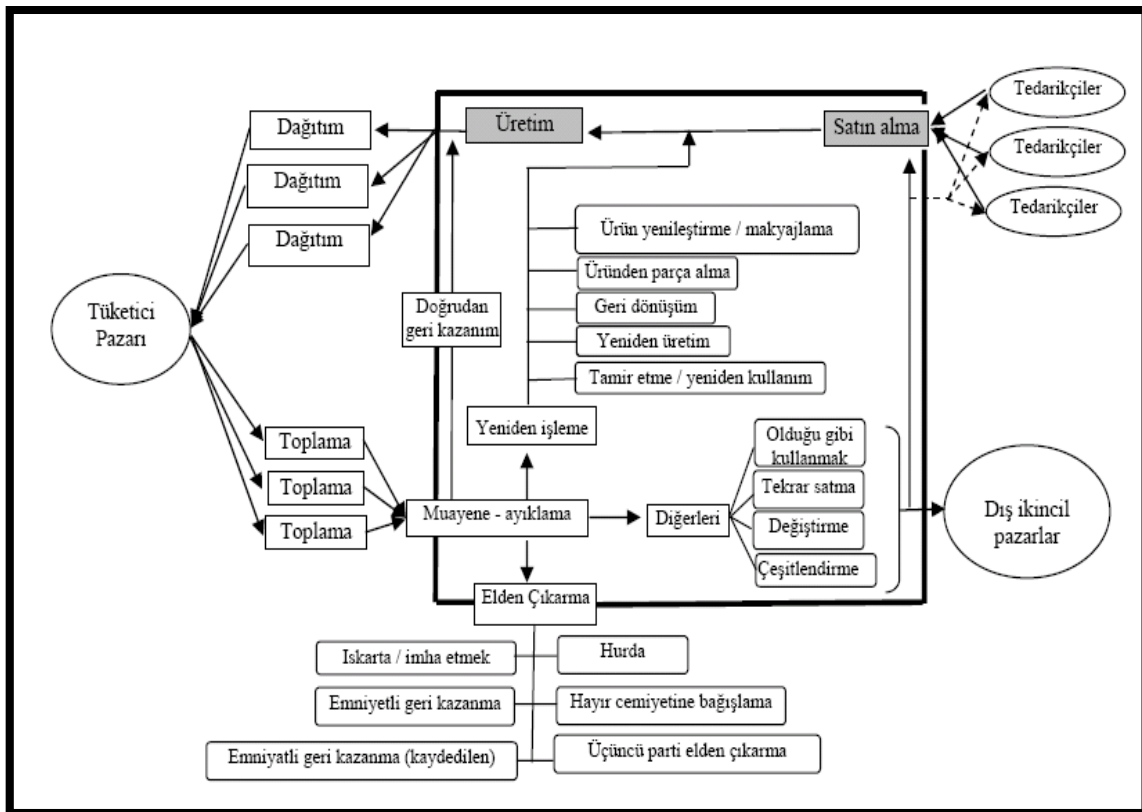
2- *Yardımcı nakliye araçlarının kullanımı,*

3- *Ürün miktarı, cinsi, ürün miktarındaki değişiklik,*

4- *Çöplerin veya atık kaynaklarının sayısı, miktarı,*

5-*Toplanan malların değişik kullanım alanlarının varlığı,*

6-*Kaynakların çöp toplama merkezlerine olan ortalama uzaklığı*



Şekil 3.6. Ters Lojistik Ağa Giren Ürün, Tamir Etme, Yenileme, Parçalama, Yeniden İmal Etme ve Geri Gönüşürme İşlemleri (Zuluaga, 2005).

### 3.8.1. Ters lojistik ağda ürün geri dönüşleri

Türkiye de, 18.05.2009 tarihi itibariyle 139 tane geri kazanım tesisi bulunmaktadır. Pil& Akü için 4, Lastik için 1, Plastik için 7, Tekstil için 1, Ambalaj için 13, Alüminyum için 2, cam için 2, Elektronik atık için 2, ve yağ için 3 olmak üzere 35 tane lisanslı geri dönüşüm tesisi bulunmaktadır. Firmaların ne kadar atık bulundurduğu ise gizlidir. Firmalar atık cinslerini borsaya da bildirmek zorundadır (Birdoğan, 2003).

Tedarik zincirinde ürünlerin, kalite özelliklerini sağlayamama, kullanıcısı tarafından istenmeme, fazla üretim, garanti içinde bozulma gibi sebepler örnek olarak gösterilebilmektedir (Demirel, 2008). Tedarik zincirinde mallar geri dönüşüm sebepleri üç sınıfa ayrılır. Bunlar (Brito, 2002);

- 1- *Üretim Geri Dönüşleri*: Üretim geri dönüşleri sırasında, üretim sonrası kalanlardan dolayı üretim tabanından geri gönderilen parçalara, malzemelere ve ürünlere üretim hattı boyunca yeniden şekil verilmektedir.
- 2- *Dağıtım Geri Dönüşleri*: Dağıtım geri dönüşleri, üretilen malın dağıtım sırasında ortaya çıkan geri dönüşleri tanımlamak için kullanılmaktadır.
- 3- *Tüketici Ve Kullanıcı Geri Dönüşleri*: Bu geri dönüşler ürünün tüketiciye ulaştıktan sonra farklı sebeplerden dolayı geri gönderilmesi ile oluşmaktadır.

### 3.8.2. Kullanılmış ürünü geri kazanma işlemleri

Kullanılmış ürünlerin geri kazanmasında beş işlemi vardır. Bunlar:

- 1- *Tamir Etme (Repair)*: Bu aşamada ürünün kırılmış bölümleri tamir edilmektedir (Thierry vd., 1995). Tamiri yapılmış ürünün kalitesi yeni üründen düşüktür (Kumar vd., 2006). Tekrar kullanım, ürünün yeniden kullanımı anlamındadır.
- 2- *Ürün Yenileştirme (Refurbishing)*: Kullanılmış ürününün geri getirme işlemleridir. Pahalı ürünlere (uçak v.b.) bu işlem uygulanmaktadır. Bu aşama sırasında kırılmış parçalar demontajlama işlemi ile üründen ayrıldıktan sonra yenisi ile değiştirilmektedir (Kumar vd., 2006). Bu işlem ürünün kalitesini artırır ve ürünün ömrünü uzatır (Thierry vd., 1995).
- 3- *Yeniden Üretim (Remanufacturing)*: Bu aşamada ürün tamamen demonte edilerek yeni ürün kadar kaliteli ürün elde edilmektedir.
- 4- *Üründen Parça Alma (Cannibalization)*: Yukarıda bahsedilen üç işlemten herhangi birinde kullanılmak üzere kullanılmış üründen az miktarda kullanılabilir modül veya parçaların geri kazanılması işlemleridir. Amacı kullanılan ürün, tekrar kullanılabilir sınırlı bir dizi parçanın geri alınmasıdır (Bulut vd., 2008).
- 5- *Geri Dönüşüm (Recycling)*: Kullanılan üründen tekrar kullanılabilir ürün ve parçaları seçerek orijinal ürünün üretiminde kullanma işlemleridir (Kumar vd., 2006).



### 3.8.3. Ters lojistik ağı kurmada karar verme aşamaları

Ürünlerin kullanıcılardan tesislere taşınması ve buradan da tekrar piyasaya sunulması için yerleşim yerlerinin belirlenmesi, tesisler ve her bir tesis arasında taşınacak miktarlar alınması gereken önemli aşamadır (Fleischmann, 1997). karar verme seviyeleri 3 aşamada sınıflandırılmaktadır. Bunlar:

*1- Stratejik Karar Verme Seviyesi yada Stratejik Planlama (Strategic Planning) :* Ters lojistikte stratejik karar verme aşamasında; tekrar kazanım stratejisine, malların tasarımına, ağ kapasitesinin planlanmasına ve gerekli stratejik araçlara karar verilir. Bu aşamada talep tahmin periyotları oldukça uzundur ve yıllarca sürebilir. Genel olarak, stratejik planlar hazırlanırken sistemin tüm unsurlarının değiştirilebilir nitelikte olduğu varsayımı altında hareket edilir (Gökçen, 2002).

*2- Taktiksel Karar Verme Seviyesi yada Yönetimsel Kontrol (Tactical Level Decision Making) :* Bu aşamada stratejik derecede verilen kararların uygulanması kaynakların etkin ve verimli olarak uşturulması ve kullanılmasına yönelik kararlar verilmesi aşamasıdır (Gökçen, 2002).

*3- Operasyonel Karar Verme Seviyesi yada Operasyonel Kontrol (Operational Level Decision Making):* Bu aşamasında ise, taktik durumunda ki kararların uygulanması için uygun görevlerin etkin ve verimli bir şekilde yapılmasını içerir (Gökçen, 2002). Ayrıntılı denetleme aşamaları içinde bilgi yönetimi araçları kullanılmaktadır.

Stratejik kararlar üst yönetim, taktik kararlar orta seviye yönetim ve operasyonel kararlar ise alt seviye yönetim tarafından verilmektedir (Gökçen, 2002). Ters lojistikte karar verme aşamalarında yapılan işlemler Çizelge (3.4)'de gösterilebilir (Brito, 2002).

Çizelge 3.4. Ters lojistik ağda karar verme aşamaları stratejik karar verme seviyesi (Brito, 2002).

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geri kazanım stratejisi</li> <li>• Ürün tasarımı</li> <li>• Ağ Kapasite&amp;Planlama</li> <li>• Stratejik araçlar</li> </ul>
Taktik karar verme seviyesi (Orta dönemli kararlar)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tedarik &amp; Entegre yönetimi</li> <li>• (Ters) dağıtım</li> <li>• Koordinasyon</li> <li>• Üretim planlama</li> <li>• Stok yönetimi</li> <li>• Pazarlama</li> <li>• Bilgi &amp; Teknoloji</li> </ul>
Operasyonel Karar verme seviyesi (Kısa dönemli kararlar)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üretim çizelgeleme&amp;kontrol</li> <li>• Bilgi yönetimi</li> </ul>

### 3.8.4. Ters lojistik ağ yapısı türleri

Geri alınan ürünün tipi ve kullanılacak olan geri kazanım görevi ve getirilen kanuni zorunluluklar ters lojistik ağında önemli olan konulardır. Ters lojistik ağ türler aşağıdaki gibi verilmektedir:

1- *Genel Ters Lojistik Ağı (Public Reverse Logistics Network)*: Bu ağlarda demontajlama, geri dönüşüm ve depolama işlemleri ele alınmaktadır. Dolayısıyla atıkların azaltmaları için kanunlar çerçevesinde kurulan ağlardır.Şişe camların ve atık pillerin, , plastik ve kâğıt malzemelerinin geri dönüşümü depolanıp geri dönüşüm merkezlerine gönderilmesi örnek olarak gösterilebilir (Şengül, 2011)

2- *Özel Ters Lojistik Ağı (Private Reverse Logistics Network)*: Bu ağa OEM ağda denilmektedir. Genel olarak OEM tarafından oluşturulan bu ağlarda ürün, bileşen ve malzeme seviyesinde kaliteye bağlı alternatif geri kazanım opsiyonları bulunur ve bu ağlarda heterojen akışlar oluşur ayrıca geri kazanılan değer maksimum olması için test ve bölümler arası koordinasyon önemlidir (Fleischmann, 2001). Bu ağlar, çekme sistemlerdir ve üreticiler, geri dönüşüm ve nakliye masraflarını

öder ayrıca kâr çok önemlidir ve geri dönüşümün ekonomik olması ürünün belirli hacimde olması ve ekonomik çekiciliği ile alakalıdır (Brito, 2002).

3- *Geri Alınması Zorunlu Ürünler İçin Ters Lojistik Ağı (Reverse Logistics for Mandated Product Take-Back)*: Zorunlu olan bu ağları kurmak için şirketler maliyetin küçüklenmesine odaklanırlar. Bu sebepten dolayı, şirketler bu tip ağları kurmaktan ziyade, kullanılmış ürünlerini toplamak için, lojistik hizmet sağlayıcılarını veya profesyonel geri dönüşüm şirketlerini kullanmaktadırlar (Fleischmann, 2001). Bu ağlar, çevreye zararlı olan üreticileri tarafından toplatılması için çıkarılan kanunlardan dolayı yapılan ağlardır (Şengül, 2011).

4- *Yeniden Kullanım Ağı (Reusable Network)*: Yeni ürün üretmek için ya temizleme, tamire tabi tutulurlar yada direkt yeniden kullanılır (Demirel, 2008). yeniden kullanılabilen konteynırlar, paketleme ürünleri ve şişeler bu ağ yapısı için tipik örneklerdir (Şengül, 2011).

5- *Yeniden İmalat Ağı (Remanufacturing Network)*: Burada amaç geri dönen ürünleri yeni duruma getirmektir. Yeniden üretilen ürünlerin sürdürülebilir hacmini sağlamak ve ürün tedarikinin belirsizliği, yeniden üretim ağının engellerinden bir kaçıdır (Brito, 2002). Yeniden imal edilmiş ürün, yeni ürün ile aynı özelliklere ve kalite standardına sahiptir. Otomobil parçalarının (Demirel, 2008), fotokopi makinelerinin, scanner, printer ve faks makinelerinin yeniden üretimi örnek olarak verilmektedir (Krikke vd., 1999).

6- *Geri Dönüşüm Ağı (Recycling Network)*: Bu ağ yapılarında sınıflandırma, demontajlama ve geri kazanım işlemleri içindedir. Bu ağlarda ürün ve bileşenlerin özellik ve fonksiyonları kaybolur. Geri dönüşüm ağları, düşük kâr marjlıdır çünkü büyük yatırım gerektirmektedir. Bu nedenle sadece ekonomik amaçlı kurulmuş olan yapılar yasalardan ötürü kurulmuş olanlara göre daha az sayıdadır (Fleischmann, 2001). Şişe, kağıt, pil ve beyaz eşya ürünlerinin ve hurda arabalar içinde geri dönüşüm çalışmaları yapılmıştır (Brito, 2002).

7- *Tamir Servis Ağı (Repair Service Network)*: Müşterilerin servis ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kurulan sistemlerdir (Demirel, 2008).

### 3.8.5. Ters lojistik ağ tasarımında nicel modellerin rolü

Ürünler müşterilerden toplandığı zaman izleyecekleri rotalar ürünün durumuna göre değişecektir. Ayrıca ürünün bütün bileşenleri imalat tesislerine taşımaya değecek değerde olmayacaktır. Ürünlerin dönüş zamanları, miktarları ve kalitelerindeki belirsizlikler, geleneksel sistemlerde uygulanan birçok varsayımı ters sistemler için geçersiz kılmaktadır. Dahası, iyileştirilen ürünler için son pazarların iyi bilinmemesi ağ tasarımını daha belirsiz hale getirmektedir (Demirel, 2008).

Ters dağıtım sistemlerinde esas konu, ileri ve ters kanalların nasıl birleştirileceğidir. Etkin bir ters dağıtım kanalı kurmak için alınması gereken kararlar aşağıda verilmiştir (Fleischmann, 2001; Şengül, 2011).

Ters dağıtım kanalının katılımcıları kimlerdir? Katılımcılar, ileri kanalın üyeleri (geleneksel imalatçılar, perakendeciler ve lojistik servis sağlayıcıları v.b.) ya da belirli alanda uzmanlaşmış birimlerden (ikincil malzeme satıcıları, malzeme geri kazanım tesisleri v.b.) oluşabilir (Şengül, 2011).

Ters dağıtım kanalında olası fonksiyonlar; toplama, test etme, sınıflandırma, nakliye ve ürüne işlem yapmaktır. Dağıtım ağı planlanırken bu fonksiyonların yapılacağı uygun yerler belirlenmelidir. Ağdaki önemli işlemlerden birisi depolama ve test etme yerlerinin tespitidir. Test etme işlemi ağ tasarımının başlangıcında yapılırsa, kullanılmaz durumdaki ürünlerin nakledilmesi önlenir ve böylece nakliyeden kazanç sağlanabilir. (Şengül, 2011).

Sınıflandırma işlemleri kısmen tüketicinin istekli olmasına bağlıdır. Sınıflandırma işlemi, yeniden kullanılabilir parçaları (evsel katı atık toplama) bulunduran akışlarda, toplama noktalarına yakın yerlerde yapılırsa daha ucuza mal edilmektedir. Ancak, daha sonraki yükleme boşaltma maliyetleri artabilir ve taşıma kapasitesi kullanımı, erken aşamalarda farklı aşamalara bölünmeler nedeniyle azalabilir (Şengül, 2011).

Guilinan ve Nwokoye tarafından (1975), yapılan çalışmada çalışmaların büyük bir kısmında deterministik yapı söz konusudur, küçük bir kısmında ise geri kazanım sistemlerinin yapısında var olan geri dönen ürünlerin zamanı ve miktarı kalitelerindeki belirsizliklerle baş edebilmek için stokastik yapıda modeller geliştirilmiştir. kullanılan modeller; araç rotalama modelleri, Location-Allocation

modelleri, dinamik rotalama ve çizelgeleme modelleri olup karma tamsayılı matematiksel modelleme şeklinde formüle edilmiştir. Locations (yerini Saptama) modelleri; toplama noktaları yerlerinin belirlenmesinde, geri alma tesislerinin, geriye dönen ürünler için gözden geçirmelidir (Guiltingan ve Nwokoye, 1995).

Lojistik ağı tasarımı ve modellenmesi, yalnızca ters akışın ele alındığı bağımsız modeller ve ileri ve geri akışın birlikte ele alındığı bütünleşik modeller olmak üzere ikiye ayrılır. Geleneksel yer seçimi ve atama modellerinden farklı olarak bu sistemler genellikle itme sistemi yapısındadır (Brito vd., 2002).

Ters lojistiğe özgü olan ürünlerin geri kazandırılması ve yok edilmesi işlemlerinin ileri ve ters akış arasında oluşturabilecekleri ilişkileri tanımlamak için geleneksel yer seçimi ve atama problemlerinden farklı bir takım kısıtlar bulunmaktadır. Ters akışı optimize etmek için, kapasite kısıtsız ya da kapasite kısıtlı modeller geliştirilmiştir. Geri dönen ürünlerin geri kazandırılması için uygulanacak opsiyon; özellikleri, dönen ürün miktarı, kalitesi, teknolojik ve ekonomik kısıtlar gibi faktörlere bağlıdır. Ayrıca, kanunlara uymak, bilinçli müşteri beklentilerine karşılık verebilmek ve kâr elde edebilmek gibi nedenlerle farklı geri kazanım işlemleri uygulanmaktadır. Modellerde, geri kazanılan ürünlerin satışından elde edilen gelirler dikkate alınarak amaç fonksiyonu kâr maksimizasyon şeklinde ya da sabit işletme maliyetleri ile toplama, taşıma, geri kazanım, elde tutma gibi maliyetlerden dolayı amaç fonksiyon minimizasyon şeklinde düzenlenir.

Ürün geri kazanımı teknolojik ve ekonomik açıdan mümkün olmadığında, imalatçılar hükümetlere ve müşterilere karşı sorumluluklarını yerine getirmek üzere ürettikleri ürünün bir kısmını çevreye en az zararı verecek şekilde yok etmek zorunda kalmaktadır. Bu açıdan modellere yok etme opsiyonu dâhil edilmeye çalışılır (Demirel, 2008).

### **3.9. Ters Lojistik Ağının Tasarımı**

Klasik tedarik zincirlerinde, lojistik ağ tasarımı, genelde en önemli stratejik konu olarak bilinmektedir. Üretim tesislerinin yeri ve ulaştırma stratejileri, tedarik zinciri performansının temel belirleyicileridir. Ters lojistik ayrıca, dağıtım kanalı ve destekleme teknolojisinin seçimi, depolar, tesislerin lokasyon ve kapasitesi gibi destek

ağının tasarımı esnasında da dikkate alınmalıdır. Maliyetlerin azaltılması ve optimum planlamayı başarmak için kolayca elde edilen iade bilgileri, ileri tedarik zinciri bilgilerine entegre edilmelidir. Tüm destek ağı daha sonra, lojistik firmalarının hedeflerini karşılamak üzere lojistik süreçlerine hizmet edecek şekilde tasarlanabilir. (Tanyeri ve Tavmerger, 2004). Ters lojistiğe hizmet eden lojistik ağ yapısını iki kısımda kategorize eder. Bunlardan birincisi yakınsak ağıdır

#### 1- yakınsak ağ

Bu ağ kısmı, ayrı kaynaklardan kullanılmış ürünleri toplar ve bunları bir geri kazanım tesise iletir. Şirketler, spesifik lokasyonlarda ayrılmış iade ürünler toplama merkezlerini kurabilir veya perakendeciler ve dağıtıcılar aracılığıyla ürünleri toplayabilir.

#### 2- ıraksak ağ

Bir ıraksak ağ parçası, gerikazanım tesisleri ile yeniden kullanılabilir ürünleri satın alan müşterileri biraraya getirir. Bu ağ kısmı, geleneksel ileri tedarik zinciri dağıtım ağlarına çok benzerdir ve ileri tedarik zinciriyle entegrasyon, eniyiliği (optimum olmayı) en yükseğe çıkarmak için yapılabilir. Ters tedarik zincir ağının tasarımında dikkate alınması gereken dört stratejik hususu tanımlar (Verma ve Vinayak, 2005):

##### 1. İade edilen/kullanılmış ürünlerin edinilmesi/toplanması

İade edilen ve/veya kullanılmış ürünlerin toplanmasını ve edinilmesini yönetmek, herhangi bir kapalı döngü tedarik zincirinin toplam masraflarının muhtemelen önemli bir kısmını oluşturur.

##### 2. Test/sınıflandırma işlemleri

Ağdaki test ve sınıflandırma işlemlerinin yeri, malların akışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yalnızca bu aşamadan sonra, ayrı ürünler bir uygun gerikazanım seçeneğine ve böylece coğrafi bir varış yerine bağlanabilir. Bu aşamadaki taşıma ve yatırım maliyetleri arasındaki ödünleşmeyi anlamak önemlidir. Kanalda erkenden toplanan ürünleri test etmek, sınıflandırma edilen ürünler doğrudan ilgili geri kazanma işlemine gönderilebileceğinden toplam taşıma mesafesini en aza düşürebilir.

Diğer taraftan, pahalı test ekipmanları ve nitelikli işgücüne ihtiyaç, test ve sınıflandırma işlemlerini merkezileştirme faktörleri olarak işlev görür.

### 3. Yeniden işleme

Ters lojistik ağını kurarken, yeniden işleme genellikle yüksek yatırımları gerektirir. Uzmanlaşmış yeniden imalat veya geri dönüşüm ekipmanı maliyetleri, yeniden işlemenin ekonomik uygulanabilirliğini etkiler, orijinal imalat süreciyle ürün geri kazanım işlemlerinin entegrasyonu, lokasyonlar, iş gücü ve hatta üretim hatlarının paylaşılmasını gerektiren ölçek ekonomilerini sunabilir.

### 4. Yeniden dağıtım

Yeniden dağıtım aşaması, bir geleneksel dağıtım ağına benzer. Özellikle, taşımadaki yanıt verebilirlik ve konsolidasyon arasındaki klasik ödünleşme fark edilirdir. Toplama ve yeniden dağıtım birleştirilirse, araç yüklemedeki verim başarılabılır. Yeniden dağıtım, ayrıca, yeni ürünlerin dağıtımıyla birlikte de yapılabilir.

Tedarik zincirlerinin ileri planlamalarında Ters lojistik Bilgi Sistemlerinin de çok önemli bir payı vardır. Ters lojistik operasyonunun yerine getirilmesinde şirketlerin karşılaştığı en ciddi sorunlardan birisi, iyi bilgi sistemlerinin olmayışıdır. Sağlıklı çalışmak için bir esnek ters lojistik bilgi sistemi gerekir. Ters lojistik genel olarak, aynı şirketin iş birimleri veya şirketler arasında bir sınır kapsamı sürecidir bu yüzden sınırlar boyunca işlemek zorunda olan sistemleri geliştirmek, soruna ek karmaşıklık katar. Örneğin, bir perakendeci için, depo seviyesinde iadeleri izleyen bir sistem istenir. Bu sistem, perakendecinin iade edilen ürünü izlemeye başlayabilmesi ve tedarik zinciri boyunca başından sonuna kadar ürünün izleyebilmesi için depo seviyesinde bir veritabanını yaratmalıdır (Vinayak, 2005).

## 3.10. Ters Lojistik Ağ Tasarım Modelleri

Burada ters lojistik ağ tasarımları (RLND) sorunları ile ilgili bazı araştırma çalışmalarını keşfedeceğiz. Ters lojistik ağını öngören literatür iki yaklaşım içermektedir. Birincisi ileri ve ters ağları farklı varlıklar olarak düşünüp sırayla tasarlamaktır. Diğer yaklaşım ise iki akış türünü tasarım aşamasına entegre etmektir. Bu araştırmalar model türüne göre iki ana kategoride sınıflandırılabilir: miktar, kalite ve iade edilen ürünlerin

zamanlaması hakkında var olan bilginin kesinliğine dayanarak determinist model ve stokastik model. Eğer ağın tesis ya da devre sayısı, konumları ve talepleri kesinlik ile biliniyorsa bu model determinist olarak adlandırılır. Müşterilerin talepleri olasılık dağıtımlarına göre biçimlendiriliyorsa, bu modellere stokastik model adı verilir. Bu çalışmalardan bazıları kısaca şöyle açıklanabilir: ters lojistikteki araştırma ve bunun ileri tedarik zincirinin işlemesine olan etkisi. Genel olarak gözden geçirilen belgeler, lineer programlama, lineer olmayan programlama, MILP, MILNP, ağ denge modeli, stokastik model ve simülasyon modeli gibi modelleri uyarıdaki araştırma sorunları ile başa çıkmak için uygulamıştır (Alamassı, 2014).

### **3.10.1. Deterministik ağ model**

Bir ağ modeli ağ üzerindeki devrede bulunan bilgiler bilindiğinde yada ön tanımlı olduğunda deterministik model olarak sınıflandırılır. Bu tür bir model sorunu basitleştirir fakat aynı zamanda sorunun genelleştirilmiş bir bakış açısını da sunabilir. Deterministik model aynı zamanda, farklı senaryo takımlarını kullanarak ya da hassas analizler uygulayarak analiz edilirse, gerçek sorunu yansıtabilirler (Alamassı, 2014).

### **3.10.2. Stokastik ağ modelleri**

Stokastik ağ modelleri, Güçlü Sapma Ayırışımı yaklaşımı Fuzzy Petri Net, Yapay Zeka (AI) tabanlı simülatörler ve bir çok diğerini kullanarak çözülebilecek sistemdeki belirsizliklere hitap eder. Stokastik modeller sayısal olarak farklı çözümler üretebilir ve bir çok durumda esnektir (Alamassı, 2014).

## **3.11. Ters Lojistik ile İlgili Problemler**

Bu bölümün amacı Ters lojistik ile çalışırken ortaya çıkabilecek olası farklı zorlukları ve bu zorlukların kuramsal modellere dayalı örnekler ile birlikte nasıl idare



edilebileceğini belirlemektir. Ters lojistik sistem yapmaktaki amaca bakılmaksızın ters bir lojistik ağ işletmeden kaynaklanan zorlukları anlamak önemlidir (Alamassı, 2014).

Rogers ve Tibben-Lembke (2002) göre rekabetçiliği arttırmak ve ürün iadelerinin ek değerini kazanmak için şirketler mutlaka bu ters akışları yönetmede stratejik bir vizyona sahip olmalıdır. Fakat "ters akışlar", "ileri akışlardan" ortaya çıkanlardan farklı olarak özel zorluklarla karşılaşmaktadır (Skjott-Larsen, 2007) Ters tedarik zincirinin literatüründe araştırmacılar ters akış yönetimini ve ters tedarik zincir stratejisini etkileyen bir miktar zorluğu belirlemektedir. Bu zorluklar şunlardır:

### *1-Formel İşleme Prosedürlerinin Eksikliği*

Pazardan getirilen ürünler açılmamış ya da barkod ya da etiketleme gibi ürün kimliğine sahip olmayabilirler. Bu da bilgi sistemlerinde ve standardize prosedürlerinin onaylanmasıyla birlikte zorluklara sebebiyet verebilir. Formel işleme prosedürlerinin eksikliği zaman kaybına yol açar ve ek kaynak gerektirir (Skjott-Larsen, 2007; Blackburn, 2004 ).

### *2-Kalite, Sayı ve Zamanlamadaki Farklılaşımalar*

İadelerin değeri, kalitesi, miktarı ve zamanlamasındaki büyük farklılaşımalar ters zincirler yoluyla işlenen ürün iadesi için gerekli kaynaklar ve gereksinimlerin erken tahminin yapılmasında ve planlamasında zorluklara yol açar (Blackburn, 2004; Fleischmann, 1997).

### *3-Zaman gecikmelerinden dolayı pazar değerinin düşmesi*

Geç iade farklılaşımalarının (mesela merkezi iade merkezleri gibi) para ve kaynak tasarrufu sağladığı doğrudur; fakat, zamandaki gecikmeden dolayı bu yüksek marjinal zaman değeri olan iadeler için hayati önemde olan pazar değerini düşürebilir. Böylece ters zincirdeki farklılaşım mümkün olduğunda erkenden icra edilmelidir. Lakin ürün iade özelliklerinin karmaşıklığı, gereken kaynaklar ve taraflar arası koordinasyon sorunu erken farklılığı uygulamada büyük bir engel olabilir (Blackburn, 2004 ; Skjott-Larsen, 2007).

#### *4-Perakende-üretici çatışması*

Rogers ve Tibben-Lembke'ye göre, perakendeler ve üreticiler arasında çatışan hedefler işleme sürecini uzatan ve iade edilen ürünlerin değeri ve durumu ve cevap süresindeki anlaşmazlıktan doğan çatışmalara sebep olabilecek verimsizlikler üretebilir (Tibben, and Rogers, 2002).

#### *5- Yerel yeterlilik eksikliği*

Skjott-Larsen ve diğerlerine göre ters tedarik zincir süreçleri, denetim, test etme ve ölçme gibi, yüksek yeterlilik düzeyi gerektirmektedir. Bu süreçlerdeki yerel yeterlilik eksikliği (mesela perakende marketteki yeterlilik eksikliği) ters akışların hızını azaltabilir ve hata verebilir (mesela uygun temlik alternatifini seçerek) (Skjott-Larsen, 2007).

#### *6- Performans ölçümü eksikliği*

Pochampally ve diğerlerine göre ileri tedarik zincirinde kullanılan ölçüm tekniklerinin performansı çeşitli yönlerdeki farklılıklardan dolayı geri tedarik zincirine uygulanamaz. Dahası Skjott-Larsen ve diğerleri (2009), şirketlerin nadiren iade süreçlerinin verimliliğini sistematik bir şekilde ölçtüklerini tespit etmiştir (Pochampally vd, 2009).

Fakat, ters tedarik zincirindeki performansı arttırmak için "müşterinin şikayetinden yeni ürün değişimi/ müşterinin öncülünde ürün hatalarının tamir edilmesine kadar olan zaman, iadelerin miktarı ve kalitesi, iade sebepler ve iadelerde oluşan masraf" gibi performans önlemleri kurmak önemlidir (Skjott-Larsen, 2007).

## 4. METARYAL VE YÖNTEM

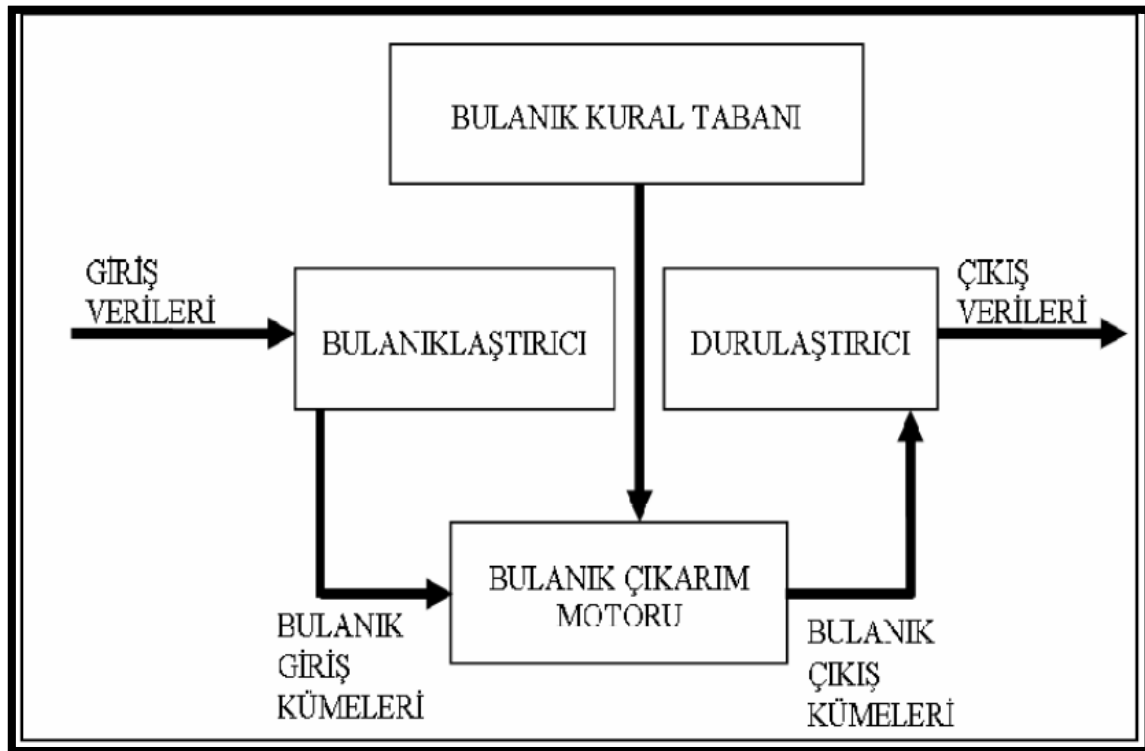
### 4.1. Bulanık Küme Teorisine Giriş

Klasik sistemin matematiksel yöntemleri, gerçek dünyadaki özellikle insanları içeren karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle Zadeh 1965 yılında bulanık kümeler tanımlamasını önermiştir (Karakışoğlu, 2008).

Genel olarak hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru ya da kesinlikle yanlış değildir. Fakat klasik mantıktaki önermeler ya "doğru" veya "yanlış"tır. Bunun için önermeler kısmen doğru olabilir. İşte klasik mantığın yeterli olmadığı böyle durumlarda bulanık mantığa ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık mantıkta önermelerin doğruluk değeri, aralığına ait bir reel sayıdır. Birbirine yakın durumda, klasik küme teorisinin ilerletilmiş hali olan bulanık küme teorisinde bir elemanın bir kümeye ait olma ihtimali bulunur, yani bir eleman bir kümeye belli oranda sahiptir. 1965 yılında Bulanık küme teorisi ilk olarak Lütfi A. Zadeh tarafından ortaya çıkmıştır. Karmaşıklık bulunan kavramları ait olma dereceleriyle tanımlanan bir hale getirmek bulanık küme teorisinin temel amacıdır. Geri dönüşüm problemi de gerçek anlamda en çok rastlanan özel tipte bir tane olmayan doğrusal programlama (LP) problemi ve geri üretim, lojistik, üretim modeller gibi birçok alanda uygulama bulmaktadır. klasik geri dönüşüm probleminde amaç, kullanım hammadde minimizasyon yönü veya geri dönüşüm maksimizasyonudur. Belirli bir proseste yapılan üretimin maksimizasyonu, alıcılara temel madde kullanım minimizasyon yönü gibi birden çok ve genellikle kendileriyle çelişen amaçlar da aynı anda optimize (maksimize ya da minimize) yapılmaya çalışılmaktadır. Hedef fonksiyonlarının yapısı temel olmayan doğrusal fonksiyonu olarak yapıda iseler bu amaç doğrultusunda çalışmamızın ana konusu olan ÇALK TP'NE bulanık yaklaşımla çözüm yolları geliştirilmektedir (Çetin, 2008).

#### 4.1.1. Bulanık mantığın temel kavramları

Bilim, felsefe ve kültürel etkinliğin birçok alanında 19. ve 20. yüzyıl devrimlerle dolu bir süreci gösterir. Mamdani ve Assilian tarafından 1975 yılında yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile bulanık mantık dikkat kazanmıştır. Bulanık mantık sorun çözücü bir kontrol yöntemi olarak her türlü karmaşık sistemlerde kullanılmaktadır. Sistemlerde kayıp bilgi girişi yada belirsizliğe rağmen kesin bir sonuca ulaşabilmektedir. Bulanık mantık kontrol sistemine bir insanın karar verme mekanizmasını taklit ederek yaklaşır. Sistemin matematiksel modellemesi yerine, bir kontrol problemini çözmek için kural-tabanlı “Eğer ve \_se” mantığını kullanmaktadır. Bulanık mantık hata ve hata değişim oranına göre sayısal parametrelere ihtiyaç duyar. Parametrelerin deneysel ayarlama yöntemiyle hesaplandığında, çok hızlı bir sistem tepkisi istenmiyorsa, bu değerlerin çok kesin ve doğru değerler olması süreç için çok önemli değildir. Şekil 4.1’da bir bulanık sistemin akışı görülmektedir (Ali, 2011; Yılmaz ve Arslan, 2005).



Şekil 4.1. Bulanık Mantık İşlemleri (Ali, 2011; Yılmaz ve Arslan, 2005).

1– Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olayın etkilendiği girdi değişkenlerinin tüm bilgilerini içermektedir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

2– Bulanıklaştırıcı Sayısal girdi değerlerini sözel olarak nitelendirilmiş bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atayan bir işlemcidir.

3– Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan kuralların tümünü içermekte ve bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm ara (bulanık küme) bağlantıları düşünülür (Yılmaz ve Arslan, 2005).

4– Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içermektedir.

5– Durulastırıcı: Bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür.

6– Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtmektedir.

- Bulanık mantığın dayandığı matematiksel teori basittir.
- Bulanık mantık esnektir.
- Eksik yada yetersiz verilerle işlemler yapılabilmektedir.
- Bulanık mantık karmaşık lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilir.
- Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanır.
- Bulanık mantık insanların günlük işlerinde kullandığı dili kullanır. Bu da bulanık mantığın en büyük avantajıdır (Ali, 2011; Yılmaz ve Arslan, 2005).

#### 4.1.2. Bulanık kümeler ile ilgili temel kavramlar

##### 4.1.2.1. Temel açıklamalar

Üyelik Fonksiyonu (Karakteristik fonksiyon): Üyelik fonksiyonları, 0 ile 1 arasında değerler alan fonksiyonlar ile modellenmekte ve verilen bir bulanık küme içerisindeki noktaların çeşitli üyelik derecelerini göstermektedir (Öztürka, 2012). Küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu adı verilmektedir (Karakaşoğlu, 2008).

##### 4.1.2.2. Bulanık kümeler

$U$  evrensel küme ve  $\mu_{A\sim}(x): U \rightarrow [0,1]$  üyelik fonksiyonu olmak üzere,

$$A\sim = \{(x, \mu_{A\sim}(x)): x \in U\}$$

ile tanımlanan  $A\sim$  kümesi *bulanık küme* adını alır. Bulanık kümeler olarak  $A\sim, B\sim, C\sim$  işaretleri ile belirtilmesine rağmen kolaylık açısından bazen  $A, B, C$  ile de ifade edilebilir. Alt kümesine bulunma oranını gösteren fonksiyona ve evrensel kümesindeki bir  $x$  elemana üyelik fonksiyonu denir.  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  ile gösterilen üyelik fonksiyonu ifade edilebilir.

$$A = \{(x_1, \mu_A(x_1)), (x_2, \mu_A(x_2)), \dots, (x_n, \mu_A(x_n))\}$$

Bu ifadede kolaylık açısından üyelik oranı sıfır olan elemanlara ait karmaşıklıklar gösterilmeyebilir (Sakawa, 1993; Ehr Gott, 2003). Ayrıca  $A$  bulanık kümesi, eğer  $U$  evrensel kümesi denebilir yada kesikli ise,

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \frac{\mu_A(x_3)}{x_3} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}$$

ve eğer  $U$  evrensel kümesi denilemez (sonsuz elemanlı) ve devamlı ise  $A = \int \frac{\mu_A(x)}{x}$  biçiminde gösterilebilir (Öğütü, 2002; Ehrgott, 2003; Nabiyev, 2003; Karakaşoğlu, 2008).

### 1-Bulanık kümenin desteği

$U$  evrensel kümesindeki bir Abulanık kümesinin desteği, üyelik oranı olumlu olan yanlarının bulunduğu kesin (crisp) kümedir ve  $S(A)$  şeklinde belirtilebilir (Çetin, 2008).

$$S(A) = \{x \in X | \mu_A(x) > 0\}$$

### 2-Bulanık kümenin alfa kesimi

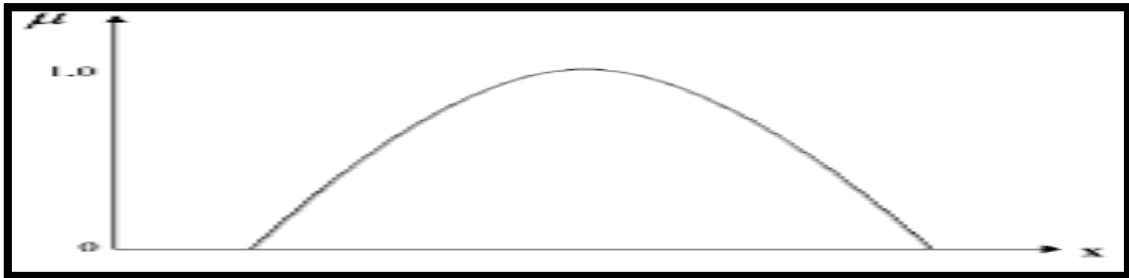
$U$  evrensel kümesindeki  $A$  bulanık kümesinin  $\alpha$  –keseni, bu kümeye ait olma oranı  $\alpha \in [0, 1]$  sayısından büyük veya eşit olan elemanların bulunduğu kesin kümedir. Aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Zimmermann, 1993 ; Çetin, 2008).

$$S(A) = \{x \in X | \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

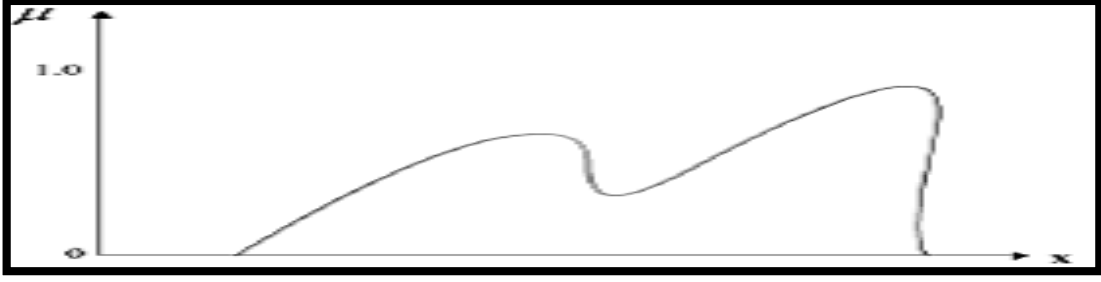
### 3-Bulanık kümenin konveksliği

$U$  evrensel kümesindeki  $A$  bulanık kümesinin bütün  $\alpha$  – kesenleri konveks ise bulanık kümeye konveks bulanık küme denir. Diğer birleyle, bir  $A$  bulanık kümesinin konveks olması için bulunması gereken eşitsizliğinin sağlanmasıdır (Çetin, 2008).

$$\forall x_1, x_2 \in U, \alpha \in [0, 1] \text{ için } \mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2))$$



Şekil 4.2. Konveks bulanık küme (Çetin, 2008).



Şekil 4.3. Konveks olmayan bulanık küme (Çetin, 2008).

#### 4-Bulanık kümenin yüksekliği

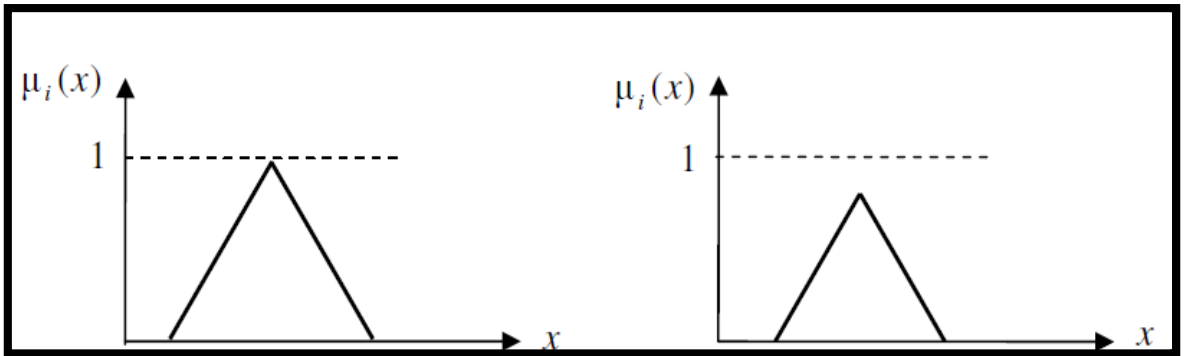
Yükseklik, üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik derecesine eşittir. Yükseklik tanımı aşağıda verilmiştir (Karakaşoğlu, 2008).

$$\text{Yükseklik } (A^{\sim}) = \sup \mu_{A^{\sim}(x)}; \forall x \in U$$

Burada  $A^{\sim}$  kümesi sonlu bir evrensel kümede tanımlı ise en küçük üst sınırı gösteren sup (supremum) terimi yerine maksimum terimi kullanılır (Özkan, 2003).

#### 5- Bulanık kümenin normalliği

Normal bulanık küme, üyelik derecesi 1'e eşit olan kümedir. Yüksekliği 1'e eşit olan bulanık kümeler ise normal bulanık kümeler ile ifade edilir. Aksi takdirde yüksekliği 1'den küçük olan bulanık kümelere normal altı bulanık kümeler denilmektedir. Şekil (4.4) ve Şekil (4.5)'desırasıyla normal ve normal altı bulanık kümeler görülmektedir (Bojadzıev ve Bojadzıev, 1998).



Şekil 4.4. Normal bulanık küme

Şekil 4.5. Normal altı bulanık küme



Normal bulanık küme matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\text{Yükseklik } (A^{\sim}) = \sup |\mu_{A^{\sim}}(x)| = 1 ; \exists x \in U \quad (\text{Karakaşoğlu, 2008}).$$

#### 6-Bulanık kümenin kardinalitesi

$U$  evrensel kümesindeki sonlu  $A$  bulanık kümesinin kardinalitesi, kümeye ait olan elemanların üyelik derecelerinin bütününe eşittir ve aşağıdaki şekilde gösterilir. Ayrıca  $A$  bulanık kümesinin öznel kardinalitesi:

$$\begin{array}{l} \text{Eğer } U \text{ evrensel kümesi} \\ \text{kardinalitesi,} \end{array} \quad \begin{array}{l} |A| = \sum_{x=1} \mu_A(x) \\ \|A\| = \frac{|A|}{|U|} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{sonlu değilse } A \text{'nin} \end{array}$$

$$|A| = \int \mu_A(x) dx$$

tarzında tanımlanır ve bu durumda kardinalite her zaman var olmayabilir (Zimmermann, 1993).

#### 4.1.2.3 Bulanık kümelerde temel küme teorisi işlemleri

Esas küme teorisi işlemleri bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları yoluyla ifade edilir. Zadeh tarafından önerilen esas küme teorisi işlemleri aşağıda verilmiştir (Sakawa, 1993; Ehrgott, 2003). Bir Uevrensel kümesinde boş kümeden değişik iki bulanık küme  $A$  ve  $B$  olsun.

Eşitlik (Equality):  $A$  ve  $B$  kümelerinin eşit olabilmesi için gerek ve yeter şart  $U$  evrensel kümesindeki bütün noktalar için bu bulanık kümelerin üyelik seviyelerinin eşit olmasıdır.

$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in U$$

Altküme (Containment): A bulanık kümesinin, B'nin altkümesi olması için gerek ve yeter şart A'daki elemanlara denk gelen tüm üyelik seviyelerinin, bu elemanların B'deki üyelik derecelerinden küçük yada eşit olmasıdır.

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x), \forall x \in U$$

tümleyen

(Complementation): A bulanık kümesinin yeni A ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu ile ifade edilir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U.$$

Kesisme (Intersection): A ve B bulanık kümelerinin kesişimi  $A \cap B$  ile gösterilir ve

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

tarzında tanımlanır. Bulanık kümeler arası kesişim, " $\wedge$ " işareti ile ifade edilen “mantıksal ve” bağlacına denk gelmektedir.

Birleşme (union): A ve B bulanık kümelerinin birleşimi  $A \cup B$  ile gösterilir ve

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

şeklinde tanımlanır. Bulanık kümeler arası birleşim, " $\vee$ " işareti ile ifade edilen “mantıksal” bağlacına denk gelmektedir (Çetin, 2006).

### ***Bulanık küme teorisinin avantajları ve dezavantajlar***

#### ***Bulanık küme teorisinin avantajları***

- 1- Bulanık küme teknikleri bazı problemler için iyi çözüm olarak görülür.
- 2- Birçok tanım ve kesin problemin farklı çözümleri olduğu için uygulayıcılara bulanık küme teknikleri etkin sonuçlar vermektedir.

3- İnsan faktörünün içine girdiği, kişisel önyargı, belirsizlik ve amaçların kapsandığı durumlarda uygulama alanı bulduğundan gerçek hayat problemleri için klasik matematiksel modellemeden daha esnek ve güvenlidir (Tuş, 2006).

#### *Bulanık küme teorisinin dezavantajları*

1- Üyelik fonksiyonlarının makul bir şekilde oluşumu açık değildir. Daha basit fonksiyonların birleşimi ve istatistiksel veri kullanımı icirilmesi önerilmiştir, Ancak henüz genel yaklaşım görüntüsü tamamen oluşmamıştır.

2- Zadeh'in kabul ettiği gibi farklı tanımlar ve farklı durumlarda geçerlidir. Bu nedenle uygulayıcılar için tanımların seçimi tam uygun olmayabilir. Ayrıca kullanılan tanımlar her zaman açık değildir (Tuş, 2006).

#### *Bulanık kümelerin özellikleri*

$U$  evrensel kümesi üzerinde bilinen iki bulanık küme  $A$  ve  $B$  olsun. Klasik küme teorisindeki değişme, bütünleşme, dağılma v.s. gibi aşağıda ifade edilen özellikler bulanık küme teorisinde de geçerlidir.

1. Değişme Özelliği (Commutativity Law)

$$A \cup B = B \cup A$$

$$A \cap B = B \cap A$$

2. Birleşme Özelliği (Associativity Law):

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$$

3. Dağılma Özelliği (Distributivity Law):

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

4. De Morgan Kuralları ( De Morgan 's Laws):

$$\overline{(A \cup B)} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

$$\overline{(A \cap B)} = \bar{A} \cup \bar{B}$$

5. Eşgüçlülük (Idempotence):

$$A \cup B = A$$

$$A \cap B = A$$

6. Soğurma (Absorption):

$$A \cup (A \cap B) = A$$

$$A \cap (A \cup B) = A$$

$$A \cup U = U$$

$$A \cap \emptyset = \emptyset$$

7. Özdeşlik ( Identity ):

$$A \cup \emptyset = A$$

$$A \cap U = A$$

8. Çift Değilleme ( Involution ) :  $A^{\bar{}} = A$

Burada ifade edilmelidir ki, Klasik kümelerden farklı olarak bulanık kümeler için geçerli olan kural  $\check{A} \cup A \neq U$  ve  $\check{A} \cap A \neq \emptyset$  özellikleridir. Bu özellikler klasik ile bulanık küme teorileri arasında ayırt edici rol oynamaktadır (Sakawa, 1993; Ehrgott , 2003).

### ***Bulanık kümelerde cebirsel işlemler***

Klasik küme işlemlerine ek olarak, bulanık kümeler ile cebirsel işlemleri kullanmak da yararlıdır:

### ***Cebirsel Çarpım (Algebraic product)***

$A$  ve  $B$  bulanık kümelerinin cebirsel çarpımı olan bulanık küme  $AB$  ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu

$$\mu_{AB}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \text{ olarak ifade edilir.}$$

*Cebirsel Toplam (Algebraic sum)*: Bulanık küme  $A+B$  ile gösterilir ve üyelik fonksiyon cebirsel toplamı olarak ifade edilmektedir.

$$\mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x) \text{ olarak tanımlanmaktadır.}$$

*kısıtlı Çarpımı (Bounded Sum)*:  $A$  ve  $B$  bulanık kümelelerin kısıtlı toplamı olan bulanık küme  $A \oplus B$  ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu Olarak tanımlanır.

$$\mu_{A \ominus B}(x) = \max \mathbf{v}(0, \mu_A(x) - \mu_B(x) - I) = 0 \mathbf{v}(\mu_A(x) + \mu_B(x) - I)$$

*Kısıtlı Toplamı (Bounded Product):* A ve B bulanık kümelerinin kısıtlı Farklı olan bulanık küme  $A \ominus B$  ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu

$$\mu_{A \ominus B}(x) = \min \mathbf{A}(I, \mu_A(x) - \mu_B(x)) = I \mathbf{A}(\mu_A(x) + \mu_B(x)) \text{ olarak ifade edilir.}$$

*Sınırlı farklı(Bounded Difference):* A ve B bulanık cümelerinin sınırlı çarpımı olan bulanık küme  $A \ominus B$  ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu

$$\mu_{A \ominus B}(x) = \max(0, \mu_A(x) - \mu_B(x)) = 0 \mathbf{v}(\mu_A(x) - \mu_B(x)) \text{ Olarak ifade edilir (Çetin 2006).}$$

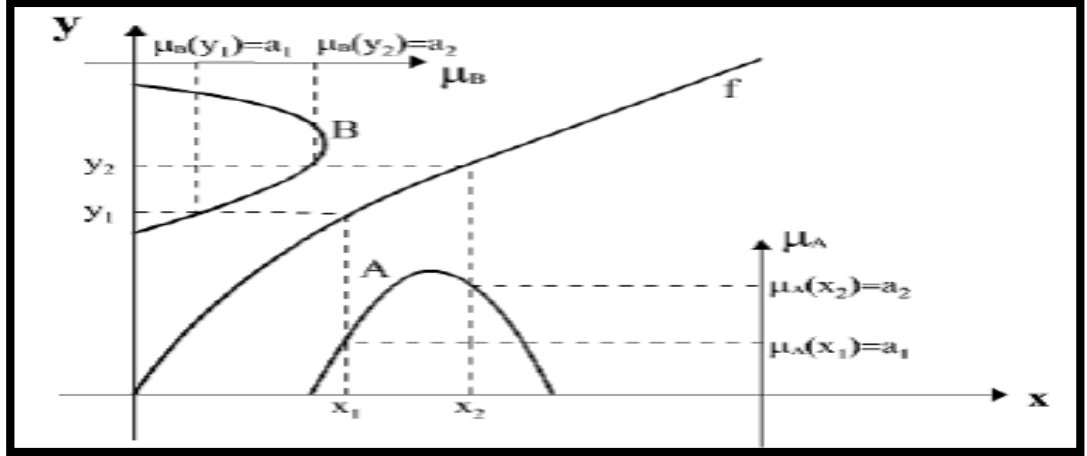
#### 4.1.3. Zadeh'in genişleme prensibi

Klasik kümeler arasında fonksiyon ifadesinin, bulanık kümeler üstünde ifade edilmesine genişleme prensibi denir. Farklı bir ifadeyle  $f, \dots, I$  kümesinden  $J$  kümesine bir fonksiyon  $f : I \rightarrow J$  olsun. Genişleme prensibi;  $I$  üstünde bulanık  $A$  kümesi vef fonksiyonu vasıtasıyla  $Y$  kümesi üzerinde  $B = \{(y, \mu_B(y)) \mid y = f(x), x \in I\}$  bulanık kümesinin

$$\mu_B(x) = \begin{cases} (\sup_{y=f^{-1}(x)} \mu_B(y)), & f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0, & f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases}$$

Üyelik fonksiyonu ile tanımlanmasına imkan sağlamaktadır.

Şekil (4.6).Burada  $f^{-1}(y)$ , 'nin ters görüntüsüdür (Sakawa, 1993 ; Çetin 2006).



Şekil 4.6: Genişleme prensibinin açıklanması (Sakawa, 1993).

Tanım 2.1. (Kartezyen Çarpım):  $I_1, I_2, \dots, I_n$  üstünde ifadedi bulanık kümeler ardarda  $A_1, A_2, \dots, A_n$  denk gelen üyelik fonksiyonları da  $\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots, \mu_{A_n}(x_n)$  olsun.  $A_1, A_2, \dots, A_n$  bulanık kümelerinin Kartezyen çarpımı,  $I_1 \times I_2 \times \dots \times I_n$  üstünde  $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$  ile işaret edilen bir bulanık kümedir ve üyelik fonksiyonu da olarak ifade edilir.

$$\mu_{A_1} \times \mu_{A_2} \times \dots \times \mu_{A_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \min(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)) \quad (2.1)$$

Tanım 2.2. (Kartezyen Uzayda Genişleme Prensibi):

$F: I_1 \times \dots \times I_n \rightarrow J$  gerçekleşmek üzere genişleme prensibi;  $I_1, I_2, \dots, I_n$  üstünde bulanık  $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$  kümesi ve  $f$  fonksiyonu vasıtasıyla  $J$  kümesi üstünde

$B = \{(y, \mu_B(y)) | y = f(x_1, \dots, x_n), (x_1, \dots, x_n) \in I_1 \times I_2 \times \dots \times I_n\}$  bulanık kümesinin

$$\mu_B(y) = \begin{cases} \sup_{(x_1, \dots, x_n) \in I_1 \times \dots \times I_n} \mu_{A_1} \times \dots \times \mu_{A_n}(x_1, \dots, x_n) & \text{sup } f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0 & \text{sup } f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases} \quad (2.2)$$

üyelik fonksiyonu ile anlamlandırılmasına olanak sağlar. Burada  $f^{-1}(y)$ ,  $y$ 'nin zıt görüntüsüdür. 1978'de H.T. Nguyen alfa seviye kümesi kavramını kullanarak, (2.2) genişleme prensibinin alttaki ifadeye denk olduğunu göstermiştir.

Teorem 2.1. (Nguyen): Herhangi bir  $y \in J$  için,  $\mu_B(y) = \mu_{A_1} \times \dots \times \mu_{A_n}(x_1, \dots, x_n)$  olacak tarzda  $x_1, \dots, x_n$  'ler varsa, yani bir kısmı  $x_1, \dots, x_n$  için (2.2)'nin supremumuna ulaşırsa,  $[f(A_1, \dots, A_n)]_\alpha = f(A_{1\alpha}, \dots, A_{n\alpha})$  denkliği geçerlidir (Sakawa, 1993).

#### 4.1.4. Bulanık sayılar

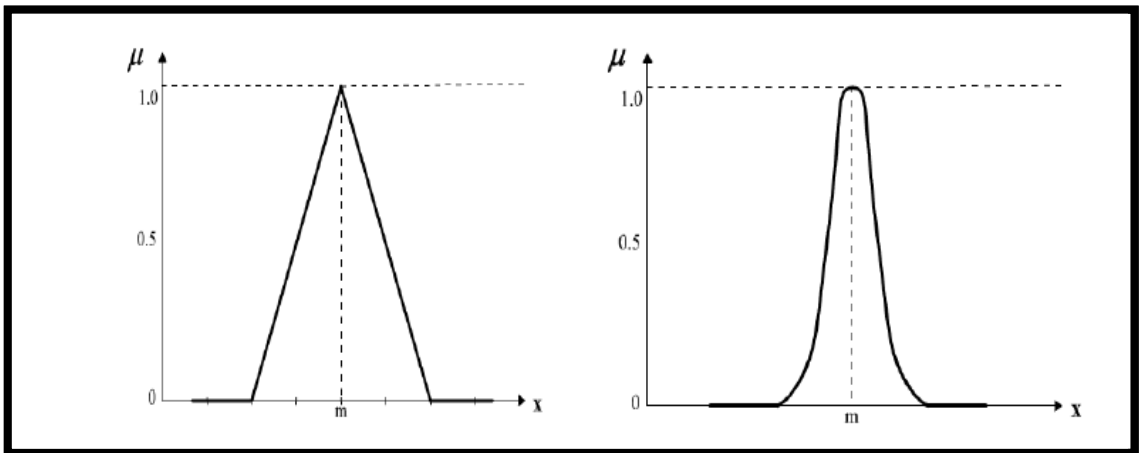
Bulanık sayılar bulanık kümenin üyelik fonksiyonu tarafından temsil edilmektedir (Öztürk vd., 2012).

Tanım 4.3: Üyelik fonksiyonu parçalı devamlı olan, R reel ekseninde ifadedi, konveks ve normaliz edilmiş bulanık kümeye bulanık sayı denir (Sakawa, 1993).

Tanım 4.4: Bir  $M$  bulanık sayısı, tüm negatif (pozitif)  $x$  değerleri için sıfır üyelik değerini alıyorsa bu bulanık sayı pozitifdir (negatifdir) denir. Yani,  $M$  bulanık sayısı pozitifdir (negatifdir)

$$\forall x < 0 (\forall x > 0) \text{ için } \mu_M(x) = 0 \text{ 'dır.}$$

Yaygın tarzında kullanılmaktadır (Şekil 4.7).



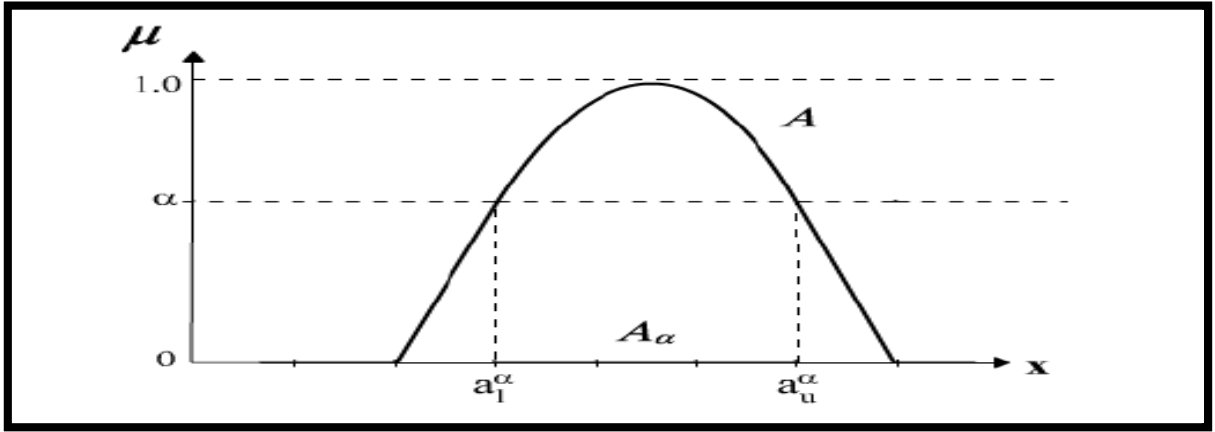
Şekil 4.7. FGT Bulanık sayı örnekleri (Sakawa, 1993; Ehrgott, 2003).

### Bir Bulanık Sayının Güven Aralığı (Confidence Interval)

Üyelik derecesi  $\alpha$  ( $\alpha \in [0,1]$ ) sayısından büyük yada eşit olan bütün gerçek sayıların oluşturduğu aralığa güven aralığı ( $\alpha$  –kesimi) denir.

$$A_\alpha = \{x \in R | \mu_A(x) \geq \alpha\} = [a_l^\alpha, a_u^\alpha]$$

Bir bulanık  $A$  sayısının  $\alpha$  –kesimi  $A_\alpha$  Şekil (4.8)'de gösterilmiştir (Sakawa, 1993).



Şekil 4.8. Bulanık  $A$  sayısının  $\alpha$  –kesimi (Sakawa, 1993).

#### 4.1.4.1. Bulanık sayılarda temel aritmetik işlemler

Bulanık küme teorisinde genişleme prensibinin temel uygulamalarından biri klasik küme teorisinde “+”, “-”, “×” ve “÷” cebirsel işlemlerinin bulanık sayılara genişletilmesidir.

Zadeh’in genişleme prensibi ile yapılabilir.  $\mu_M(x)$  ve  $\mu_N(x)$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları olmak üzere  $R$  deki “+”, “-”, “×” ve “÷” ikili işlemleri  $M$  ve  $N$  bulanık sayılarının “ $\oplus$ ”, “ $\ominus$ ”, “ $\otimes$ ” ve “ $\oslash$ ” ikili işlemlerine genişleme prensibiyle alttaki gibi genişletilebilir (Sakawa, 1993; Ehrgott, 2003).



1- *Genişletilmiş Toplama:  $M \oplus N$* 

$$\mu_{M \oplus N}(z) = \sup_{z=x+y} \min(\mu_M(x), \mu_N(y)) = \sup_{x \in R} \min(\mu_M(x), \mu_N(z-x)).$$

2- *Genişletilmiş Çıkarma:  $M \ominus N$* 

$$\mu_{M \ominus N}(z) = \sup_{z=x-y} \min(\mu_M(x), \mu_N(y)) = \sup_{x \in R} \min(\mu_M(x), \mu_N(x-z)).$$

3- *Genişletilmiş Çarpma:  $M \otimes N$* 

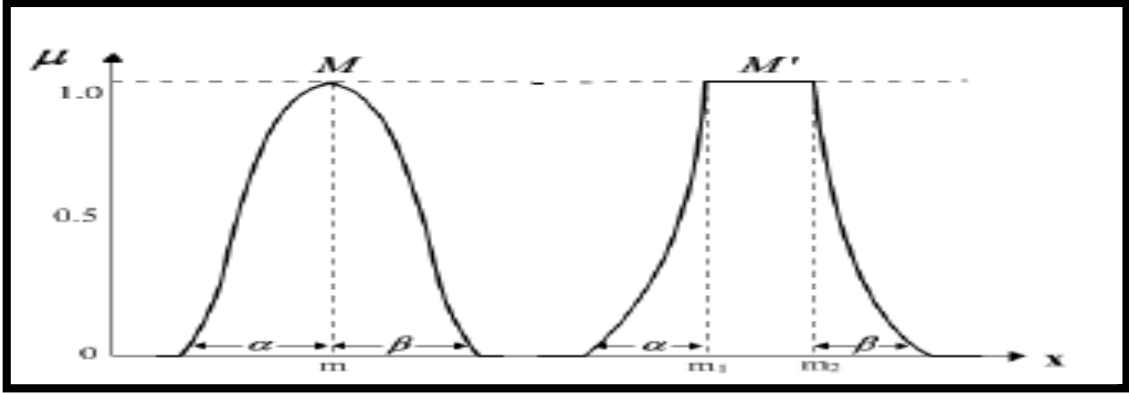
$$\begin{aligned} \mu_{M \otimes N}(z) &= \sup_{z=xy} \min(\mu_M(x), \mu_N(y)) \\ &= \sup_{x \in R} \min(\mu_M(x), \mu_N(x-z)) \\ &= \left\{ \begin{array}{l} \sup_{x \in R} \min(\mu_M(x), \mu_N(x/z)) \\ \text{Max}\{\sup_{x \in R} \min(\mu_M(x), \mu_N(0)), \sup_{y \in R} \min(\mu_M(0), \mu_N(y))\} \end{array} \right\} \end{aligned}$$

4- *Genişletilmiş Bölme:  $M \oslash N$* 

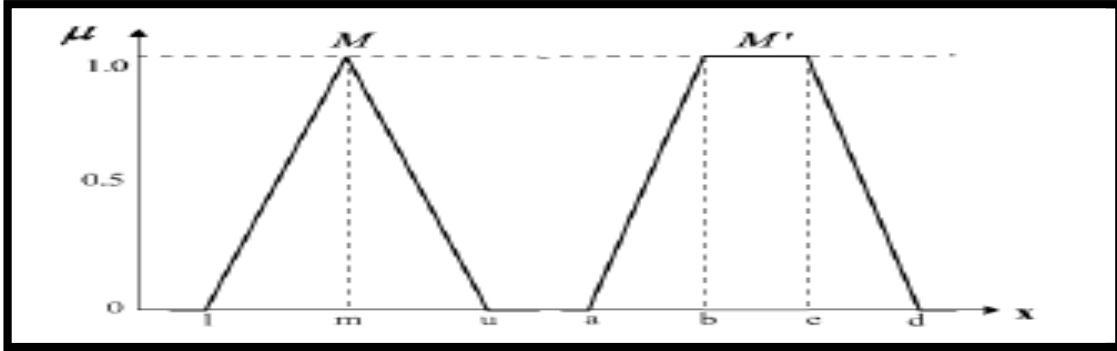
$$\begin{aligned} \mu_{M \oslash N}(z) &= \sup_{z=x/y} \min(\mu_M(x), \mu_N(y)) \\ &= \sup_{x \in R} \min(\mu_M(x), \mu_N(x/z)), \\ &= \sup_{\substack{y \in S(N) \\ 0 \in S(N)}} \min(\mu_M(z \cdot y), \mu_N(y)) \end{aligned}$$

**4.1.4.2. Özel bulanık sayılar**

Özel bulanık sayılar hesaplama uğraşısını minimuma indirmek için tavsiye etmişlerdir. Literatürde şuana kadar üçgensel, yamuksal ve bunların L – R tipli olanları değişik karar modellerine uygulanmıştır (Chen ve Hwang, 1992; Çetin , 2006). Şekil 2.9 ve Şekil 4.9 bazı özel bulanık sayıları vermektedir.



Şekil 4.9. L- R tipli bulanık sayılar (Chen ve Hwang,1992; Çetin , 2006).



Şekil 4.10. Üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar (Chen ve Hwang, 1992; Çetin , 2006).

Tanım 4.5: L -R tipli bulanık sayılar:

$M$  bulanık sayısının  $L$ - $R$  tipli bir bulanık sayı olması için gerek ve yeter şart,

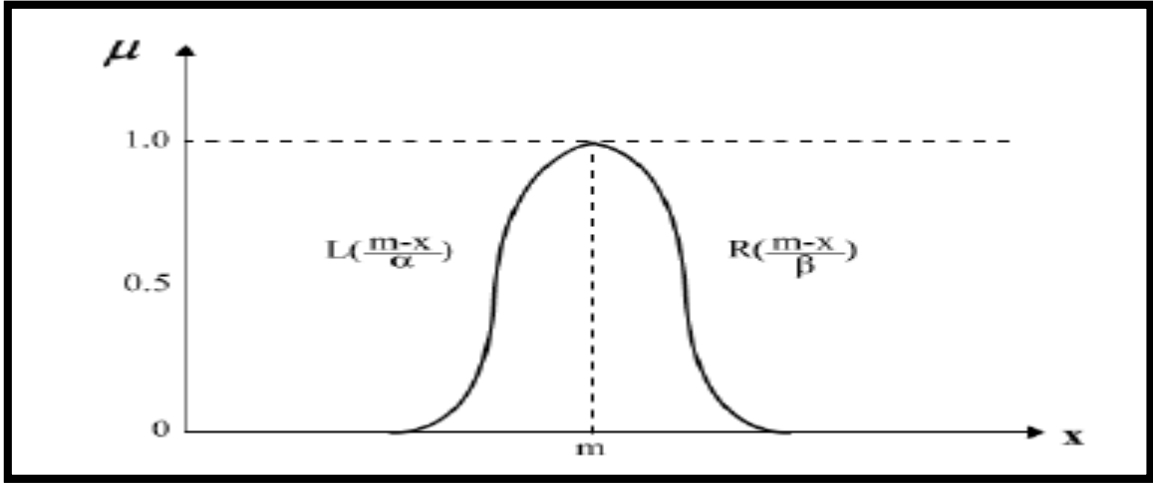
1.  $L(x) = L(-x)$
2.  $L(0) = 1$
3.  $L(x)$ ,  $[0, \infty)$  aralığında artmayan sol biçim

fonksiyonu olmak üzere

$$\mu_M(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m-x}{\alpha}\right) & x \leq m, & \alpha > 0 \\ R\left(\frac{x-m}{\beta}\right) & x \geq m, & \beta > 0 \end{cases}$$

olmasıdır. Burada  $m$ ,  $M$  bulanık sayısının orta değeri,  $\alpha$  ve  $\beta$  sırasıyla sol ve sağ yayılımlardır.  $\alpha$  ve  $\beta$  yayılımları sıfır olduğunda  $M$  bulanık sayısı  $m$  kesin sayısına indirgenir.

$R(\cdot)$  sağ yayılım fonksiyonu da  $L(\cdot)$  ya aynı şekilde tanımlanabilir.  $M$  bulanık sayısı, orta değer, sağ ve sol yayılımlar ve biçim fonksiyonları kullanılarak bir  $L - R$  tipli bulanık sayı  $M = (m, \alpha, \beta)_{LR}$  ile sembolik tarzda gösterilebilir (Sakawa, 1993; Ehrgott, 2003).



Şekil 4.11. L -R tipli bulanık sayısının açıklaması (Sakawa, 1993; Ehrgott M., 2003).

Sol biçim fonksiyonlarına örnek olarak aşağıdaki fonksiyonlar verilebilir:

$$L(x) = \max(0, 1 - |x|^p), \quad p > 0$$

$$L(x) = \exp(-|x|^p), \quad p > 0$$

$$L(x) = 1/(1 + |x|^p), \quad p > 0$$

Tek olmayan Tepe noktası ise L- R tipli  $M$  bulanık sayısının düz bir tepe bölgesi vardır ve

$$M' = (m_1, m_2, \alpha, \beta)$$

olarak yazılabilir (Şekil 4.11).

*Üçgensel (veya yamuksal) bulanık sayı*

$x, l, m, u \in R$  olmak üzere  $M$  üçgensel bulanık sayısı

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l < x \leq m \\ \frac{m-x}{u-m}, & m < x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases}$$

olarak tanımlanır. Şekil 4.10'deki  $M = (l, m, u)$  bulanık sayısının alt sınırı  $l$  ve üst sınırı da  $u$ dur. Şekil 4.10'deki  $M'$  yamuksal bulanık sayısının birçok tepe noktası vardır ve

$$M' = (a, b, c, d)$$

şeklinde gösterilir.  $M'$  bulanık sayısı için  $[b, c]$  aralığı en olası ifadeleri,  $a$  değerinin altında ve  $d$  değerinin üstündeki noktalar ise tamamen olanaksız olan değerleri gösterir.  $B$  den  $a$  ya ve  $c$  den  $d$  ye üyelik değeri derece (veya lineer olarak) azalır.

Üçgensel (veya yamuksal) bulanık sayı  $L - R$  tipli bulanık sayıdan daha kısıtlayıcı formdadır. Tüm bacaklar lineer olmalıdır.

Üstelik

$$\alpha = m - l \text{ ve } \beta = u - m$$

olduğunda

$$M = (l, m, u) = (m, \alpha, \beta)$$

olur. Benzer şekilde

$$\alpha = b - a \text{ ve } \beta = d - c$$

olduğunda ise.

$$M' = (a, b, c, d) = (b, c, \alpha, \beta)$$

olur.  $M$  ve  $M'$  bulanık sayılarının özellikleri aynı kalır (Chen ve Hwang, 1992).

$\alpha$  - kesenleri Yardımıyla Yamuksal Bulanık Sayılar için Cebirsel İşlemler: Yamuksal Bir  $M$  bulanık sayısı  $\alpha$ -kesenleri yardımıyla, olarak tanımlanır (Çitli, 2006). Böylece

$$\forall \alpha \in [0,1] \text{ için } M_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, d_1^{(\alpha)}] = [(b_1 - a_1) \alpha + a_1, -(d_1 - c_1) \alpha + d_1]$$

$$M = (a_1, b_1, c_1, d_1) \text{ ve } N = (a_2, b_2, c_2, d_2)$$

yamuksal bulanık sayıları arasındaki cebirsel işlemler aşağıdaki gibidir:

Toplama:

$$M(+ )N = M_{\alpha}(+)N_{\alpha} = [a_1^{(\alpha)}, d_1^{(\alpha)}] + [a_2^{(\alpha)}, d_2^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} + a_2^{(\alpha)}, d_1^{(\alpha)} + d_2^{(\alpha)}]$$

(Çetin, 2008).

Çıkarma:

$$M(-)N = M_{\alpha}(-)N_{\alpha} = [a_1^{(\alpha)}, d_1^{(\alpha)}] - [a_2^{(\alpha)}, d_2^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} - a_2^{(\alpha)}, d_1^{(\alpha)} - d_2^{(\alpha)}]$$

(Çetin, 2008).

Çarpma:

Sadece pozitif reel sayılar ve doğal sayılar için tanımlı yamuksal bulanık sayılarda çarpma işlemi

$$a_2^{\alpha} > 0 \text{ ve } d_2^{\alpha} > 0$$

olmak üzere her  $\alpha \in [0,1]$  için

$$M_{\alpha}(\cdot)N_{\alpha} = \left[ \frac{a_1^{\alpha}}{d_2^{\alpha}}, \frac{d_1^{\alpha}}{a_1^{\alpha}} \right]$$

şeklinde tanımlanır (Aksoy vd., 2003; Çetin, 2008).

Bölme: Sadece pozitif reel sayılar için bölme işlemi,

$$a^{\alpha} > 0 \text{ ve } c^{\alpha} > 0$$

olmak üzere her  $\alpha \in [0,1]$  için

$$M_{\alpha}(\cdot)N_{\alpha} = \left[ \frac{l^{\alpha}}{c^{\alpha}}, \frac{u^{\alpha}}{a^{\alpha}} \right] = \left[ \frac{l + (m-l)\alpha}{-(c-b)\alpha + c}, \frac{-(u-m)\alpha + u}{a + (b-a)\alpha} \right]$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Aksoy vd., 2003; Çetin, 2008).

*Ters Alma:* Pozitif reel sayılar kümesinde tanımlı olan yamuksal bulanık sayısının tersi

$$M_{\alpha}^{-1} = \left[ \frac{1}{d_1^{(\alpha)}}, \frac{1}{a_1^{(\alpha)}} \right]$$

olarak tanımlanır (Aksoy vd., 2003; Çitli, 2006; Çetin, 2008).

#### **Cebirsel işlemlerdeki Basitlik-Hassasiyet trade-off (değiş-tokuş)'u**

Bulanık kümeler, hayatımızdaki belirsiz kavramları matematiksel olarak modellemede kullanılmaktadır. Bulanık küme teorisi işlemleri yardımıyla, farklı bulanık kümeler kombine edilebilir ve klasik matematik modeller kullanılarak çözülemeyen problemlere bazı özel cevaplar elde edilebilir.

Klasik matematik kavramlarla bulanık miktarları Zadeh'in genişleme prensibini kullanarak birleştirmek doğal bir yoldur. Ancak bu yolu alfa-kesen tarzı yardımı ile bile olsa cebirsel işlemlere uygulamak bir hayli zordur.

Bu şekilde normallik ve konvekslik gibi bazı engelleyici özellikleri olan yeni bir tür bulanık sayılar farklı araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır (Çetin, 2008).

#### **4.2. Bulanık Karar Verme**

Karar terimi bir istatistik uzmanı tarafından kullanılıp kullanılmadığına bağlı olarak birçok farklı anlamlara sahip olabilmektedir. Bu, bir durumda yasal bir yapı ifade ederken diğerinde matematiksel bir model olabilmektedir. Klasik karar teorisinde bir karar; karar alternatiflerinin bir kümesi; doğa durumlarının bir kümesi kararın her bir ikilisini atayan ve bir sonuç belirten bağıntı ve son olarak sonuçları çekiciliklerine

göre sıraya koyan fayda fonksiyonu ile tanımlanabilmektedir. Karar iki şekilde verilmektedir. Belirlilik altında karar verirken karar verici, hangi durumu beklediğini bilir ve en yüksek faydalı karar alternatifini seçer. Ancak risk altında karar verirken karar verici hangi durumun gerçekleşeceğini bilmez, sadece durumların olasılık fonksiyonunu bilir ve bu şekilde karar verme daha zor bir hal alır (Çitli, 2006). Bellman ve Zadeh (1970), bulanık hedef, bulanık kısıt ve bulanık karar olmak üzere üç esas kavramdan bahsetmiş ve bunların bulanık altında karar süreçlerine uygulamaları ile ilgili birçok araştırma gerçekleştirmişlerdir.

X alternatifler uzayı üzerinde bir bulanık hedef:

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

üyelik fonksiyonu ile; bir bulanık kısıt

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

Bellman ve Zadeh (1970)'in bahsettiği bulanık karar tanımında, bulanık hedef ile bulanık kısıtın aynı anda olması gerekir. Bu biçimde Bellman ve Zadeh bulanık karar D'yi; bulanık hedef ve bulanık kısıt C'nin kesişimi ile tarif etmektedir. Daha açıkça, kümesi üzerinde tanımlı bulanık karar kümesi:

$$D = G \cap C$$

ile tanımlanır ve bu küme

$$\mu_D(x) = \mu_{G \cap C} = \min \{ \mu_G(x), \mu_C(x) \} \quad (4.3)$$

üyelik fonksiyonu ile belirlenir. Bu tanımdan, maksimize edici karar olmaktadır.

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

Daha genel olarak, k tane bulanık hedef,  $G_1, G_2, \dots, G_k$  tane bulanık kısıt olmak üzere, bulanık karar;  $C_1, C_2, \dots, C_m$  olmak üzere, bulanık karar:

$$D = G_1 \cap G_2 \cap \dots \cap G_k \cap C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_m$$

ve bulanık kararın üyelik fonksiyonu da

$$\mu_D = \min\{\mu_{G_1}, \mu_{G_2}, \dots, \mu_{G_K}, \mu_{C_1}, \mu_{C_2}, \dots, \mu_{C_M}\} = \min\{\mu_{G_i}, \mu_{G_j}\} = \min\{\mu_i\}$$

şeklindedir.

Ayrıca maksimize edici karar ise olarak tanımlanır.

$$\max_{x \in X} \mu_D(x) = \max_{x \in X} \min(\mu_{G_1}(x), \dots, \mu_{G_K}(x), \mu_{C_1}(x), \dots, \mu_{C_M}(x))$$

Ancak, karara etkisi ile ilgili bulanık hedef ve bulanık kısıt aynıdır, her ikisinin de eşit önem ağırlığıyla karara katkıda unutulmamalıdır. Bazen hedef ve bulanık kısıtları farklı ağırlıklarla bir araya getiren modeller uygulanabilir.

Bellman ve Zadeh (1970), bulanık hedef ve kısıtların eşit önem ağırlığına sahip olmadığı bu durumlar için konveks bulanık karar tanımını vermişlerdir. Bu tanıma göre bulanık karar üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. Burada hedeflerin ve kısıtların göreceli önemlerini yansıtan ağırlık katsayılarıdır.

$$\begin{aligned} \mu_D^{\text{konveks}}(x) &= \sum_{i=1}^k \alpha_i \mu_{G_i}(x) + \sum_{j=1}^m \beta_j \mu_{C_j}(x) \\ \sum_{i=1}^k \alpha_i + \sum_{j=1}^m \beta_j &= 1, \quad \alpha_i, \beta_j \geq 0 \end{aligned}$$

Ayrıca çarpım işlemiyle de bulanık kararın üyelik fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

$$\mu_D^{\text{carpma}}(x) = \left( \prod_{i=1}^k \mu_{G_i}(x) \right) \cdot \left( \prod_{j=1}^m \mu_{C_j}(x) \right)$$

$x^*$  optimal seçeneği de konveks ve çarpım bulanık kararın maksimize edilmesiyle bulunmaktadır.

$$\mu_D^{\text{konveks}}(x^*) = \max_{x \in X} \left\{ \sum_{i=1}^k \alpha_i \mu_{G_i}(x) + \sum_{j=1}^m \beta_j \mu_{C_j}(x) \right\}$$



$$\mu_D^{carpma}(x^*) = \left(\prod_{i=1}^k \mu_{G_i}(x)\right) \cdot \left(\prod_{j=1}^m \mu_{C_j}(x)\right)$$

Bu üç bulanık kararın üyelik fonksiyonları arasında bağıntısı

$$\mu_D^{carpma}(x) \leq \mu_D(x) \leq \mu_D^{carpma}(x)$$

vardır (Sakawa, 1993; Ehrgott, 2003).

Bulanık karar vermede Bellman ve Zadeh tanımlarında aşağıdaki üç kabulü gözönüne almışlardır (Zimmerman, 1993; Çitli, 2006).

1. Modelde hedef ve kısıtları birleştiren “ve” ye karşılık göstermektedir.
2. “Mantıksal ve”, kuramsal küme kesişimine karşılık göstermektedir.
3. Bulanık kümelerin kesişimi minimum operatör ile tanımlanmaktadır.

#### 4.3. Bulanık Lineer Programlama (BLP)

Zimmermann 1976 yılında geleneksel lineer programlama problemlerini bulanık küme teorisini kullanarak modellemeyi önermiştir. Lineer programlama problemini, bulanık bir amaç ve bulanık kısıtlar ile çalışılmıştır. Bu çalışma, 1970 yılında Bellman ve Zadeh'in lineer üyelik fonksiyonları ile önerdikleri karar teorisini takiben yapılmıştır (Sakawa, 1993).

Lineer programlama modelleri, amaç fonksiyonu ile tanımlandığı ve karar tipinin belirlilik altında karar verme olduğu karar modelinin özel bir türü olarak düşünülecektir. Klasik lineer programlama problemi (Ehrgott, 2003).

Amaç :

$$\text{Max } f(x) = c^T x$$

Kısıtlar:

$$Ax \leq b$$

$$X \geq 0$$

$$C, x \in R^n, x \in R^m, A \in R^{m \times n} \quad (4.4)$$

Bu modelde  $a$ ,  $b$  ve  $c$  'nin tüm bileşenleri kesin sayılardır. Eğer LP kararı bulanık bir çerçevede verilecekse yukarıdaki vnhnerilen modelde bazı değişiklikler olur. Karar verici hedef fonksiyonunu maksimum veya minimum yapmayı istemeyebilir. Dolayısıyla tanımlanamamış olan bazı istek seviyelerine ulaşmak isteyebilir.

Ayrıca, kısıtlar bulanık olabilir yani " $\leq$ " işareti kesinlikle matematiksel anlamda düşünülmemelidir. Ancak küçük sapmalar kabul edilebilir. Bu kısıtlar istek seviyelerini belirtirlerse ya da kısıtlar, kesin bir kısıt ile tam bir şekilde tahmin edilemeyen duyu gereksinimlerini (tat, renk, koku...v.b.) belirtirlerse olabilir. Ayrıca, Amatrisinin ya da  $b$  ve  $c$  vektörlerinin katsayıları bulanık karaktere sahip olabilir (Çitli, 2006).

Bulanık lineer programlamada belirsizlik tiplerini vermek için bir çok teknik sunulmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı Bellmann ve Zadeh (1970) tarafından karar modeli olanıdır (Zimmerman, 1993). Bu modelde, bir bulanık maksimizasyonun nasıl yorumlanacağına karar vermek durumunda kalınacaktır. Burada, bulanık hedef için bir yaklaşım ve kesin hedef fonksiyonu için birer yaklaşım sunulacaktır (Çitli, 2006).

#### 4.4. Çok Amaçlı Lineer Programlama (ÇALP)

Verilen lineer kısıtlar altında bir çok lineer amacı optimize etmeye çalışan problem, Çok Amaçlı Lineer Programlama (ÇALP) problemi olarak ifade edilmektedir. Problemin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{Amaçlar :} \quad & \text{Max}z_1(x) = c_1x \\ & \text{Max}z_2(x) = c_2x : \\ & \text{Max}z_k(x) = c_kx \end{aligned} \quad (4.5)$$

Kısıtlar :

$$Ax \leq b \text{ (Lineer Eşitsizlik Kısıtı)}$$

$$X \geq 0 \text{ (Non – negatiflik Kısıtı)}$$

Burada  $c_i = (c_{i1}, \dots, c_{in})$ ,  $z_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  amacının katsayılar vektörü,

$$x = (x_1, \dots, x_n)^T,$$

$n$  – boyutlu karar değişkenleri vektörü ,

$$A = \begin{vmatrix} a_{11}, \dots, & a_{1n} \\ a_{m1}, \dots, & a_{mn} \end{vmatrix}$$

$m \times n$  – boyutlu teknolojik katsayılar matrisi;

$$b = (b_1, \dots, b_m)^T$$

boyutlu sağ taraf sabitleri vektörüdür.

$$Z(x) = (z_1(x), \dots, z_k(x))^T = (c_1x, \dots, c_kx)^T$$

$K$  - boyutlu kriter vektörü ve

$$C = (c_1, \dots, c_k)^T$$

$k \times n$  –boyutlu fiyat matrisi olmak üzere ÇALP problemi kısaca:

Amaç :

$$\text{Max} \quad z(x) \triangleq Cx \quad (4.6)$$

Kısıtlar :

$$\in X \triangleq \{x \in R^n | Ax \leq b, x \geq 0\}$$

vektör-maksimizasyon problemi olarak da adlandırılmaktadır. Burada kümesine problemin uygun çözümler bölgesi, alternatifler uzayı veya karar uzayı da denilebilir (Ehrgott, 2003 ; Çetin, 2008).

#### 4.4.1. ÇALP için çözüm yöntemleri lineer programlama

##### 4.4.1.1. Ölçekleme metodları ( scalarization methods)

ÇALP'yi ölçeklemede, farklı metotlara bağlı olarak pareto-optimal çözümleri elde etmek üzere birçok metot önerilmektedir. Bu metotlar arasında en çok bilinenler (Çetin, 2008).

*1-Ağırlıklandırma metodu ( priority goal programming):*

Bir pareto-optimal çözüm bulan bu metod, orijinal ÇALP problemini çözmek için eksiksiz amaç fonksiyonların ağırlıklı toplamını alarak formülize edilmiş bir ağırlıklı problem çözmektedir. Model kısaca: Amaç: (4.7) Kısıtlar: olarak ifade edilir. Burada, amaç fonksiyonlarına atanmış ağırlık katsayılar vektörüdür ve olduğu anlaşılmaktadır (4.7). Ağırlıklı probleminin optimal çözümü ile ÇALP probleminin pareto-optimalite kavramı arasındaki ilişki aşağıdaki teoremlerle ifade edilmektedir.

Amaç:

$$\max w_z(x) \triangleq \sum_{i=1}^k w_i z_i(x) \quad (4.7)$$

Kısıtlar:  $x \in X$  olarak tanımlanmaktadır. Burada

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_k)$$

amaç ağırlık katsayılar vektörüdür ve

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_k) \geq 0$$

olduğu kabul edilmektedir. (4.7) ağırlıklı probleminin optimal çözümü  $x^*$  ile ÇALP probleminin pareto-optimalite kavramı arasındaki ilişki aşağıdaki teoremlerle verilmektedir (Çetin, 2008).

**Teorem 4.2:**  $x^* \in X$ , bazı  $w > 0$  için ağırlıklı problemin bir optimal çözümü ise,  $x^*$  ÇALP probleminin bir pareto-optimal çözümüdür.

**Teorem 4.3:**  $x^* \in X$ , ÇALP probleminin bir pareto-optimal çözümü ise;  $x^*$ , bazı

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_k)$$

için ağırlıklı problemin bir optimal çözümüdür.

*2-Kısıt metodu:* Bir pareto-optimal çözümden ortaya çıkan kısıt metodunda i.(i'inci) hedefi en yükseğe ulaştırmak üzere seçilir ve diğer hedefler

$$\varepsilon, i = 1, \dots, k, \quad i \neq j$$

alt seviyeleri ile kısıtlara katılır.

Matematiksel olarak metot:

Amaç:

$$\max z_j(x) \quad (4.8)$$

Kısıtlar:

$$z_i(x) \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, k, \quad i \neq j \\ x \in X$$

şekilde LP problemi olarak açıklanır.

*3-Ağırlıklı max-min metodu:* Pareto-optimal çareler ortaya çıkaran ağırlıklı max-min metodu:

Amaç:

$$\max \quad \min_{i=1, \dots, k} w_i z_i(x) \quad (4.9)$$

Kısıtlar:

$$x \in X$$

veya karşılık olarak

$$\text{Amaç:} \quad \text{Max } v \quad (4.10)$$

$$\text{Kısıtlar:} \quad w_i z_i(x) \geq v \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$X \in x$$

probleminin çözümüdür. Genelliği kaybetmeksizin,

$\forall x \in X$  için  $z_i(x)$  ,  $i = 1, 2, \dots$ , kolduğu kabul edilir.

$$x \in X \text{ için } z_i(x) > 0$$

sağlamayan hedef fonksiyonları için, hedeflerin bireysel minimumu

$$z_i^{\min} = \min_{x \in X} z_i(x)$$

kullanılarak ve

$$\min \hat{z}_i(x) = z_i(x) - z_i^{\min}$$

alınarak

$$\forall x \in X \text{ için } \hat{z}_i(x) > 0, i = 1, 2, \dots, k \text{ olur.}$$

**Teorem 4.6:**

$$x^* \in X, \text{ bazı } w = (w_1, w_2, \dots, w_k) \geq 0$$

için ağırlıklı max-min probleminin yegane optimal çözümü ise;  $x^*$ , ÇALP'nin bir pareto-optimal çözümüdür.

$$: x^* \in X, \text{ bazı } w = (w_1, w_2, \dots, w_k) \geq 0$$

için ağırlıklı max-min probleminin tek optimal çaresi ise;  $x^*$ , ÇALP'nin bir pareto-optimal çözümüdür.

Teorem 4.7:

$x^* \in X$ , ÇALP probleminin bir pareto-optimal çözümü ise;  $x^*$ , bazı

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_k) \geq 0$$

için max-min probleminin bir optimal çözümüdür.

Pareto-optimallik Testi:

$x^*$  için bu test, karar değişkenleri

$$\begin{aligned} x &= (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \\ e &= (e_1, \dots, e_k)^T \end{aligned} \quad (4.11)$$

olmak üzere

Amaç:

$$\max \sum_{i=1}^k \varepsilon_i$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} z_i(x) + \varepsilon_i &= z_i(x^*), \quad 1, 2, \dots, k \\ x &\in X, \quad \varepsilon \geq 0 \end{aligned}$$

problemini LP çözmektir.

Teorem 4.8:

(4.11) pareto-optimallik test probleminin ve optimal çözümleri için,  $x^*$

1. Tüm ise , ÇALP probleminin bir pareto-optimal çözümdür.

2. En azından bir ise , ÇALP probleminin bir pareto-optimal çözümü değildir.  $x^*$ 'in yerine  $\bar{x}$ , ölçekleme problemi için bir pareto-optimal çözümdür (Ehrgott, 2003; Çetin, 2008).

#### 4.4.1.2. Lineer hedef programlama

Hedef programlama, çok kriterlik karar verme de Ignizio (1983), tarafından açıklanmıştır. Bu metotta öncelikle karar vermeden her bir amaç için erişilmesini arzu ettiği bir hedef değer belirlemesi istenir. Yöntemin esas kavramı, KV'nin hedef veya istek seviyelerinden sapmaları minimize etmektir. Sonunda HP çoğu durumda bir optimize edici çözüm elde etmeden ziyade bir tatmin edici çözüm (satisfying solution) verir (Çetin, 2008). Genel bir HP problemi:

$$\begin{aligned}
& \text{Hedef } \{c_1x = z_1\} (z_1 \geq t_1) \\
& \text{Hedef } \{c_2x = z_2\} (z_2 \leq t_2) \\
& \text{Hedef } \{c_3x = z_3\} (z_3 = t_3) \\
& \text{Hedef } \{c_4x = z_4\} (z_4 \in [t_4', t_4'']) \\
& \text{Kısıtlar: } \quad x \in X
\end{aligned} \tag{2.12}$$

tiplerinin herhangi kombinasyonlarından birisi şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $t_1$ 'ler hedef seviyeleridir. Hedef programlama'nın çözümü için iki temel yaklaşım vardır: "Archimedian yaklaşım" ve "öncelikli (preemptive) yaklaşım". Literatürde Archimedian yaklaşım "ağırlıklı hedef programlama", öncelikli yaklaşım "lexicographic hedef programlama" olarak da anılmaktadır.

Archimedian(HP):

Amaç :

$$\min\{w_1^- d_1^- + w_1^- d_1^- + w_3^- d_3^- + w_3^- d_3^- + w_4^- d_4^- + w_4^- d_4^-\}$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned}
c_1x + d_1^- &\geq t_1 \\
c_2x - d_2^- &\leq t_2 \\
c_3x - d_3^+ + d_3^- &= t_3 \\
c_4x + d_4^- &\geq t_4' \\
c_4x - d_4^+ &\leq t_4'' \\
x \in Xd_1^+ , d_1^- &\geq 0 , i = 1,2,3,4
\end{aligned} \tag{4.12}$$

deki HP  
probleminin  
Archimedian  
modeli

şeklinde LP problemidir. Burada  $w_i$  ( $i = 1,2,3,4$ )'ler, pozitif "ceza" ağırlıkları;  $d_1^+, d_1^-$ 'ler  $t_1$  hedef seviyelerinden sırasıyla artı ve eksi yönde sapma değişkenleridir. Modelde istenmeyen sapma değişkenleri yer almaktadır (Çetin, 2008).

Öncelikli HP

İlk olarak HP'de amaçlar önceliklerine göre gruplandırılarak indislenir. Küçük indisli amaç, bir sonraki hedeften sonsuz derecede daha önemlidir. Örnek bir öncelikli HP problemi:



$$\begin{aligned}
\text{Hedef } \{c_1x = z_1\}p_1(z_1 \leq t_1) & \quad (2.13) \\
\text{Hedef } \{c_2x = z_2\}p_2(z_2 \geq t_2) & \\
\text{Hedef } \{c_3x = z_3\}p_3(z_3 = t_3) &
\end{aligned}$$

Kısıtlar :  $x \in X$  olsun. Burada  $p_j, j= 1,2,3$  'ler,  $j$  önce olan seviyesindeki hedefleri belirtir. Ayrıca

$$p_i \ggg p_{i+1}$$

şeklinde olup çok daha büyük (öncelikli) anlamındadır. Bu problem:

LP problemi çözülür. Alternatif optimal çözüm varsa, ikinci aşamada;

$$\text{Amaç:} \quad \min\{d_2^-\}$$

Kısıtlar :

$$\begin{aligned}
c_1x &\leq t_1 + (d_2^+) \\
c_2x + d_2^- &\geq t_2 \\
x \in X; \quad d_2^- &\geq 0
\end{aligned}$$

LP problemi çözülür. Burada  $(d_1^+)^*$ , birinci asamadaki  $d_1^+$ 'nin optimal değeridir. Alternatif optimal çözüm varsa, üçüncü aşamada;

$$\text{Amaç:} \quad \min\{d_3^+ + d_3^-\}$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned}
c_1x &\leq t_1 + (d_1^+)^* \\
c_2x &\geq t_2 - (d_2^-)^* \\
c_2x - d_3^+ + d_3^- &= t_3 \\
x \in X; \quad d_3^-, d_3^+ &\geq 0
\end{aligned}$$

LP problemi çözümlenir. Burada  $(d_2^-)^*$ , ikinci asamadaki  $d_2^-$ 'nin en uygun değeridir. Üçüncü aşamada bulunan herhangi bir çözüm, öncelikli HP'nin çözümüdür. Tek bir çözümü olan optimizasyon aşamasına rastlandığında diğer aşamalar çözülmez. Böylece alt sıradaki hedefler, HP'nin bulunan çözümlerini etkileyemez. Bu şekilde alt sıradaki hedefler, daha önceki aşamalardan optimallik bilgisi aldığından, öncelikli HP'yi çözme dinamik bir süreçtir (Steuer, 1986; Tiryaki, 1993).

#### **4.4.1.3. Etkileşimli çok amaçlı lineer programlama**

Etkileşimli yöntemler, karar verme fazları ve hesaplama fazları ile açıklanır. Her iterasyonda karar verici-bilgisayar diyalok veya karar verici-analisti ile kurulur. Yöntemlerde ilk olarak bir “uzlaşık çözüm” bulunur. Bu çözüm, çok kriterli problem ile ilişkili olan tek amaçlı problemin optimal çözümüdür. KV ile diyalok sayesinde kriterlerdeki istek ya da kabul seviyeleri belirlenmektedir, kriterler arası değiş-tokuşlar tayin edilir ve belirli çözümler değerlendirilir. Elde edilen bilgilerle oluşturulan yeni tek amaçlı problemin optimal çözümü, yeni uzlaşık çözümdür. Etkileşimli yöntemler “uygun bölgenin daraltılması”, “ağırlıklandırma vektörü uzayının daraltılması”, “kriter konisinin daraltılması” ya da “doğrultu arama” (line search) yöntemleri olarak sınıflandırılabilir.

Daraltılmış uygun bölge yöntemine örnek olarak 1971'de Benayoun, Montgolfier, Tergnyve Laritchev tarafından hazırlanmış “STEM (step) Yöntemi” verilebilir. Bu yöntem çok amaçlı alanında etkisi olan ilk etkileşimli yöntemdir. Daraltılmış ağırlıklandırma vektör uzayı yöntemine örnek olarak Zionts ve Wallenius tarafından 1976'da sunulmuş ve 1983'de geliştirilmiş “Z-W Yöntemi” verilebilir. Kriter konisinin daraltılması yöntemine örnek olarak Steuer'in 1977'de verdiği “Daralan Gradyent Koni Yöntemi”, doğrultu arama yöntemine örnek olarak da Geoffrion, Dyer ve Feinberg tarafından 1972'de sunulan “GDF Yöntemi” verilebilir (Steuer, 1986, sayfa 361- 389, Tiryaki, 1993). KV için Pareto-optimal çözüm kümesinden tatmin edici bir çözüm oluşturan bir etkileşimli algoritma yapısı böyle açıklanabilir. “\*” ile işaretli adımlar KV ile etkileşimi göstermektedir. Bu etkileşimli metod trade-off (değiş-tokuş) bilgisi kapsayan bir referans nokta yöntemi olarak da

değerlendirilebilir. Burada trade-off ifadesi, KV'nin fayda fonksiyonu bilinmediğinde kendisinden talep edilen bir bilgidir. Yani, kriterlerin erişilen değerleri arasında diğerlerinin lehine birinden yapabileceği fedakarlık miktarı (veya tersi) bilgisidir (Ehrgott, 2003; Çetin, 2008).

*Etkileşimli çok amaçlı lineer programlama algoritması:*

Adım 0:

Verilen kısıtlar altında her bir hedef fonksiyonunun bireysel minimumunu bireysel maksimumunu

$$z_i^{min} = \min_{x \in X} z_i(x) \text{ ve } z_i^{max} = \max_{x \in X} z_i(x)$$

hesapla.

Adım 1:

Karar verme'den bireysel minimumu ve bireysel maksimumu göz önüne alarak başlangıç referans noktasını seçmesini iste. Karar verme böyle bir noktayı tanımlamayı zor ya da imkansız bulursa bu amaçla ideal nokta kullanılabilir.

$$z_i^{max} = \max_{x \in X} z_i(x)$$

Adım 2:

Karar verici (KV) tarafından açıklanmış referans nokta için hedef fonksiyonları arasında trade-off bilgisi ile beraber pareto-optimal çözüm bulmak için karşılık gelen max-min problemini çözmektedir.

Adım 3:

Karar verme (KV) pareto-optimal çözümün aldığı değerleri inandırıcı bulduysa, DUR. Bu durumda kullanışlı pareto-optimal çözüm, KV için inandırıcı çözümdür. Bunun dışında, KV'den amaç fonksiyonları arasında trade-off oranları ile beraber hedef fonksiyonlarının eldeki değerlerini dikkate alarak kullanışlı referans noktasını yenilenmesini iste ve Adım 2'ye geri dön. KV'ye hiç bir hedef fonksiyonundaki bir iyileşme ya da artışın, sadece diğer hedeflerin en azından birinde bir azalma ile mümkün olabileceği mutlaka söylenmelidir (Sakawa, 1993; Ehrgott , 2003).

#### 4.5. Bulanık Çok Amaçlı Lineer Programlama

Zimmemanın (1978) , bulanık lineer programlama yaklaşımın  $k$  tane lineer max

$$z_i(x) = c_i x, i = 1, 2, \dots, k$$

amaç fonksiyonuna sahip 'ye aşağıdaki gibi genişletmiştir:

Amaçlar:

$$\max z(x) \triangleq (z_1(x), z_2(x), \dots, z_k(x))^T$$

Kısıtlar:

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

Burada

$$c_i = (c_{i1}, \dots, c_{in}), i = 1, 2, \dots, k$$

$$x = (x_1, \dots, x_n)^T \quad (4.14)$$

$$b = (b_1, \dots, b_n)^T \text{ ve } A = [a_{ij}]_{m \times n}$$

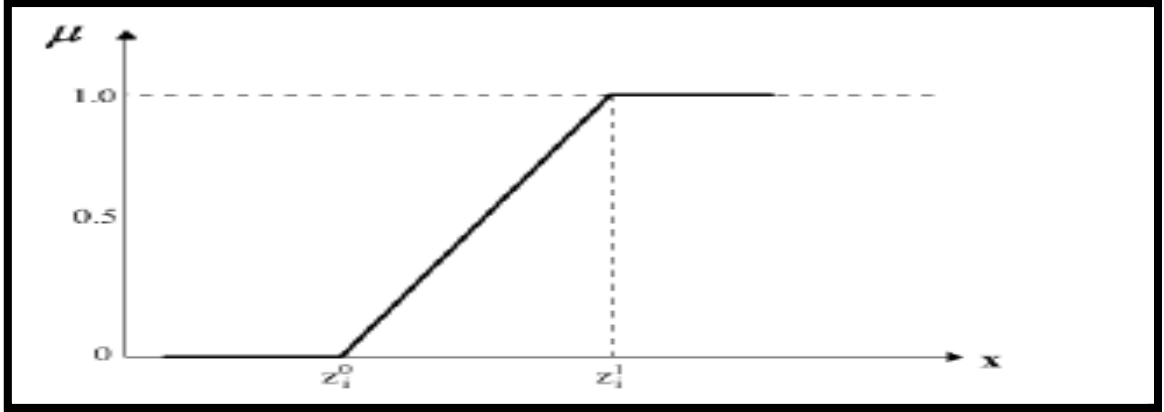
olarak tanımlıdır. KV'nin her bir

$$z_i(x) = c_i x, \quad (i = 1, 2, \dots, k)$$

amacı için  $\mu_i^L(z_i(x))$  lineer üyelik fonksiyonu:

$$\mu_i^L(z_i(x)) = \begin{cases} 0, & z_i(x) \leq z_i^0 \\ \frac{z_i(x) - z_i^0}{z_i^1 - z_i^0}, & z_i^0 \leq z_i(x) \leq z_i^1 \\ 1, & z_i(x) \geq z_i^1 \end{cases} \quad (4.15)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada  $z_i^0$  ve  $z_i^1$  değerleri  $z_i(x)$  amacının üyelik fonksiyonunun sırasıyla 0 ve 1 olduğu değerleri göstermektedir. Lineer üyelik fonksiyonunun grafiği şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Amaç fonksiyonu için lineer üyelik fonksiyonu (Ehrgott, 2003; Çetin, 2008).

Böyle  $\mu_i^L(z_i(x))$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  lineer üyelik fonksiyonları kullanılarak ve Bellman ve Zadeh' in bulanık karar tanımından orijinal ÇALP problemi:

$$\text{Amaç:} \quad \max \min_{i=1,2,\dots,k} \{ \mu_i^L(z_i(x)) \}$$

$$\text{Kısıtlar:} \quad Ax \leq b, x \geq 0$$

olarak yazılabilir.

$$\min_i \{ \mu_i^L(z_i(x)) \} = \lambda$$

yardımcı değişkeniyle problem,

$$\text{Amaç:} \quad \max \lambda \quad (4.16)$$

Kısıtlar:

$$\lambda \leq \mu_i^L(z_i(x)) \quad i=1,2,\dots,k$$

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

geleneksel LP problemine dönüşür.

Zimmermann (1978),  $\mu_i^l(z_i(x)), i=1,2,\dots,k$ , ile tanımlanmış bireysel maksimizasyon problemlerinin  $x^{10}$  optimal çözümlerinin varlığını kabul ederek,  $i=1,2,\dots,k$  lineer üyelik fonksiyonunu belirleyen bir yöntem önermiştir. Bireysel maksimum

$$\begin{aligned} z_i^{max} &= z_i(x^{10}) = \max_{x \in X} z_i(x), \quad i=1,2,\dots,k \\ z_i^m &= \min(z_i(x^{10}), \dots, z_i(x^{i-1,0}), z_i(x^{i+1,0})) \end{aligned} \quad (4.19)$$

bularak, ayrıca

$$z_i^l = z_i^{max} \quad \text{ve} \quad z_i^0 = z_i^m$$

olarak, (4.15) deki gibi lineer üyelik fonksiyonunu belirlemiştir. Bu üyelik fonksiyonu için, (4.16) veya (4.17)'nin optimal çözümü yegane ise, bu çözümün yine ÇALP'nin de bir pareto optimal çözümü olduğu kolaylıkla gösterilebilir (Sakawa, 1993; Ehrgott, 2003; Çetin, 2008).

#### 4.5.1. Üyelik fonksiyonlarının değişik biçimleri

Bulanık yaklaşımı uygulayarak problemlerin çözümünde üyelik fonksiyonunun seçimi önemli bir yer tutuyor. Hesaplamalarda kolaylık sağladığı ve LP direkt olarak kullanılabilirdiği için çoğunlukla lineer üyelik fonksiyonu tercih edilmektedir. Ancak literatürde lineer üyelik fonksiyonlarının beraberinde hiperbolik, üstel, ters hiperbolik, parçalı lineer gibi non-lineer yapıda farklı üyelik fonksiyonları da bulunmaktadır. Bu non-lineer yapıdaki üyelik fonksiyonları çözülecek problemi de non-lineer yapılara götürmektedir.

Ancak farklı dönüşümler uygulanarak non-lineer yapıdaki bu problemler çoğunlukla lineer yapılara indirgenebilmektedir. Her ne kadar non-lineer üyelik fonksiyonlarının uygulandığı problem çözümleri zor olsa da uygulama sahalarında

rastlanan bazı sistemler böyle non-linear üyelik fonksiyonlarının kullanımını gerektirir.

Çünkü böyle non-linear fonksiyonlar, sistemleri daha iyi modellemektedir. Bu şekilde üyelik fonksiyonunun yapısının seçimi ve problemin yapısına uygunluğu, problemin çözümünü direk etkilemektedir.

Örneğin, Leberling (1981), hiperbolik üyelik fonksiyonlarını, Hannan (1981) ve Nakamura (1984) parçalı lineer üyelik fonksiyonlarını, Carlsson ve Korhonen (1986), üstel üyelik fonksiyonlarını kullanmışlardır (Yenilmez, 2001).

Zimmermann (1978), lineer yapıdaki üyelik fonksiyonlarını kullanarak, bulanık “min” operatör modelini geliştirmiş ve ÇALP'nin tek amaçlı LP problemine indirgenebileceğini göstermiştir.

Daha sonra, Leberling (1981), ÇALP için non-linear (hiperbolik) yapılu üyelik fonksiyonunu kullanmış ve elde edilen bulanık lineer programlama probleminin çözümlerinin devamlı etkin olduğunu göstermiştir. ÇALP için Hannan (1981), parçalı lineer üyelik fonksiyonunu, Lee ve Li (1991), üstel üyelik fonksiyonunu kullanmışlardır. Hassaten Dhingra ve Moskowitz (1991) non-linear üyelik fonksiyonlarının diğer tiplerini (üstel, kuadratik ve logaritmik üyelik fonksiyonları) tanımlamışlar ve optimal dizayn problemlerine uygulamışlardır.

Verma ve diğerleri (1997), çok amaçlı taşıma problemini çözmek için özel tipteki non-linear üyelik fonksiyonlarını (hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları) uygulamışlar ve problem için optimal uzlaşık çözüm elde etmişlerdir. Elde edilen çözümü, bir lineer üyelik fonksiyon uygulayarak bulunan çözüm ile değerlendirilmişlerdir. KV'nin her bir  $z_q(x)$ ,  $q = 1, \dots, Q$ , amaç fonksiyonuna karşılık  $\mu_q(z_q(x))$  üyelik fonksiyonunun kuruluşu şöyledir: Verilen kısıtlar altında amaçların bireysel maksimum ve minimum  $z_q^*$  ve  $z_q^m$  değerleri hesaplanır. Üyelik fonksiyonundaki tatmin artış oranı ile birlikte her bir amaç fonksiyonunun maksimum ve minimum değerleri göz önüne bulundurarak KV'den lineer, üstel, hiperbolik, ters hiperbolik ve parçalı lineer tipte fonksiyonlar arasından bir üyelik fonksiyonunu subjektif tarzda seçmesi istenir. Aşağıdaki altbaşlıklarda görüleceği üzere bu üyelik fonksiyonlarına ait parametre değerleri KV'den etkileşme yoluyla alınabilir. Açıklamalardaki  $a \in [0,1]$  olmak üzere  $z_q^a$  ifadesi;  $z_q^*$  ve  $z_q^m$  aralığında olacak şekilde

$z_q(x)$ 'in değerini,  $\mu_q(z_q(x))$ 'de ona karşılık gelen üyelik fonksiyon değerini göstermektedir (Sakawa, 1993; Ehrgott, 2003).

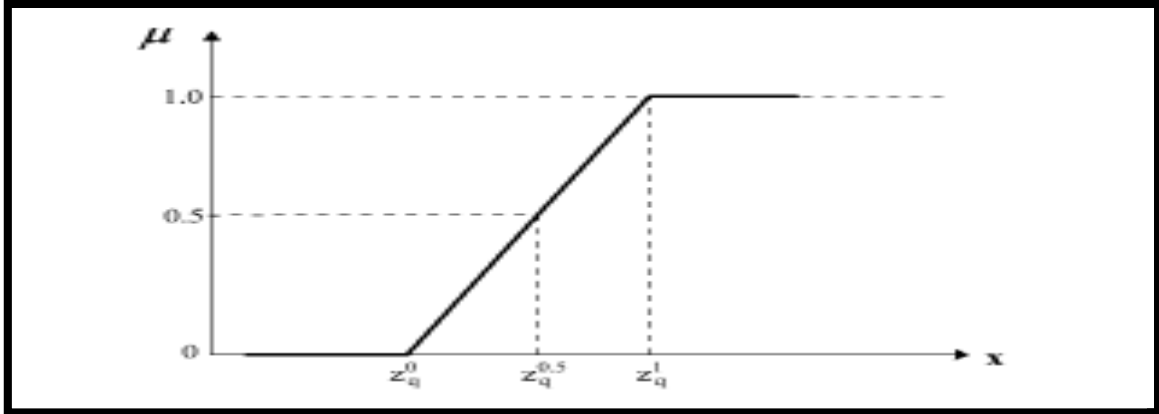
*1- Lineer Üyelik Fonksiyonu:*

Karşılık gelen lineer üyelik fonksiyonu

$$\mu_q(z_q(x)) = \begin{cases} 1, & z_q \leq z_q^1 \\ \frac{z_i(x) - z_i^0}{z_i^1 - z_i^0}, & z_q^0 \leq z_q \leq z_q^1, q = 1, \dots, Q \\ 0, & z_q(x) \geq z_q^0 \end{cases} \quad (4.20)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Bu üyelik fonksiyonu  $z_q^m$  ve  $z_q^*$  aralığında  $z_q^0$  ve  $z_q^1$  noktaları KV'den istenerek belirlenmektedir.  $z_q$  ya göre lineer ve monoton artandır. Şekil (4.13), lineer üyelik fonksiyonunun grafiğini göstermektedir (Çetin, 2008). Buna örnek olarak üçgen üyelik fonksiyonu ve Yamuk üyelik fonksiyonu



Şekil 4.13. Amaç fonksiyonu için lineer üyelik fonksiyonu (Çetin, 2008; Ehrgott, 2003).

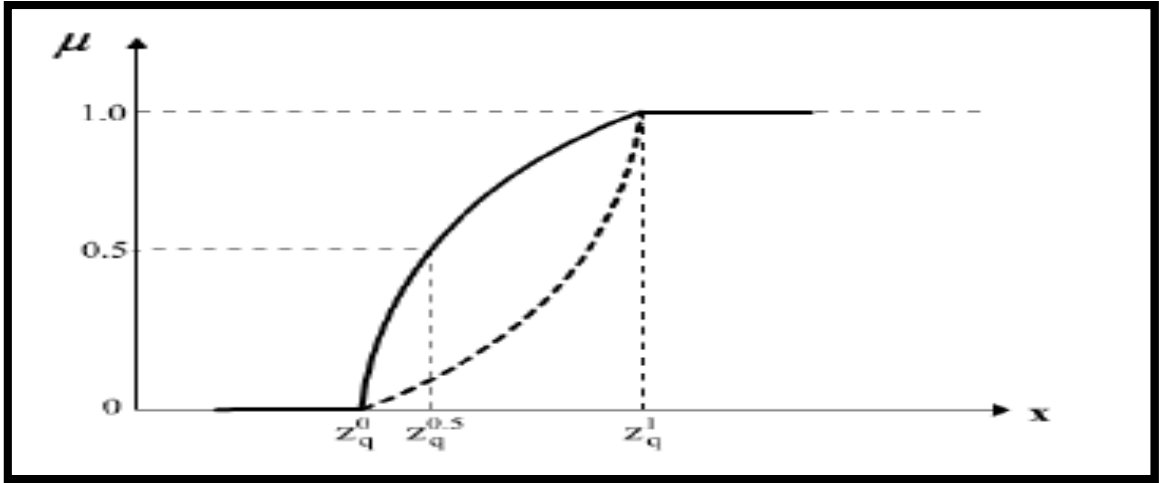
*2- Üstel Üyelik Fonksiyonu*

Karşılık olarak gelen üstel üyelik fonksiyonu:



$$\mu_q(z_q(x)) = \begin{cases} 0, & z_q < z_q^0 \\ a_q [1 - \exp\{-a_q(\alpha_q(x) - z_q^0)/(z_q^1 - z_q^0)\}], & z_q^0 \leq z_q \leq z_q^1 \\ 1, & z_q > z_q^1 \end{cases}, \quad q = 1, \dots, Q \quad (4.21)$$

ile tanımlanmaktadır. Parametreler  $a_q > 1$ ,  $a_q > 0$ , yada  $a_q < 0$ ,  $a_q < 0$  olarak ifade edilmektedir. KV'den  $z_q^m$  ve  $z_q^*$  aralığında üç tane ( $z_q^0$ ,  $z_q^{0.5}$ ,  $z_q^1$ ) nokta belirlemesi istenerek üstel üyelik fonksiyonu kurulmaktadır.  $a_q$ 'ya da şekil parametresi (shape parameter) adlandırılır. Şekil (4.14), üstel üyelik fonksiyonunu göstermektedir (Çetin, 2008). Buna örnek olarak Gaussian üyelik fonksiyonu ve Çan üyelik fonksiyonu.



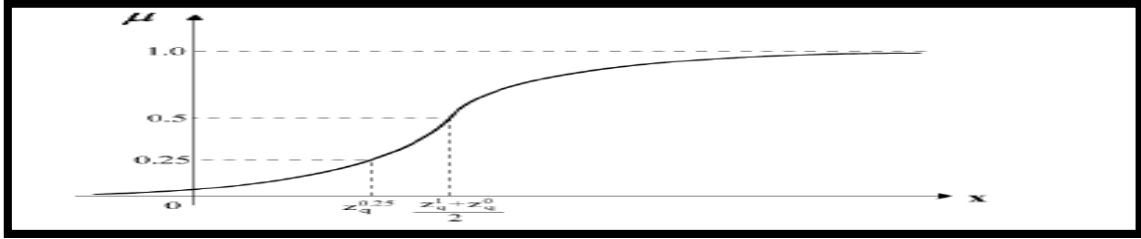
Şekil 4.14. Üstel üyelik fonksiyonu (Çetin, 2008; Ehrgott, 2003).

### 3- Hiperbolik Üyelik Fonksiyonu

Karşılık gelen hiperbolik üyelik fonksiyonu:

$$\mu_q(z_q(x)) = \begin{cases} 0, & z_q < z_q^0 \\ \frac{1}{2} \tanh((z_q(x) - b_q) \cdot \alpha_q) + \frac{1}{2}, & z_q^0 \leq z_q \leq z_q^1, \quad q = 1, \dots, Q \\ 1, & z_q > z_q^1 \end{cases} \quad (4.22)$$

ile tanımlanır. Burada  $\alpha_q, q = 1, \dots, Q$  şekil parametresidir. KV'den  $z_q^m$  ve  $z_q^*$  aralığında iki nokta ( $z_q^{0.25}, z_q^{0.5}$ ) belirlenmesi istenerek hiperbolik üyelik fonksiyonu kurulur. Burada  $b_q = \frac{z_q^* + z_q^{0.5}}{2}$  ifadesi büküm noktasıdır. Şekil (4.15), hiperbolik üyelik fonksiyonunun grafiğini göstermektedir. Buna örnek olarak Sigmodial üyelik fonksiyonu



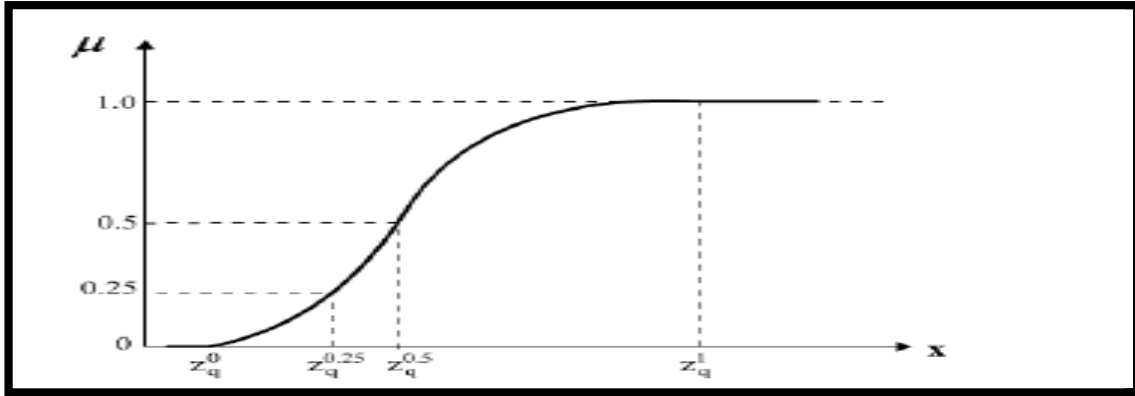
Şekil 4.15. Hiperbolik üyelik fonksiyonu (Çetin, 2008; Ehrgott, 2003).

#### 4-Ters Hiperbolik Fonksiyonu

Karşılık olarak gelen ters hiperbolik üyelik fonksiyonu:

$$\mu_q(z_q(x)) = \begin{cases} 0, & z_q < z_q^0 \\ a_q \tanh^{-1}((z_q(x) - b_q) \cdot \alpha_q) + \frac{1}{2}, & z_q^0 \leq z_q \leq z_q^1, \quad q = 1, \dots, Q \\ 1, & z_q > z_q^1 \end{cases} \quad (4.23)$$

ile tanımlanmaktadır. Burada parametrelerin  $a_q > 0, a_q < 0, q = 1, \dots, Q$  olmasıyla üyelik fonksiyonunun monoton artanlığı görülmektedir. KV'den  $z_q^m$  ve  $z_q^*$  aralığında üç nokta ( $z_q^0, z_q^{0.25}, z_q^{0.5}$ ) belirlenmesi istenerek ters hiperbolik üyelik fonksiyonu kurulur. Burada  $a_q$  biçim parametresi  $b_q = \frac{z_q^* + z_q^{0.5}}{2}$  ve ifadesi de büküm noktasıdır. Şekil (4.16), ters hiperbolik üyelik fonksiyonunu göstermektedir. Buna örnek olarak  $\Pi_2$  üyelik fonksiyonu.



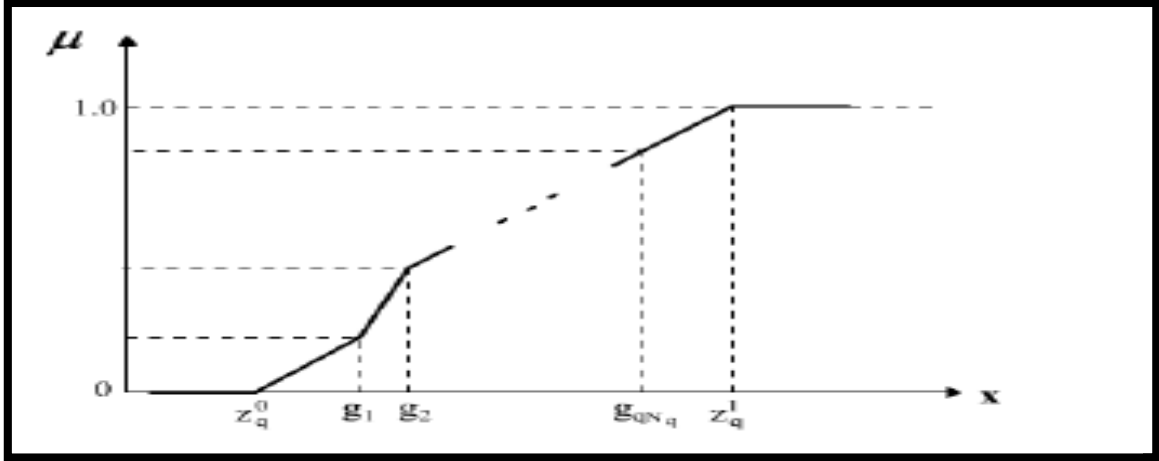
Şekil 4.16. Ters hiperbolik üyelik fonksiyonu (Çetin , 2008; Ehrgott , 2003).

#### 5- Parçalı Lineer Üyelik Fonksiyonu

Karşılık olarak gelen parçalı lineer üyelik fonksiyonu

$$\mu_q(z_q(x)) = t_{q^r} z_q(x) + s_{q^r}, \quad g_{q,r-1} \leq z_q(x) \leq g_{q^r} \quad (4.24)$$

ile tanımlanmaktadır. Burada  $t_q$  ve  $s_{q^r}$ 'ler  $[g_{q,r-1}, g_{q^r}]$  aralığında sırasıyla  $\mu_q(z_q(x))$ 'nin eğimini ve  $\mu$  ekseninde kestiği parçasını göstermektedir. KV'den  $z_q^m$  ve  $z_q^*$  aralığında amaç fonksiyonlarının birçok değerlerine karşılık üyelik derecelerini belirlemesi istenir. Her bir alt aralıkta lineer üyelik fonksiyonu kurularak  $[z_q^0, z_q^1]$  aralığında parçalı lineer üyelik fonksiyonu oluşturulur  $N_q.[z_q^m, z_q^*] = [z_q^0, z_q^1]$ , aralığında parçalanma sayısı olarak şekil (4.17), parçalı lineer üyelik fonksiyonunu göstermektedir ( Sakawa, 1993).



Şekil 4.17. Parçalı lineer üyelik fonksiyonu.

#### 4.6. Optimizasyon

Optimizasyon bir şeyin daha iyisini gerçekleştirme sürecidir. Bir mühendis veya bilim adamı yeni bir fikir ortaya koyar. Optimizasyon bu fikrin geliştirilmesine yardımcı olur. Optimizasyon; fikirleri ilerletmek için ortaya atılan bilgileri kullanarak, başlangıç kavramlarını (parametrelerini) değiştirmektir. Eğer fikri etkileyen parametreler elektronik formata dönüştürülürse bilgisayar mükemmel bir optimizasyon aracı olur. Bir takım bilgiler bilgisayara girilir ve bir çözüm elde edilir. Elde edilen bu çözümün değerlendirilmesi optimizasyon aracılığıyla gerçekleştirilir ( Çunkaş, 2006; Pierre, 1992).

##### 4.6.1. Çok amaçlı faydalanma problemlerinin çözümünde kullanılacak optimizasyon teknikleri

Karar verme sürecinde göz önünde bulundurulması gereken alternatif sayısının fazlalığı ve bunların aynı zamanda değerlendirilmesi gerekliliği; problemin bilgisayarda matematiksel modellerle ve çeşitli çözüm tekniklerinden faydalanmayı zorunlu kılmaktadır. Model; çözülmek istenen planlama probleminin matematiksel

formülasyonudur. Gerçek hayat problemlerinin sayısal olarak matematiksel ifadelerle gösterimidir.

Çalışmamızda; “Yöneylem Araştırması teknikleri denen tamsayı Programlama ve doğrusal Programlama gibi çözüm tekniği adı altında modeli çözmek için kullanılan matematiksel programlama teknikleridir. Matematiksel modeller, Yönetim Bilimi olarak da adlandırılan Yöneylem Araştırması biliminin esasını oluşturur. Matematiksel modelin formülasyonu, gerçek hayat probleminin yapısına; kullanılacak çözüm tekniği de modele göre değişir. Matematiksel modeller çeşitli ölçütlere göre sınıflandırılmaktadır. En genel sınıflandırmalardan birisi, modellerin içerdiği belirsizliğe göredir. Bu sınıflandırmada modeller “stokastik (rassal, olasılığa dayalı)” veya “deterministik (belirli)” olmak üzere ikiye ayrılır. Deterministik modellerde; modeli oluşturan tüm parametreler kesin olarak bilinirken,

Çalışmamızda; olduğu gibi stokastik modellerde; bazı parametrelerin değeri bilinmemekte ancak bu parametreleri olasılık dağılımlarıyla açıklamak mümkün olmaktadır. Bir diğer sınıflandırmada da modeller amaçlarına göre “optimizasyon” veya “tahmin” modelleri şeklinde gruplandırılmaktadır. Tahmin modellerinde; regresyon analizi, hareketli ortalamalar gibi yöntemler kullanılarak gelecekteki durum tahmin edilmeye veya açıklanmaya çalışılır. Simülasyon modelleri de bu grupta yer alır.

Çalışmamızda kullanılan optimizasyon modellerinde ise, maksimum veya minimum yapılmak istenen bir amaç ve bu amaçlara ulaşmada göz önünde bulundurulması gereken kısıtlar ve amaca ulaşmada alternatifleri temsil eden karar değişkenleri yer almaktadır.

En yaygın şekilde kullanılan optimizasyon tekniklerinden birisi de doğrusal programlamadır. Her biri farklı tipteki problemlerde destek sağlayan çok sayıda matematiksel model bulunmaktadır. Bazen problem birden fazla yaklaşımla modellenebilecek yapıda da olabilmektedir. Modelleme konusunda yapılan en önemli hatalardan birisi, problemin bir model tipine uydurulmaya çalışılmasıdır. Olması gereken, probleme uyan modelin seçimidir (Leuschner, 1990; Yenisey, 1997; Ulucan, 2004; Zengin, 2009).

#### 4.6.2. Optimizasyon yöntemleri

Günümüzde kullanılan optimizasyon yöntemleri hesap tabanlı, sıralama tabanlı ve rasgele arama yöntemleri.

##### 1- Hesap Tabanlı

Bu yöntemler fonksiyonun türevinin köklerinin fonksiyonun en küçük ve en büyük değer veren noktaları olmasından yararlanır. Bu tür yöntemlerin kullanılmasında iki temel sorun vardır. İlk olarak bu yöntemler çözüm uzayının araştırılmaya başlandığı noktaya yakın en iyi çözümü oluşturan yerel optimumlarda takılabilir. İkinci olarak hesap tabanlı yöntemlerde optimize edilen fonksiyonun türevinin alınabilmesi gereklidir. Ancak gerçek hayattaki problemlerin çözüm uzayı genelde süreksiz ve düzensizdir, bu nedenle de amaç fonksiyonlarının türevi alınamaz.

##### 2- Sıralama Tabanlı

Amaç fonksiyonunun en iyi değerini çözüm uzayındaki noktaların her birini sırasıyla değerlendirerek bulmaya çalışır. Bunun için çözüm uzayının belli aralıklarla ayrılarak çözüm uzayında olası çözüm noktalarının belirlenmesi gereklidir. Çözüm algoritması amaç fonksiyonunun değerini çözüm uzayındaki her bir nokta için sırayla hesaplar. Bu yöntemin kolaylığı cazip olsa da, oldukça verimsizdir. Çoğu gerçek problem için çözüm uzayı tümünün araştırılmasının mantıklı olmayacağı kadar büyüktür.

##### 3- Rasgele Arama

Çözüm uzayının araştırılacağı yönün rasgele seçilmesine dayalıdır. Rasgele araştırma sonucunda elde edilen en iyi sonuçlar kaydedilerek seçilen arama amacı doğrultusunda arama süreci yeni bir doğrultuda yönlendirilir. Bu tür yöntemler, hesap tabanlı yöntemlerin aksine, türev bilgisi gerektirmemeleri, amaç fonksiyonu ile ilgili bir kısıtlamalarının olmaması ve hatalı bilgiler içerebilen ayrık bir çözüm uzayını araştırabilmeleri nedeniyle gerçek problemlerin çözümü için oldukça kullanışlıdır. Ancak, bu tür rasgele yöntemlerin uygun bir zaman dilimi içerisinde en iyi çözümü bulma konusunda garantisi yoktur.

Rasgele aramaya dayalı buluşsal bir yöntem olarak genetik algoritmaları klasik optimizasyon yöntemlerinden ayıran 4 özelliği vardır:

- 1- Genetik algoritmalar parametreleri değil parametrelerin kodlanmış gösterimlerini kullanırlar. Herhangi bir fonksiyonu optimize etmek için parametrelerin sonlu elemanlı bir alfabeden oluşturulan sonlu diziler kullanılarak kodlanması yeterlidir.
- 2- Genetik algoritmalar çözüm uzayını bir tek noktadan değil, bir grup noktadan araştırır. Böylece yerel en iyi sonuçlara takılmadan en iyi sonuca hızlı bir şekilde ulaşma şansı artmış olur.
- 3- Genetik algoritmalar çözüme ulaşmak için sadece amaç fonksiyonunu kullanırlar, türev veya başka ek bilgi gerektirmezler. Dolayısıyla da pek çok problemde kolaylıkla kullanılabilirler.
- 4- Genetik algoritmalar önceden belirlenmiş kurallara göre değil, olasılığa bağlı kurallara göre çalışırlar. Bu özellik genetik algoritmalara başka yöntemlerle ulaşılamayan çözümlere ulaşabilme imkanı vermektedir (Genel, 2004; Lankhorst, 2003).

## **4.7. Genetik Algoritmalar**

### **4.7.1. Genetik algoritmalara giriş**

Genetik Algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemleridir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü arar. Günümüzde evrimsel algoritmalar, optimizasyon, sistem tanımlama, veri madenciliği, makine öğrenmesi, tasarım problemleri ve birçok alandaki çeşitli kompleks problemlerin çözümünde doğadaki prensipleri temel edinmiş yenilikçi teknolojiler olarak başarıyla uygulanmaktadır. Evrimsel algoritmalar doğal evrimin temellerine dayalı araştırma ve optimizasyon tekniklerdir. Bu algoritmalar kompleks problemlerin çözümü için evrim sürecini taklit etmektedirler. GA, problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki çözümler

birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür. Genetik Algoritmalar temel çalışma prensibi Darwin'in „Doğal Seçim“ ilkesine dayanır. Darwin, “Türlerin Kökeni” adlı yapıtında iki varsayımı ortaya atmıştır (Baysal, 2011; Vural, 2005).

- 1- Tüm organizmalar, gereğinden fazla yavru meydana getirme yeteneğine sahiptirler. Bununla beraber elemine edilenler ile popülasyonda denge sağlanmaktadır.
- 2- Bir tür içerisindeki bireyler, kalıtsal özellikleri bakımından farklıdırlar.

Genetik algoritma, doğadaki canlıların geçirdiği evrim sürecini ele alır. Amaç, doğal sistemlerin uyum sağlama özelliğini dikkate alarak, yapay sistemler tasarlamaktır. GA'da tasarlanan yapay sistemde ele alınan en önemli faktör ise sağlamlıktır. Yapay sistemler, doğal sistemler kadar sağlam olabilseler, mevcut sistemler faaliyetlerini daha uzun zaman sürdürecekler ve pahalı olan yeniden tasarlama ve uyarlama işlemleri ortadan kalkacaktır. GA konusundaki esas gelişim ise, John Holland'ın doktora öğrencisi David E. Goldberg tarafından 1985 yılında hazırlanan “Gaz Boru Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Denetlenmesi” konulu tez ile sağlanmıştır. Bu ilk uygulamadan sonra Goldberg'in 1989 yılında yayımladığı “Makine Öğrenmesi, Arama ve Optimizasyon İçin Genetik Algoritma” adlı kitabı, GA'ya yeni bir boyut kazandırmış ve günümüzde bile GA konusunda en kapsamlı referans olma özelliğini korumuştur. GA, problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer eniyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme GA terminolojisinde nüfus adını alır. Nüfuslar vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Nüfustaki bireyler evrimsel süreç içinde GA işlemcileri tarafından belirlenirler. Problemin bireyler içindeki gösterimi problemde problemde değişiklik gösterir. GA'nın problemin çözümündeki başarısına karar vermedeki en önemli faktör, problemin çözümünü temsil eden bireylerin gösterimidir. Nüfus içindeki her bireyin problem için çözüm olup olmayacağına karar veren bir uygunluk fonksiyonu vardır. Uygunluk fonksiyonundan dönen değere göre yüksek değere sahip olan bireylere, nüfustaki diğer bireyler ile çöğalmaları için fırsat verilir. Bu bireyler çaprazlama işlemi sonunda çocuk adı verilen yeni bireyler üretirler. Çocuk, kendisini meydana getiren ebeveynlerin (anne, baba) özelliklerini taşır. Yeni bireyler üretilirken düşük uygunluk değerine sahip bireyler daha az seçileceğinden bu



bireyler bir süre sonra nüfus dışında bırakılırlar. Yeni nüfus, bir önceki nüfusta yer alan uygunluğu yüksek bireylerin bir araya gelip çoğalmalarıyla oluşur. Aynı zamanda bu nüfus önceki nüfusun uygunluğu yüksek bireylerinin sahip olduğu özelliklerin büyük bir kısmını içerir. Böylelikle, pek çok nesil aracılığıyla iyi özellikler nüfus içerisinde yayılırlar ve genetik işlemler aracılığıyla da diğer iyi özelliklerle birleşirler. Uygunluk değeri yüksek olan ne kadar çok birey bir araya gelip, yeni bireyler oluşturursa arama uzayı içerisinde o kadar iyi bir çalışma alanı elde edilir. Probleme ait en iyi çözümün bulunabilmesi için ( Baysal, 2011; Demirsoy, 1998; Körez, 2005).

- 1- Bireylerin gösterimi doğru bir şekilde yapılmalı,
- 2- Uygunluk fonksiyonu etkin bir şekilde oluşturulmalı,
3. Doğru genetik işlemciler seçilmelidir

#### **4.7.2. Genetik algoritmaların özellikleri**

Genetik algoritma'lar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir GA'lar, araştırma ve optimizasyon algoritmaları olup, canlılardaki doğal gelişim prensibine dayanmaktadır. Probabilistik karakterleri ve çoklu mümkün çözümleri araştırma gibi önemli özelliklere sahip olmaları en önemli avantajlarıdır. Genetik algoritmalar, insanın karar alma yeteneğinin bilgisayarlar kullanılarak benzetilmesine dayanan bir tür yapay zeka tekniğidir. Genetik algoritmalar zor problemleri, bir başlangıç aday çözüm kümesinin tekrarlanan bir süreç kullanılarak evrilmesi yoluyla, çözüm uzayındaki daha iyi çözümlere ulaşmaya çalışarak çözmeye çalışırlar (Genel, 2004; Tosun, 2006). Genetik algoritmalar hem doğal genetik bilimini hem de bilgisayar bilimini temel alan bir tekniktir. Bu nedenle genetik algoritmaların açıklanması için kullanılan terimler bu iki bilimde kullanılan terimlerin bir karışımıdır. En iyinin hayatta kalmasının hedeflendiği bu benzetimde, GA en uygun çözüme ulaşan stokastik ve global bir optimizasyon yöntemidir. GA ile optimizasyon işlemlerinin ilk adımında, başlangıç olarak iyi bir yaklaşık çözüm veya herhangi bir çözüm için, herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu ilk adımda sadece probleme dair olası çözümlerin

doğrudan kendileriyle değil onlarla alakalı bilgileri barındıran dizilerin rasgele üretilmesi gerçekleştirilir. Bu diziler, bir araya getirilmiş sayı gruplarını (kromozomu veya bireyi) temsil etmektedirler. Ardından her çözümle ilgili bilgilerin performansının diğer çözümlere göre değerlendirilmesi gerçekleştirilir. Değerlendirme sonucunda ortam koşullarına daha uygun bilgileri barındıran çözümlerden daha iyi bilgiler üretmek için GA'da genetik operatörler kullanılır. Kullanımı en çok tercih edilen ve çalışmada da kullanılan operatörler seçme, çaprazlama, mutasyon işlemcileridir. Daha iyiyi elde etmek ümidiyle yukarıdaki işlem dizisine daha önceden belirlenen bir döngü sayısına ulaşıncaya veya kabul edilebilir bir sonuç elde edilinceye kadar devam edilir (Toğan ve Daloğlu, 2006).

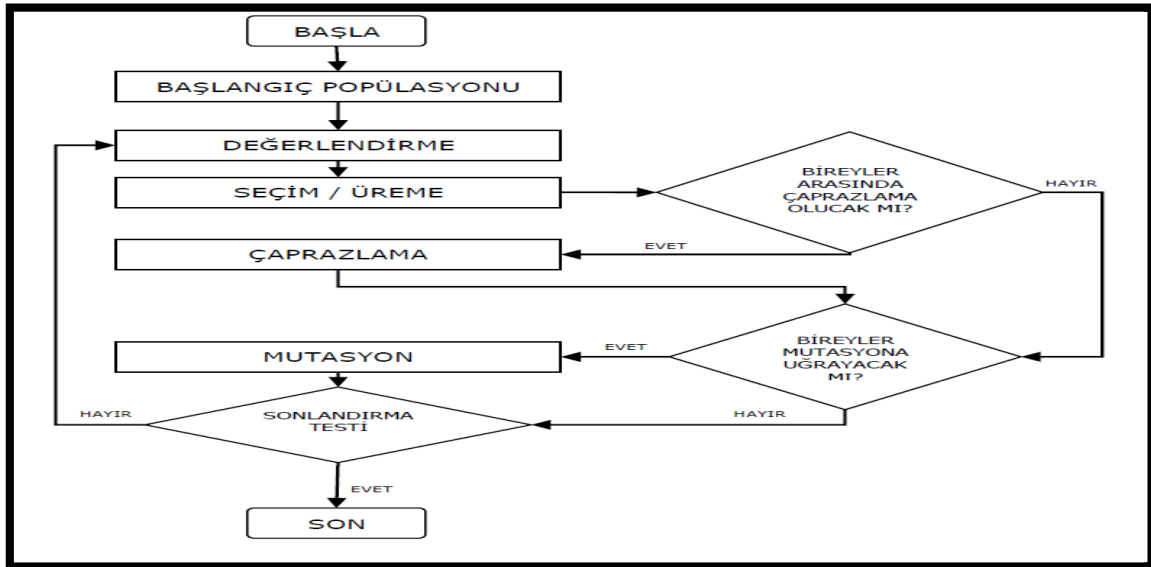
Genetik algoritmaların temel ilkeleri ilk kez Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Holland 1975 yılında yaptığı çalışmaları "Adaptation in Natural and Artificial Systems" adlı kitabında bir araya getirmiştir. İlk olarak Holland evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde eniyileme problemleri için kullanmıştır.

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer eniyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde nüfus adını alır. Popülasyon vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Popülasyondaki bireyler evrimsel süreç içinde genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenirler (Demir ve Zeyveli, 2014; Beasley, 1993).

#### **4.7.3. Genetik algoritmanın temel çalışma prensibi**

Genetik algoritmanın işleyiş mekanizması dizilimlerin kopyalanması ve kısmi değişimlerini içerir. Tam sayıların, karakterlerin vb. dizilimlerinin parçaları basit bir şekilde değiştirilir. Birçok pratik problemde iyi sonuçlar üreten basit bir genetik algoritmanın ana süreçlerinin akış şeması Şekil 4,18 gösterilmektedir. Genetik algoritmalar Şekil 4.18. de olduğu gibi basit operasyonlardan oluşmasına rağmen güçlü ve etkin optimizasyon tekniklerinden biridir. Genetik algoritmanın temel prensibi, her adımda, bir

önceki nesilden daha yüksek bir amaç değerine sahip olan dizinin, yeni nesil için bir veya daha fazla yeni birey yaratma yeteneğine sahip olduğudur (Vural, 2005).



Şekil 4.18. Genetik algoritmaların çalışma prensibinin akış şeması (Vural, 2005).

*Aşama 1:* Başlangıç - Rastgele olarak başlangıç topluluğu oluşturmalı. Diğer bir ifadeyle n adet kromozom içeren popülasyonun oluşturulması aşamasıdır. Eğer öncelikli baskın (domain) bilgi mevcut ise; bu bilgi, başlangıcı ilgilenilen bölgeye doğru kısıtlamak şeklinde kullanılabilir. Ancak çaprazlama işleminin etkin gerçekleşmesi için çözümler arasında yüksek derecede farklılığın olduğundan emin olunmalıdır (Vural, 2005; Biethahn ve Nissen, 1995).

*Aşama 2:* Değerlendirme bu aşamada mevcut topluluk içerisindeki tüm çözümler için sabit bir uygunluk değeri hesaplanır. Bir bireyin sabit uygunluk değeri kendisiyle uyuşan karar fonksiyonu değerinin dönüştürülmesiyle genellikle hesaplanır. Ancak gerekli görüldüğünde bir çözümün kalitesi deneysel olarak veya simülasyonla belirlenebilir. Maksimizasyon problemlerinde uygunluk değeri pozitif ve amaç fonksiyonu değeri ile benzer olmalıdır (Vural, 2005; Biethahn ve Nissen, 1995).

Genetik algoritmaların çözümünde ortaya çıkan sorunlardan biri uygunluk değerinin nasıl hesaplanacağıdır. Bununla ilgili birçok yaklaşım öne sürülmüştür. Bu yaklaşımlar (Dianati vd., 2003).

1- Vektör Değerli Genetik Algoritma: Schaffer tarafından 1985 yılında öne sürülmüştür. Bu yaklaşımda üreme havuzu tek bir amaç uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilen bölümlere ayrılmaktadır. Bu algoritma bazı kısıtlar içeriyor olmasına rağmen referans olarak kullanılmaktadır.

2- Ağırlıklar Toplamı Yaklaşımı: Hajela ve Lin tarafından 1992 yılında öne sürülmüştür. Bu yaklaşımda her kromozomun toplam uygunluğu, ağırlık değerleriyle derecelendirilmiş ve her bir uygunluk fonksiyonunun toplanmasıyla hesaplanmaktadır.

3- Pareto Tabanlı Yaklaşım: İlk olarak Horn ve Nafpliotis tarafından 1993 yılında öne sürülmüştür. Bu yaklaşımda turnuva seçim yöntemi ile bireyler seçilmektedir.

*Aşama 3:* Daha iyi çözümlerin elde edilebilmesi için sonraki nesle iyi genlerin geçme şansının kötü genlere göre artırılması için iki kromozomun uygunluğuna göre seçim uygulanır (Vural, 2005; Biethahn ve Nissen, 1995). Seçim operatörü dizilimlerin bulunduğu çözüm uzayına uygulanan ilk operatördür.

*Aşama 4:* Çaprazlama: GA'ların farklı çözüm elemanlarını karıştıran temel bir araştırma operatörüdür. GA'ların farklı çözüm elemanlarını karıştıran temel bir araştırma operatörüdür. Mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama genellikle, verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen aile çeşitlerine uygulanmaktadır (Vural, 2005; Jang, 1997; Emel, 2002). Genetik algoritmanın performansını etkileyen, önemli parametrelerden biri olan çaprazlama operatörü doğal populasyonlardaki çaprazlamaya karşılık gelmektedir. Çoğalma işlemi sonucunda elde edilen yeni populasyondan rastsal olarak iki kromozom seçilmekte ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır (Emel, 2002).

*Aşama 5:* Mutasyon: Genetik algoritmaların arka plan operatörüdür. Bu aşamada kaybolan alellin (her bir genin alabileceği değerlerin kümesi) populasyon içerisine tekrar katılmasını sağlamaktır. Çaprazlama mevcut gen potansiyellerini araştırması için kullanılır. Fakat populasyon gerekli tüm kodlanmış bilgiyi içermez ise, çaprazlama tatmin edici bir çözüm üretmez. Bundan dolayı, mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip bir operatör gerekmektedir. Bu görevi mutasyon gerçekleştirir. Yapay genetik sistemlerde mutasyon operatörü, bir daha elde edilemeyebilir iyi bir çözümün kaybına karşı koruma sağlamaktadır (Emel, 2002; Goldberg, 1989). İkili kodlama

sisteminin kullanıldığı problemlerde mutasyon, düşük bir olasılık değeri altında bir bit değerini (0 veya 1 olabilir) diğer bit değerine dönüştürür. İkili kodlama sisteminin kullanılmadığı problemlerde ise daha farklı mutasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, mutasyonun genel amacı, genetik çeşitliliği sağlamak veya korumaktır (Emel, 2002).

*Aşama 6:* Ekleme – Üretme döngüsünün başlangıcında yeni popülasyon boştur. Ancak bu aşamada ebeveynlerden elde edilen yeni bireyler popülasyona eklenir.

*Aşama 7:* Tekrar – Yeni popülasyon tamamen dolana kadar 3’den 6’ya kadar olan aşamalar tekrar edilir.

*Aşama 8:* Test Etme – Eğer sonlanma kriteri gerçekleşmiş ise süreç durdurulmalıdır ve son popülasyonun en iyi uygunluk değerine sahip kromozomu çözüm olarak sunulmalıdır. GA ile bir problem çözümünde algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir. Sonlanma kriteri çözüm kalitesi (istenilen seviye gibi) ile ilgili veya kullanılan kaynaklarla (maksimum iterasyon sayısı gibi) ilgili olabilir. Yani sonucun yeterince iyi olması veya yakınsamanın sağlanması algoritmanın durması için kriter olarak kullanılabilir. Eğer kriter oluşmamışsa, süreç 2. Aşamadan itibaren tekrarlanır (Vural, 2005; Biethahn ve Nissen, 1995).

#### 4.7.4. Amaç fonksiyonu ve parametreler

Amaç fonksiyonu, giriş parametrelerine göre çıkış üreten bir fonksiyondur. Bu fonksiyon matematiksel veya deneysel olabilir. Burada amaç, giriş parametreleri için uygun değer bulununcaya kadar çıkış üretmektir. Örneğin banyo küveti doldurulurken farkında olmadan optimizasyon yapılır. Giriş parametreleri, sıcak ve soğuk su çeşmeleridir. Amaç fonksiyonu deneysel sonuçlardır. Çünkü el, suyun içine sokularak suyun sıcaklığı ayarlanır ( Haupt 1998). GA’ya, optimize edilecek parametre dizileri ve kromozomlar (bireyler) tanımlanarak başlanır. Kromozom, Npar adet parametreye sahip ise optimizasyon problemi Npar boyutlu olur. Parametreler P1, P2, P3,.....PNpar ise; Kromozom = [P1, P2, P3,.....PNpar] olarak tanımlanır. Örneğin; topoğrafik bir haritayı ele alalım. Amaç fonksiyonu giriş parametreleri, enlem (x) ve boylam (y) kabul edilirse, kromozom = [x,y] şeklinde tanımlanır. Burada Npar=2’ dir. Her bir kromozom; P1, P2

parametrelerinin değerlerine göre hesaplanır.  $F(\text{kromozom}) = F(P_1, P_2, \dots, P_N \text{ par})$  Çoğu zaman amaç fonksiyonu oldukça karmaşıktır. Parametrelerin hangisinin önemli olduğuna karar verilmelidir. Parametreler çok fazla olursa GA, iyi sonuç vermeyecektir.

Optimizasyon problemlerinin çoğunda parametrelerin belirli sınırlar içerisinde kalması istenir. Örneğin; otomobilin ağırlığı sıfır olmayacak, boyu 10 m'yi geçmeyecek vb. sınırlamalar getirilebilir. Sınırsız parametreler ise herhangi bir değer alabilir (Çunkaş, 2006).

#### 4.7.5. Genetik algoritmanın kodlanması

Genetik Algoritmada problem çözümünün kromozomların nasıl kodlanacağıdır en önemli faaliyetlerinden biridir. Son on yıl içerisinde, GA'nın etkin kullanımını sağlamak amacıyla özel problemler için farklı kodlama metotları geliştirilmiştir. GA'da kullanılan başlıca kodlama sistemleri aşağıda verilmiştir: Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış biçimleri kullanırlar (Tosun, 2006).

##### 1- İkili Kodlama

Bir çok GA teorisi en uygun uzunluk ve ikili kodlama varsayımına dayanmaktadır. Bu teori ikili olmayan kodlama uygulamasına kadar uzatılabilir ancak, orijinal teori kadar iyi geliştirilmiş olamaz. Holland (1975) ikili kodlamaların uygulamasında bir yargı ortaya atmıştır. Holland, aynı bilgileri kullanarak iki farklı kodlama sistemini karşılaştırmıştır. İlkinde, az sayıda gen ve uzun diziler, diğerinde ise çok sayıda gen ve kısa diziler kullanmıştır. Bu avantajlara rağmen, ikili kodlama doğal ve çok yaygın olmayan problemlerde kullanılmakta ve daha çok keyfi sıralanmalara eğilimlidir (Tosun, 2006).

##### 2- Çok Karakterli ve Gerçek Değerli Kodlama

İkili ve çok karakterli ampirik karşılaştırmalar çok karakterli kodlamanın performansının daha iyi olduğunu göstermiştir. Fakat performans daha çok probleme ve

GA'da kullanılan ayrıntılara bağlıdır. Henüz hangi kodlamanın en iyi olduğuna dair kesin bir sonuç yoktur (Tosun, 2006).

### 3- Ağaç Kodlama

Üçlü kodlama şekillerinin açık uçlu olmak için arama uzaylarını da içeren çeşitli avantajları vardır. Bu açık uçluluk aynı zamanda bazı potansiyel tehlikelere yol açar. Ağaçlar kontrolsüz bir şekilde büyüyebilir ve hiyerarşik aday çözümlerin oluşmasını önleyebilir. Aynı zamanda sonuçta oluşan ağaçlar büyük olduğundan anlaşılması ve basitleştirilmesi oldukça zordur (Tosun, 2006).

#### 4.7.6. Çok amaçlı genetik algoritmalar

Gerçek dünya problemleri karmaşıktır ve iyi bir çözüm için birden fazla amacın sağlanması gerekmektedir. Birçok proje tek bir fonksiyona dayalı bir yaklaşımla çözüm getirmektedir. Bu basit yaklaşım pek çok durumda çok etkin değildir. İlk olarak amaçlar sık sık birbirleriyle çatışabilmektedir. İkinci olarak amaçlar sık sık aday çözüm kalitesine uygun olmayabilir ve farklılıklar gösterebilir. Genetik algoritmanın doğal ve evrimsel yapısı çok amaçlı yapı için uygundur. Çok amaçlı genetik algoritmalarda birden fazla amaca aynı anda bakılır. Yani tek bir uygun çözüm yoktur. Amaçlar arasında bir tercih yapılarak bir çözüm kümesi seçilebilir. Bu yöntemle kullanıcı spesifik problem için olası çözümlerden birini seçebilir. Böylece kullanıcı yüksek kaliteli çözümleri inceleyerek amaçlar arasında bir tercih yaparak bir çözüm kümesi seçme fırsatı bulacaktır. Bu yöntem kullanıcıyı tek bir çözüm kümesine zorlamaktan daha iyi bir yöntemdir ( Deb, 2001)

#### 4.7.7. Bulanık çok amaçlı eniyileme problemlerinin genetik algoritmas kullanılarak çözümü

Bulanık mantık yapay zeka yöntemlerinden biri olan bir kural tabanlı sistem olarak düşünülebilir. İlk defa Zadeh tarafından ortaya çıkan bulanık küme teorisi, esas olarak insan düşünce ve algılamadaki belirsizliği sayısallaştırmaya çalışır (Keleşoğlu, 2006; Zadeh, 1965).

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanır ve bu teori aslında daha genel bir matematiksel küme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımla çözülmesi çok zor olan problemler genel bir yapıya kavuşturularak daha kolay sonuca gidilir (Keleşoğlu, 2003).

Bulanık küme ile modellenen problemler genetik algoritmalar kullanılarak çok amaçlı eniyileme elde edilmiştir (Sakawa, 1994; Sakawa ve vd., 1995; Sasaki and Gen, 2003; Keleşoğlu, 2006).

Problemler, mühendislikte ve diğer bilim dallarında, kesin matematiksel formülasyonlar kullanılarak tanımlanırlar. Oluşturulan bu formülasyonlar altında problemin veya sistemin göstereceği davranış biçimi bazen çok karmaşık bir yapıya sahip olabilir. Yetersiz veri, sistemin kısıtlayıcıları, boyutlandırma amaçlarının yetersiz formülasyonu ve amaçlar arası bağlı önemi değerlendirememeye hassasiyet eksikliğine sebep olur. Boyutlandırma probleminin belirsiz ve karmaşık yapısını modellemek için bulanık küme teorisi kullanılmalıdır (Rao, vd., 1992; Keleşoğlu, 2002; Keleşoğlu, 2006). Sakawa, evrimsel algoritmalar ile bulanık çok amaçlı eniyilemenin birleşimi ile yeni bir yöntem önermiştir (Sakawa, 2001; Keleşoğlu, 2006). Genetik algoritmaların mutasyon ve çaprazlama operatörleri, bulanık parametreler ile lineer olmayan problemlerin çözümü için bir yaklaşım önerilmiştir (Mondal ve Maiti, 2002,; Keleşoğlu, 2006 ). Bulanık eniyileme ile karar problemlerinin çözümü için genetik algoritmalar uygulanmıştır (Lin ve Yao, 2002; Keleşoğlu, 2006 ).

#### Algoritmanın Tanımı

Günümüz eniyileme problemleri, amaç fonksiyonlarının, kısıtların karmaşık ve belirsiz yapısını çözmek için bulanık kümeler kullanılarak modellenmiştir.

Geliştirilen yöntemin matematiksel formülasyonu ve adımları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Bulanık çok amaçlı fonksiyon  $f(x)$  ve  $x$  boyutlandırma değişkenin durumu ( Keleşoğlu, 2006 ):

$$\text{Min } f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}^T \quad (4.25)$$

Boyutlandırma kısıtlayıcılarının durumu:

$$g(x) \leq b_j^u \quad j=1,2,\dots,P^{-1} \quad (4.26)$$

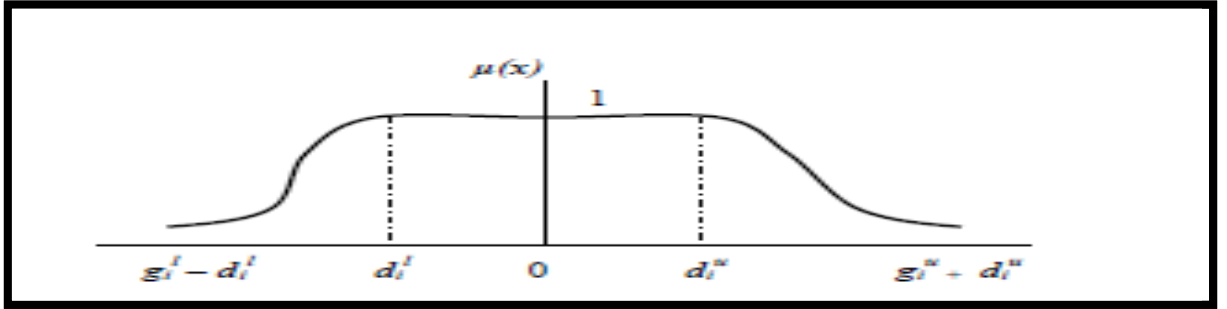
$$g(x) \geq b_j^l \quad j=p,\dots, m \quad (4.27)$$



Burada,  $b_j^u, b_j^l$   $j$ . bulanık kısıtlayıcı fonksiyonların alt ve üst sınır değerleri olarak tanımlanır. Üyelik fonksiyonu  $\mu_j(x)$ 'in alt ve üst sınır değerleri olan  $b_j^u, b_j^l$ . Şekil 4.19'de gösterildiği gibidir. Şekil 1'de bulanık karar bölgesinin alt ve üst sınır için izin verilebilir bölgesi  $d_j^l, d_j^u$  olmalıdır. Bu bulanık karar değerleri, üyelik fonksiyonunu maksimum yapan değerdir (Keleşoğlu, 2006).

$$g(x) \leq b_j^u + d_j^u \quad j=1,2,\dots,P^{-1} \quad (4.28)$$

$$g(x) \geq b_j^l - d_j^l \quad j=p,\dots,m \quad (4.29)$$



Şekil 4.19. Üyelik fonksiyonu (Keleşoğlu, 2006)

Amaç fonksiyonlarının minimum ve maksimum değerleri, değişkenlerin alt ve üst sınır değeri tarafından  $f_i^{min}$ ,  $f_i^{max}$  bulunur. Bulunan bu değerler aşağıdaki denklem (4.30)'da verilmiştir ve bulanık amaç fonksiyonlarının, üyelik fonksiyonları şeklinde ifade edilir.

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} f_i(x) > f_i^{max} & \text{ise} & 0 \\ f_i^{min} < f_i(x) \leq f_i^{max} & \text{ise} & \frac{-f_i(x) + f_i^{max}}{f_i^{max} - f_i^{min}} \\ f_i(x) \leq f_i^{min} & \text{ise} & 1, \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.30)$$

Bulanık kısıtlayıcı fonksiyonların  $j$ . sınır değerleri  $b_j$  ve bulanık eniyi karar bölgesinin müsaade edilebilir bölgesi  $d_j$  denklem (4.31)'de verilmiştir.

$$g_j(x) = \begin{cases} g_j(x) > b_j + d_j & ise & 0 \\ b_j < g_j(x) \leq b_j + d_j & ise & 1 - \left( \frac{g_j(x) - b_j}{d_j} \right), i = 1, 2, \dots, m \\ g_j(x) \leq b_j & ise & 1. \end{cases} \quad (4.31)$$

$$\lambda_i = [f_i^{max} - f_i(x)] / [f_i^{max} - f_i^{min}] \quad i=1, 2, \dots, k \quad (4.32)$$

$\lambda$  parametresinin maksimum olması durumu, bulanık kararın en büyük degree ulaşmasını sağlar.

Denklem (4.33) ile, her bir amaç fonksiyonun  $\lambda$  değerlerini birbirine eşitleyerek, bu eşitliğin sağlayacak  $[0,1]$  aralığında birçok  $\lambda$  değerleri bulunur. Bulunan bu  $\lambda$  değerlerinden en büyüğü ( $max \lambda$ ) bulanık eniyi kararı verir. Bu karar boyutlandırma probleminin amaç fonksiyonlarını minimize eder.

$Max \lambda$

$$\lambda - \mu_{f_i} \leq 0 \quad i=1,2,\dots,k \quad (4.33)$$

$$\lambda - \mu_{g_j} \leq 0 \quad j=1,2,\dots,m$$

değerleri arasında bulunur.

Bulanık parametre ile verilen kısıt ve amaç fonksiyonlarının, üyelik fonksiyonları yardımı ile doğrusal olmayan programlama problemi oluşturulmuştur. Bu oluşum ile ortaya çıkan dışbükey olmayan problem sezgisel bir metot olan genetik algoritma ile çözüm yapılmıştır.

Bireyler 0,1 değerlerinden oluşan diziler şeklinde kodlanmıştır (Keleşoğlu, 2006).

Önerilen algoritmanın adımları:

1. Randum bir başlangıç popülasyonu oluştur.
2. Popülasyondaki her bir bireyin, üyelik fonksiyonlarını denklem (4.32)'göre hesapla.
3. Bulanık çok amaçlı eniyi çözümler kümesini belirle.

4. Turnuva seçimine göre ebeveyn bireyleri belirle, bu bireylere çaprazlama uygula ve oluşan bireyleri mutasyona uğrat.

5. Yeni populasyonun üyelik değerlerini hesapla. Bir önceki populasyonda her bir amacı eniyi yapan bireyleri yeni nesil populasyona ekle. Bulanık çok amaçlı eniyi çözümler kümesini yenile.

6. Maksimum jenerasyon sayısına kadar işleme devam et ve en büyük üyelik fonksiyonu olan  $\max \lambda$  'yı getir. Aksi takdirde jenerasyon sayısını 1 artırarak 2. adıma geri dön.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Giriş

Ters lojistik, uygulandığında doğal kaynakları kurtarabilecek, kurum imajını geliştirebilecek ve çevre üzerinde yükü azaltabilecek yoldur (Rahmatian, 2008; Nebaee, 2014).

Bu çalışma Rahmatian (2008), çok seviyeli depo lokasyonu ve tahsisi modeline benzer birçok amaçlı karışık tamsayıli lineer programlama modeli geliştirmiştir. Bu ağda, nodlar tesisler ve arklar ulaşım kanallarına karşılık gelmektedir. Üç orta seviyeli testi göz önünde bulundurulmaktadır. Bu seviyeler yeni ürünlerin üretimi ve kullanılmış ürünlerin yeniden işlenmesi amaçlı tesisler, ürünlerin dağıtımını için depolar ve iadelerin toplanması, denetimi ve ayırımı amaçlı ayırım merkezlerine karşılık gelmektedir. Çok amaçlı model, kısıt yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Toplam maliyet, iade toplama oranı ve ürün iyileştirme miktarı değişiklik çözümleri karar vericilere daha önemli ve farklı faktörleri göz önünde bulundurmak suretiyle daha dengeli kararlar almalarında yardımcı olan baskın olmayan çözümler dizisi sağlamaktadır(Rahmatian, 2008).

Nebaee (2014), çalışmasında ürün iyileştirme faaliyetlerine dahil edilen bir aracı şirket için jenerik entegre lojistik kağıt tasarlamak istemiştir. İleri ve ters ait karma tesislerini iki ağ arasında ağın yapısını ve maliyetini olumsuz yönde etkileyen bir çeşit entegrasyon seviyesi empoze ettiğine dikkat çekmekte önemlidir. İleri lojistik kağıt üretim lokasyonları, depolama ve dağıtım lokasyonları ve satış merkezleri oluşmaktadır. Ters lojistik ağı ise toplama ve ayırma merkezleri, onarım tesisleri, geri dönüşüm tesisleri, yeniden üretim tesisleri, imha tesisleri ve ikincil müşteri lokasyonlarından oluşmaktadır. Birincil Pazar talebine bağlı olarak, ürünler üretim lokasyonlarında üretilmekte ve gönderilmek suretiyle dağıtım merkezlerine gönderilmektedirler. Bu tezin amacı toplam karın maksimize edilebileceği ileri lojistik kanalları için tesis lokasyonları belirleme yöntemi geliştirmektir (Nebaee, 2014).

Bu çalışmada, bulanık çok amaçlı optimizasyon modeliyle çözüm yoluyla ters lojistik ağı tasarımı modeli geliştirilecektir. Bu ağda, nodlar tesislere karşılık gelirken,

arklar taşıma kanallarına karşılık gelmektedir. Herhangi büyük bir iyileştirme fonksiyonu olmaksızın kullanılabilen iadeler yeniden kullanım veya düşük fiyatla yeniden satış için doğrudan ikincil pazarlara gönderilmektedir. Diğerleri iyileştirme için ayırma merkezlerine veya imha alanlarına gönderilmektedir. Ayırma merkezleri, iade edilen malların ayırımının yapıldığı yerlerdir. Büyük bir iyileştirme olmaksızın kullanılacak iadeler doğrudan yeniden kullanım için depolara gönderilir. Diğerleri ise iyileştirme için tesislere veya imha alanlarına gönderilir. Model, talep ve iade miktarlarının bulanık olabilmesi için belirleyicidir. Değişken değerleri ( $\alpha$  ve  $\theta$ ) ile  $[0,1]$  ise, o zaman bu değerler bulanıktır. Model kodlanmıştır ve Matlab yazılım programında çözülmüştür.

## 5.2. Problem Tanımı ve Modelleme Çerçevesi

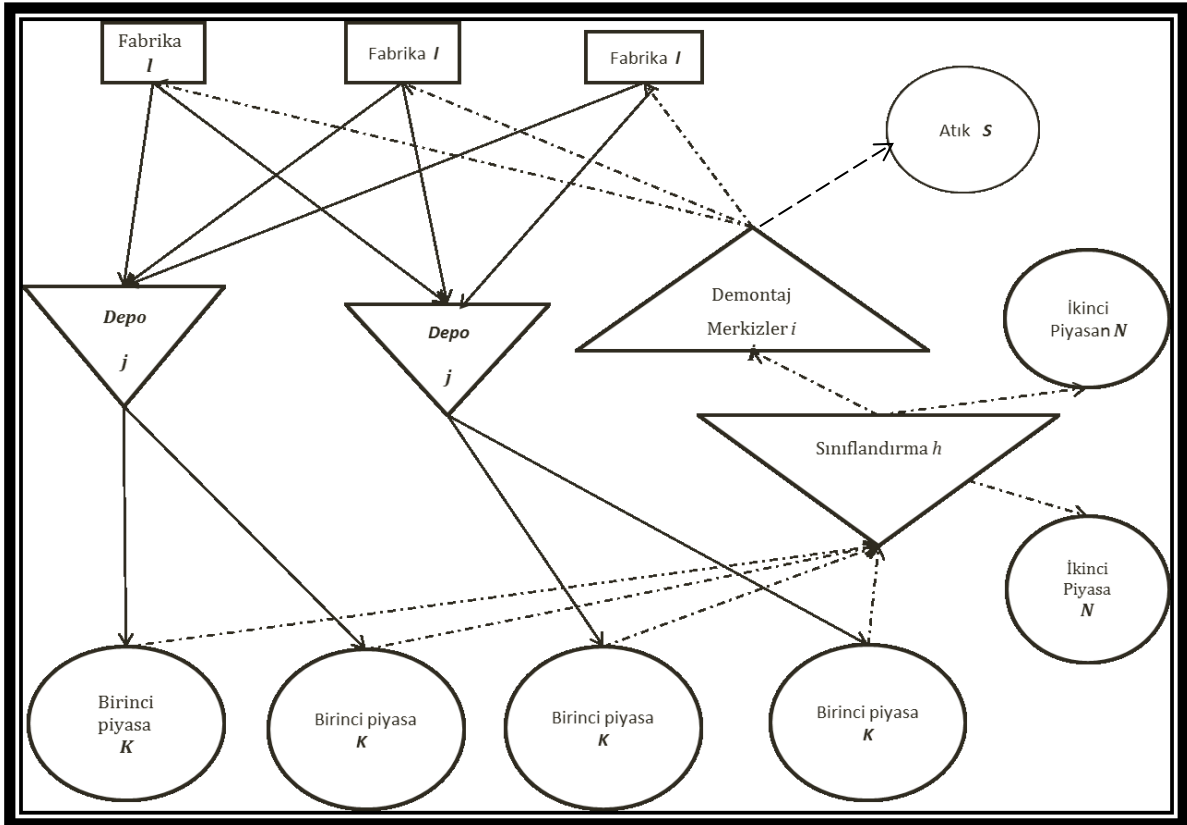
Bu araştırmamızda, birincil marketlerde gerekli miktarların bazı birimlerinin satılmayan birimler veya hatalı miktar veya tüketiciler tarafından kullanım sonrasında ayrılma gibi nedenlerle iyileştirildiği (Nabae, 2014) ve (Rahmatian, 2008). Çalışmalarının genişletilmiş halidir. Ürün iadeleri: Bu birimler tamamen belirlenmiş üründen oluşmaktadır ve belirli bir süre boyunca farklı tesisler arasında değiştirilmektedir. Bu birimler cam, gözlük, mobil cihaz, bilgisayar ve kâğıt gibi ürünlerdir.

Ters lojistik ağı: tesisler, depolar, birincil müşteri lokasyonları, sınıflandırma deposu, ikinci piyasa lokasyonları, atık lokasyonları, demontaj merkezleri ve atık lokasyonlarından oluşmaktadır.

Bu ağlar tedarik zinciriyle ileriye ve ters görünümdedir. İleriye doğru gösterimde, fabrikada üretilen veya iyileştirilen ve sonrasında müşterilere (birincil piyasaya) dağıtım için depolara gönderilen bir dizi ürünü içermektedirler. Hasılat açısından yalnızca müşteriler tarafından iade edilen ürünlerin sadece kullanımını değil, aynı zamanda satıcıların iade ettiği satılmayan veya hatalı ürünleri de içerebilir.

Yaptığımız çalışmada: ters lojistik ağı, toplama (birincil müşteri lokasyonları), depo sınıflaması, demontaj merkezleri, ikincil piyasa lokasyonları, atık lokasyonları ve tesislerden oluşur.

Birincil piyasa talebine dayalı olarak; ürünler, imalat lokasyonlarında üretilir ve daha sonra dağıtım merkezlerine sevk edilip buralarda depolanır. Daha sonra ürünler, müşterilere satıldıkları birincil piyasalara sevk edilir. İadeler farklı biçimlerde olabilir. İadeler kullanım ömrü bitmiş ürünler, hasarlı ürünler, toplatmalar, satılmamış mal gibi ürünler. İadeler toplandıktan sonra, her iade edilen ürün için uygun geri kazanımı belirleme sonrasında, bunlar, uygun geri kazanım tesislerine (ikincil piyasalar ve demontaj merkezlerine) sevk edilir. Daha sonra depo sınıflandırmasından iade edilen malların incelenip ayrıldığı demontaj merkezlerine gönderilirler. Herhangi bir önemli geri kazanım işlevi olmaksızın yeni üretilecek iadeler doğrudan geri üretim için tesislere gönderilir. Diğerleri, atık sahasına gönderilir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Ters ve ileri lojistik şebeke ağ tasarımı

Ekonomik, çevre, mevzuat ve teknik koşullara dair asıl olarak dikkate alınır. Çok amaçlı analizin tek amaçlı analize göre çeşitli avantajları vardır. Birincisi, stratejik kararların etkilerini anlamak için sistematik bir metodoloji sağlar. İkincisi, doğal ölçüm birimlerinde incelenecek çeşitli kriterleri verir. Son olarak, bu tür stratejiler, belirli bir amaçlar dizisi için tüm alternatif olasılıkların bilgisini sağlar. Baskın olmayan çözüm seti ve amaçları dengeleme; karar alıcıların, farklı ve önemli faktörleri dikkate alırken daha dengeli karar vermesine yardımcı olur.

Birinci amaç, toplam maliyeti en aza indirmektir. Toplam maliyet, müşteri talebini yerine getirmemenin ceza maliyeti ve tesisler ve müşteriler arasında ve her bir tesis çifti arasındaki toplam taşıma maliyetleri, tesisleri (tesisler, depolar, sınıflandırma deposu ve demontaj merkezlerini) açmanın sabit maliyetlerinin toplamıdır.

İkinci amaç, problemin çevre ve mevzuat yönlerini ilgilendirir. Hedef, iade edilen malların toplanmasını en yükseğe çıkarmaktır. Bu amacın ana etkenleri, çevre ve devlet yükümlülükleridir.

Üçüncü amaç, Demontaj merkezi, geri kazanılan iadelerin toplam miktarını en yüksek seviyeye çıkarmaktır. Bu amaç, iadeleri geri kazanma ve geri getirme kabiliyeti ve geri kazanma sisteminin teknik yeterliliği olarak tanımlanır.

Bu tezin hedefine ek olarak üretim ve geri kazanma işlemleri başlamadan önce kapsamlı bir lojistik ağı geliştirmek amaçlanmıştır. Rahmatian (2008) tarafından geliştirilen ters lojistik ağı tasarımını temel alarak depoların sınıflandırması ve ikincil piyasaları ekleyerek genişletilmiştir. Çok amaçlı, çok ürün, Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyonu ters lojistik ağı tasarım modelini geliştirilmiştir.

Bu model deterministlik olduğu için talep ve geri dönüş miktarları bulanıktır. Eğer ( $\alpha$  and  $\theta$ ) parametrelerin değişken değerleri  $[0,1]$  ise bulanık mevcuttur. Bu modelin kodlama ve çözümlenme Matlab yazılım programlama süreçleri uygulanarak yapıldı.

### ***Model Varsayımları***

1. Model, tek zaman dilimine dayanır.
2. Bu model belirleyicidir, bu yüzden talep ve iade miktarları bulanıktır. Her bir birincil piyasa (müşteri) lokasyonu da bilinmektedir. Ancak  $(\alpha, \theta)$  parametrelerin değişken değerleri  $[0,1]$  ise o zaman bulanık vardır.
3. Model, belirli potansiyel lokasyonlar dizisinden tesisleri ve depoları seçer.
4. Depoların sınıflandırması (toplanma), inceleme ve ayırma işlevlerini yerine getirir. Demontaj merkezleri; küçük bakım ve yeniden işleme faaliyetleri bu merkezlerde yapılabilir.
5. Atık edilen iade edilmiş mallar bir üçüncü taraf için kaynak olabilir, örneğin, malzeme geri döngüsü, arazi dolgusu veya çöp yakma.
6. Her bir tesisin (tesis, depo, sınıflandırma deposu ve demontaj merkezi) her bir ürün tipi için sınırlı bir kapasite sınırı vardır.
7. Geri kazanılan ürünler yeni olarak ele alınır ve yeni ürünlerle aynı tedarik zincirine girebilir.
8. Yeni ürünleri üretmek için gerekli hammaddeler, tesislerde mevcuttur. Bu anlamda, modele tedarikçileri ve bunların teslim araçlarını katmak gereksizdir.

### **Model Simgeleri**

#### ***İndeks dizileri***

$L = \{1, \dots, N_p\}$  : Üretim Tesisi Sayısı:

$J = \{1, \dots, N_w\}$  : Depo Sayısı:

$K = \{1, \dots, N_{pw}\}$  : Birincil piyasa (müşter) Sayısı:

$N = \{1, \dots, N_c\}$  : İkincil piyasa (müşter) Sayısı:

$H = \{1, \dots, N_{ws}\}$  : Sınıflandırma (toplama) depo Sayısı :

$\dot{I} = \{1, \dots, N_{wc}\}$  : Demontaj (arıştırma) merkezleri Sayısı:

$S = \{1, \dots, N_s\}$  : Atık alanı Sayısı:



### ***Değişkenler***

$X_{mj}^{f_1}$  = ileri akış: l tesisinden j deposuna servis edilen m ürününün talebi;  $m \in M, l \in L, j \in J$ .

$X_{mjk}^{f_2}$  = ileri akış: j deposundan k müşterisine servis edilen m ürününün talebi;  $m \in M, j \in J, k \in K$ .

$X_{mjh}^{r_1}$  = Ters akış: k birincil piyasalarından (müşteri) h sınıflandırma deposuna m ürününün iadeleri;  $m \in M, k \in K, h \in H$ .

$X_{mhn}^{r_2}$  = Ters akış: h sınıflandırma deposundan n ikincil piyasalarına m ürününün iadeleri;  $m \in M, h \in H, n \in N$ .

$X_{mhi}^{r_3}$  = Ters akış: h sınıflandırma deposundan j demontaj merkezine m ürününün iadeleri;  $m \in M, h \in H, i \in I$ .

$X_{mli}^{r_4}$  = Ters akış: i demontaj merkezlerinden l tesislerine m ürününün iadeleri;  $m \in M, h \in H, i \in I$ .

$X_{mis}^d$  = Ters akış: i demontaj merkezinden s atık alanına m ürününün iadeleri;  $m \in M, i \in I, s \in S$ .

$U_{mk}$  = m ürünü için fc müşterisinin yerine getirilmeyen talebi;  $m \in M, k \in K$ .

$y_l^p$  = l fabrikası açılmışsa 1, değilse 0;  $l \in L$ .

$Y_j^w$  = j deposu açılmışsa 1, değilse 0;  $j \in J$ .

$Y_i^d$  = i demontaj merkezi açılmışsa 1, değilse 0;  $i \in I$ .

$Y_h^{ws}$  = h sınıflandırma deposu açılmışsa 1, değilse 0;  $h \in H$ .

### ***Maliyetler***

$C_{mlj}^{f_1}$  = Taşıma, üretim ve muamele ücretleri dahil l tesisinden j deposuna m ürünü talebini yerine getirmenin birim değişken maliyeti;  $m \in M, l \in L, j \in J$ .

$C_{mjk}^{f_2}$  = Taşıma ve muamele ücretleri dahil j deposundan k birincil piyasalarına (müşteri) m ürünü talebini yerine getirmenin birim değişken maliyeti;  $m \in M, j \in J, k \in K$ .

$C_{mjh}^{r_1}$  = Taşıma ve muamele ücretleri dahil k birincil piyasalarından (müşteri) h sınıflandırma (toplama) depolarına m ürününün iadesi için birim değişken maliyet ;  $m \in M, k \in K, h \in H$ .

$C_{mhn}^{r_2}$  = Taşıma ve muamele ücreti eksi üretim maliyet tasarrufları dahil, h sınıflandırma (toplama) depolarından n ikincil piyasalarına m ürününün iadesi için birim değişken maliyet;  $m \in M, h \in H, n \in N$ .

$C_{mhi}^{r_3}$  = h Sınıflandırma (toplama) depolarından i demontaj merkezine m ürününün iadesi için birim değişken maliyet;  $m \in M, h \in H, i \in \dot{I}$ .

$C_{mil}^4$  = Taşıma ve muamele ücreti eksi üretim maliyet tasarrufları dahil i demontaj merkezinden l tesisine m ürününün iadesi için birim değişken maliyet;  $m \in M, i \in \dot{I}, l \in L$ .

$C_{mis}^d$  = i demontaj merkezinden ürün iadesini bertaraf etmenin birim değişken maliyeti;  $m \in M, i \in \dot{I}, s \in S$ .

$C_{mk}^u$  = m ürünü için k müşterisinin talebini yerine getirmemenin birim ceza maliyeti;  $m \in M, k \in K$ .

$f_l^p$  = l tesisini açmanın sabit maliyeti;  $l \in L$ .

$f_j^w$  = j deposunu açmanın sabit maliyeti;  $j \in J$ .

$f_i^d$  = i demontaj merkezini açmanın sabit maliyeti;  $i \in \dot{I}$ .

$f_h^{ws}$  = h sınıflandırma (toplama) deposunu açmanın sabit maliyeti;  $h \in H$ .

### ***Parametreler***

$\theta$  = Sınıflandırma deposunun h'den ikincil piyasalara kadar olan minimizasyon yeniden kullanılabilir geri dönüş fraksiyonu.  $m \in M, n \in N$ .

$\delta$  = Sınıflandırma deposunun h'nden maksimum demontaj merkezine doğrudan geri dönüş fraksiyonu i.  $m \in M, i \in I$ .

$\alpha$  = Demontaj merkezinden atılmasına kadar en az atık miktarı S.

$\beta$  = Maksimum yeniden kazanım iadelerin demontaj merkezinden fabrikalara l; olan fraksiyonu

$d_{mk}$  = m ürünü için k müşterisinin talebi;  $m \in M, k \in K$ .

$r_{mk}$  = k birincil piyasasından (müşteri) m ürününün iadesi k;  $m \in M, k \in K$ .

$g_{ml}^p$  = m ürününü üretmek için l fabrikanın kapasitesi;  $m \in M, l \in L$ .

$g_{mj}^w$  = m ürünü için j deposunun kapasitesi;  $m \in M, j \in J$ .

$g_{mi}^d$  = m ürünü için i demontaj merkezinin kapasitesi;  $m \in M, i \in I$ .

$g_{mh}^{ws}$  = m ürünü için h sınıflandırma deposunun kapasitesi;  $m \in M, h \in H$ .

### ***Model Formülasyonu***

Bu araştırmada, çok amaçlı ters lojistik ağı tasarım modeli aşağıdaki gibi formüle edilmiştir ( Rahmatian, 2008).

#### *Amaç Fonksiyonu*

1- Birinci amaç,  $Z_1$  sabit maliyetler ve değişken maliyetlerden oluşan toplam maliyet olan  $Z_1$ 'i en aza indirmektir. Birinci dört terim( sabit maliyet çarpı açık mı kapalı mı her fabrika, depolar, sınıflandırma depolar ve demontaj merkezleri için) tesis yatırımlarıyla ilişkili sabit yatırıma karşılık gelir. Tesisin açılmasına karar verilirse, bir tesisi açma karar değişkeni 1'e eşittir, açılmayacaksa, 0'dır ( Rahmatian, 2008).

Beşinci terim, l fabrikaları ve j depoları arasındaki toplam ileri taşıma maliyetine orandır.

Altıncı terim, j depoları ve k birincil piyasaları (müşteriler) arasındaki toplam ileri taşıma maliyetine orandır.

Yedinci terim, k birincil piyasalarından (müşteriler) h orandır.

sınıflandırma (toplama) depolarına iade edilmiş ürünlerin ters taşıma maliyetini gösterir.

Sekizinci terim, h sınıflandırma (toplama) depolarından n ikincil piyasalarına yeniden kullanılabilir iadeleri taşımaya dair toplam taşıma maliyetlerine orandır.

Dokuzuncu terim, h sınıflandırma (toplama) depolarından, i demontaj merkezlerine yeniden kullanılabilir iadeleri taşımaya ilişkin toplam taşıma maliyetlerine orandır.

Onuncu terim, i demontaj merkezinin her bir çiftinden l tesisine iadelerin toplam taşıma maliyetini belirtir.

On birinci terim, i demontaj merkezinden s atık alanına aktarılacak bertaraf ürünlerinin toplam taşıma maliyetini tanımlar.

Son olarak, son terim, bir müşterinin talebini yerine getirmemenin ceza maliyetlerini tanımlar. Taşıma maliyetlerinin her farklı ürün tipi için değişebileceği not edilmelidir.

1- Birinci Amaç:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_1 = & \\
 & \sum_{l \in L} f_l^p y_l^p + \sum_{j \in J} f_j^w y_j^w + \sum_{h \in H} f_h^{ws} y_h^{ws} + \sum_{i \in I} f_i^d y_i^d + \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} C_{mlj}^{f1} X_{mlj}^{f1} + \\
 & \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{mjk}^{f2} X_{mjk}^{f2} + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} C_{mkh}^{r1} X_{mkh}^{r1} + \sum_{m \in M} \sum_{h \in H} \sum_{n \in N} C_{mhn}^{r2} X_{mhn}^{r2} + \\
 & \sum_{m \in M} \sum_{h \in H} \sum_{i \in I} C_{mhi}^{r3} X_{mhi}^{r3} + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} C_{mil}^{r4} X_{mil}^{r4} + \\
 & \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} C_{mis}^d X_{mis}^d + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} C_{mk}^u U_{mk}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

2-İkinci amaç:  $Z_2$  toplam toplanan iadeleri maksimize çıkarmaktır. Bu amaç, bir alternatif arz kaynağı olarak iade edilen üründen geri kazanma değerini artıracak çevre ve mevzuat koşullarını izleyecektir. Bu amaç, toplanan iadelerin toplam miktarının her bir ürün tipi için her bir müşteriden mevcut genel iadelerin toplam tutarına oranı olarak tanımlanır.

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} X_{mkh}^{r1} / \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} r_{mk} \quad (5.2)$$

3-Üçüncü amaç:  $Z_3$ , geri kazanılan iadelerin toplam miktarını maksimize çıkartmaktır. Bu amaç, iadeleri geri kazanma ve bunları yeniden kullanım piyasasına geri getirme (demontaj merkezine) kabiliyeti ve geri kazanma sisteminin teknik yeterliliği olarak tanımlanır. Fabrikaya giden bu ürünler toplam miktarı maksimize çıkarmaktadır (sınıflandırma depolardan demontaj merkezlerine gelen ürünlerden çıkan atık miktarı).

$$\text{Max } Z_3 = \sum_{m \in M} \sum_{h \in H} \sum_{vi} X_{mhi}^{r3} - \sum_{m \in M} \sum_{h \in H} \sum_{s \in S} X_{mhs}^d \quad (5.3)$$

**Kısıtlar** (Rahmatian, 2008)

Kısıt (5.4): Her bir ürün için tüm müşteri talebinin  $d_{mk}$  bulanık olmasını sağlar. Bu kısıt, ileri kanal; tedarik edilmemiş ürün tutarları  $U_{mk}$  ve tüm tedarik edilen tutarları  $X_{mjk}^{f2}$  içerir.

$$\sum_{j \in J} X_{mjk}^{f2} + U_{mk} = \widetilde{d}_{mk} \quad \forall m \in M, k \in K \quad (5.4)$$

Kısıt (5.5): Her bir ürün için her bir birincil k piyasasından (müşteriden) toplanan iade tutarlarının  $X_{mkh}^{r1}$ , aşılmasını sağlar, mevcut iade miktarlarının  $r_{mk}$  toplanması bulanıktır (h sınıflandırma deposu).

$$\sum_{h \in H} X_{mkh}^{r1} \leq \widetilde{r}_{mk} \quad \forall m \in M, k \in K \quad (5.5)$$

Kısıt (5.6): Her bir ürün iadesi için minimum atık fraksiyonunu modeller. Atık edilmesi gereken her bir sınıflandırma deposundan alınan tüm iade edilmiş ürünlerin bir

fraksiyonu olarak tanımlanır. Bu fraksiyon,  $\theta = [0, 1]$  arasında sabit olan  $\theta$  tanımlanır.  $\theta = 0$ , demontaj merkezlerine akış yoktur.  $\theta = 1$  ise, bu demontaj merkezlerine akış vardır.  $\theta = [0, 1]$  arasındaki değişken bir değer ise, tüm iadelere bulanıklık uygulamamız gerekir.

$$\sum_{n \in N} X_{mhn}^{r2} \leq \theta (\sum_{k \in K} X_{mkh}^{r1}) \quad \forall m \in M, h \in H \quad (5.6)$$

Kısıt (5.7): Sınıflandırmadan demontaj merkezine giden parametre ( $\delta$ ) = (yüzde yüz oranından eksi bulanık olarak ikincil piyasaya ( $\theta$ )) giden iade miktarı parametresi.

$$\delta = 1 - \theta \quad (5.7)$$

Kısıt (5.8): Geri dönüşüm miktarı sınıflandırma depolarından demontaj merkezlerine  $\leq$  parametre çarpı birinci müşteriden sınıflandırma depolarına gelen geri dönüşüm.

$$\sum_{n \in N} X_{mhi}^{r3} \leq \delta (\sum_{k \in K} X_{mkh}^{r1}) \quad \forall m \in M, h \in H \quad (5.8)$$

Kısıt (5.9): Büyük geri kazanma süreçlerinden geçmeksizin yeniden kullanılabilen, her bir demontaj merkezinden alınan her bir ürün iadesinin bir fraksiyonunu yansıtır. Bu fraksiyon, kısaca  $\alpha = [0, 1]$  arasında bir sabit değerdir,  $\alpha = 0$  ise, atık yoktur. Buna karşın,  $\alpha = 1$  için, tüm iadeler, atık vardır.  $\alpha = [0, 1]$  arasındaki değişken bir değer ise, tüm iadelere bulanıklık uygulamamız gerekir (Rahmatian, 2008).

$$\alpha \sum_{h \in H} X_{mhi}^{r3} \leq (\sum_{s \in S} X_{mis}^d) \quad \forall m \in M, i \in I \quad (5.9)$$

Kısıt (5.10): Demontaj merkezinden fabrikaya giden parametre ( $\beta$ ) = yüzde yüz oranından eksi bulanık olarak atık miktarı parametresi ( $\alpha$ ).

$$\beta = 1 - \alpha \quad (5.10)$$

Kısıt (5.11):

Demontaj merkezlerinden fabrikaya giden yeniden kazanım  $\leq \beta$  parametresi çarpı sınıflandırma depolarından demontaj merkezlerine giden iadeler

$$\sum_{i \in L} X_{mil}^{r4} \leq \beta \left( \sum_{h \in H} X_{mhi}^{r3} \right) \quad \forall m \in M, i \in I \quad (5.11)$$

Kısıt (5.12 - 5.14): Atık olarak toplam iadelerin artı fabrikaya giden iadelerin toplamı sınıflandırma deposundan gelen toplam iadeler ve demontaj merkezleri ile eşittir. Giden ikincil pıyasa ve giden iadelerin demontaj merkezleri gelen iadelerin miktarı sınıflandırma deposu ile eşittir. Sınıflandırma depoya gelen toplam iade miktarı az yada birincil pıyasa ile eşittir.

$$\sum_{h \in H} X_{mhi}^{r3} = \sum_{i \in L} X_{mil}^{r4} + \sum_{s \in S} X_{mis}^d \quad \forall m \in M, i \in I \quad (5.12)$$

$$\sum_{i \in I} X_{mhi}^{r3} + \sum_{n \in N} X_{mhn}^{r2} = \sum_{k \in K} X_{mkh}^{r1} \quad \forall m \in M, h \in H \quad (5.13)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{h \in H} X_{mkh}^{r1} \leq \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{mjk}^{f2} \quad \forall m \in M \quad (5.14)$$

Kısıtları (5.15 - 5.18): Fabrikadan gelen üretim miktarı az yada fabrika kapasitesi çarpı fabrika açık mı kapalı mı ile eşittir. Depodan gelen üretim miktarı az yada depo kapasitesi çarpı depo açık mı kapalı mı ile eşittir. Sınıflandırma deposundan gelen iade miktarı az yada sınıflandırma deposu kapasitesi çarpı sınıflandırma deposu açık mı kapalı

$m_i$  ile eşittir. Demontaj merkezlerinden gelen iade miktarı az yada demontaj merkezleri kapasitesi çarpı demontaj merkezleri açık mı kapalı mı ile eşittir.

$$\sum_{j \in J} X_{mlj}^{f_1} \leq g_{ml}^p Y_l^p \quad \forall m \in M, l \in L \quad (5.15)$$

$$\sum_{k \in K} X_{mjk}^{f_2} \leq g_{mj}^w Y_j^w \quad \forall m \in M, j \in J \quad (5.16)$$

$$\sum_{h \in H} X_{mkh}^{r_1} \leq g_{mh}^{ws} Y_h^{ws} \quad \forall m \in M, h \in H \quad (5.17)$$

$$\sum_{i \in I} X_{mhi}^{r_3} \leq g_{mi}^d Y_i^d \quad \forall m \in M, i \in I \quad (5.18)$$

Kısıt (5.19), kullanılmış ürünlerin yalnızca açık fabrikalara gönderilmesini sağlar.

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in I} X_{mil}^{r_4} \leq \text{Big } M Y_l^p \quad \forall l \in L \quad (5.19)$$

Kısıtları (5. 20 ve 5.21), değişkenler alanını belirler.

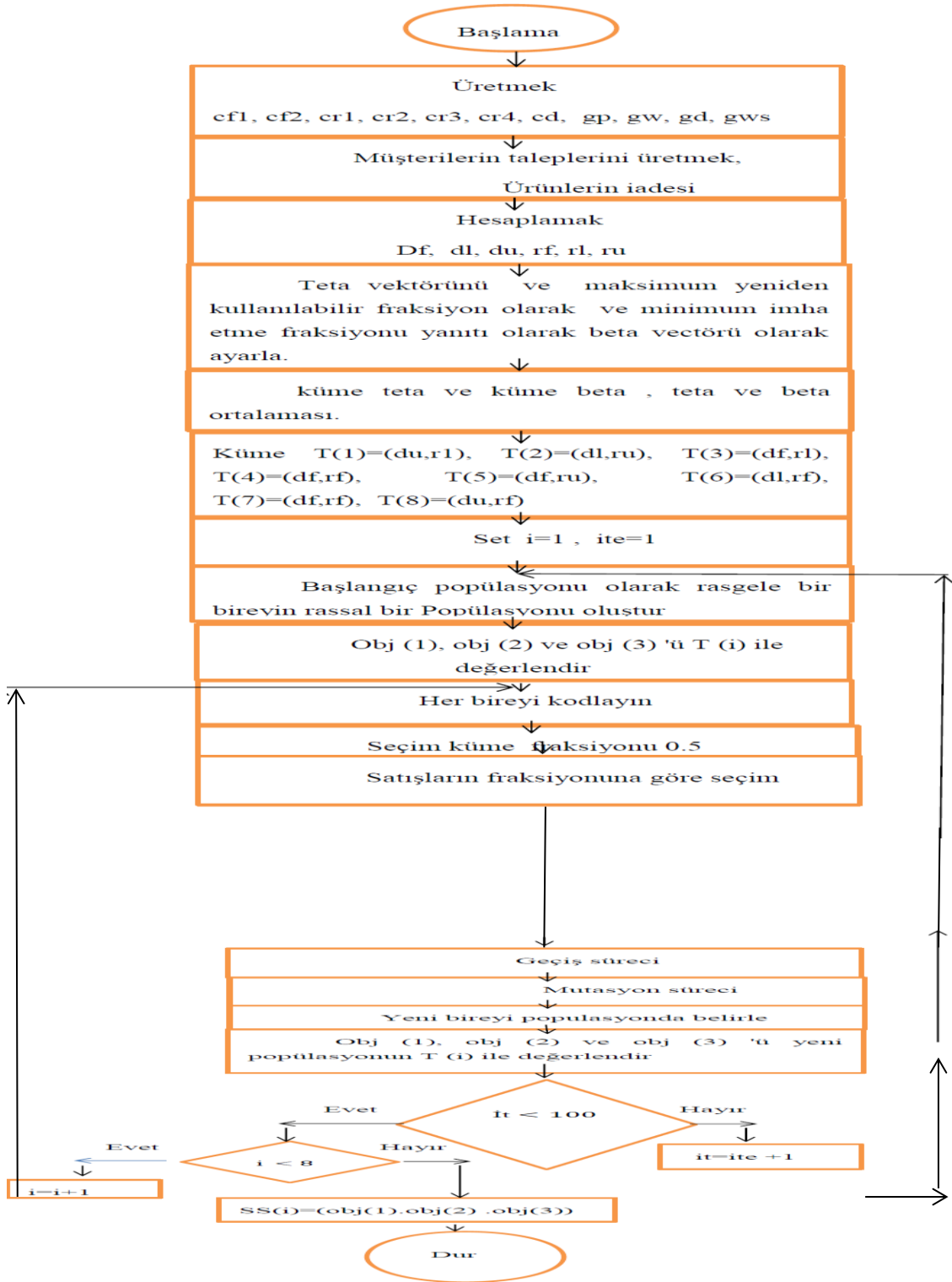


$$\forall j \in X_{mlj}^{f_1}, X_{mjk}^{f_2}, X_{mkh}^{r_1}, X_{mhn}^{r_2}, X_{mhi}^{r_3}, X_{mis}^d, X_{mil}^{r_4} \in R_0^+ \quad (5.20)$$

$$Y_{ml}^p, Y_{mj}^w, Y_{mi}^d, Y_{mh}^{ws} \in \{0,1\} \quad (5.21)$$

### 5.3. Genetik Algoritma Yöntemini Kullanarak Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon

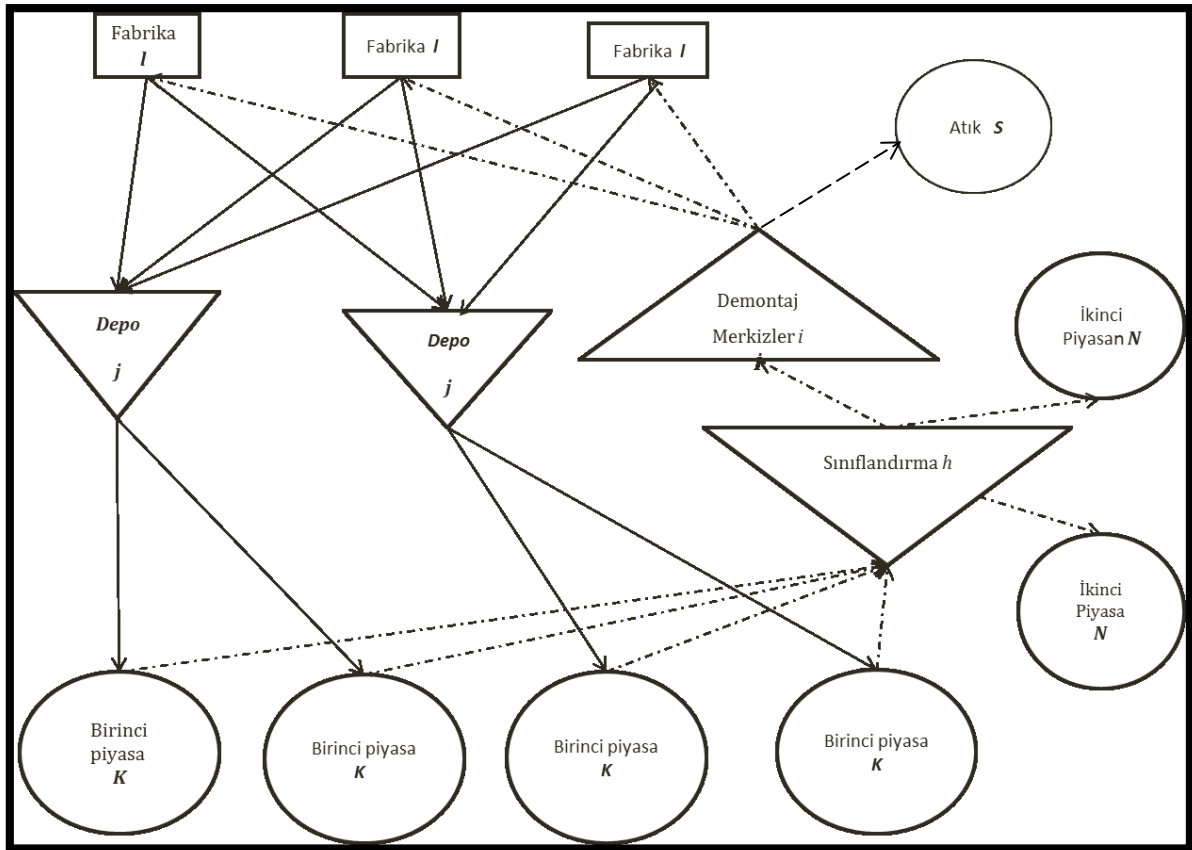
Modelin çözülebilmesi için geri dönüşüm çok amaçlı hedefleri kullanacağız. Yukarıdaki hedefler değişkin olduğu için ve bunu çözmek için bulanık küme teorisini kullanacağız. Eğer ( $\alpha$  and  $\theta$ ) parametrelerin değişken değerleri  $[0,1]$  ise o zaman bulanık. Bu çalışmada, değişkenleri MATLAB programlama ile genetik algoritma yöntemini kullanarak bulanık çok amaçlı optimizasyon problemini çözebiliriz.



Şekil 5.2. Problemin genetik algoritma ile çözümü

#### 5.4. Sayısal Örnekler ve Analiz

Bu bölümde 4. bölümde tanıtılan bulanık çok amaçlı optimizasyon modelini analiz etmek amacıyla sayısal örnekler ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında önerilen modelin analizi ve duyarlılığını ölçmek amacıyla ele alınan sayısal problemdeki veriler kurulan ifade modelin temel aldığı Rahmatian'ın (2008) çalışmaların verileri kullanmıştır. Örnek problem için şekil 5.1'de verilen ileri ve ters lojistik şebekesi ele alınmıştır. Burada ele alınan geri kazanım modeli Fleishmann'ın (2000) model yapısının daha geliştirilmiş ve ters lojistik ile bütünleştirilmiş halidir.



Şekil 5.3. Ters ve ileri lojistik şebeke ağ tasarımı

Şekil 5.3'de tanımlanan şebekeye göre yeni ürünler ileri yönlü lojistik kanalı ile, kullanılmış ürünler ise ters lojistik kanalı ile hareket etmektedir. İleri yönlü lojistik üretim yapıldığı fabrikalardan başlayıp bu ürünler bir alt seviyede depolara ve

dağıtım merkezlerine yönlendirilmektedir. Yeni ürünlerin üretildiği fabrikalar aynı zamanda geri dönen kullanılmış ürünler içinde geri kazanım merkezleri durumundadır. Burada son seviyede gösterilen müşteriler, son tüketiciler olacağı gibi, parakendeciler veya küçük, lokal satış noktaları da olabilir.

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi, müşterilerden toplanan kullanılmış ürünler farklı sebeplerle geri dönmüş ve farklı formda ürünler olabilir. Bunlar yaşam döngüsünü tamamlamış, hasarlı, üretici tarafından çeşitli sebeplerle geri çağırılan veya satılmayan ürünlerdir. Bu ürünler toplandıktan sonra ayrıştırma (demontaj) noktalarına yönlendirilerek önce incelenir sonra da ayrıştırma işlemine başlanır. Eğer geri dönen ürünler belli kriterleri sağlıyorsa veya herhangi bir geri kazanım işlemine ihtiyaç yoksa bunlar doğrudan depolara, tekrar piyasaya verilmek üzere gönderilir. Geri kala ürünler, geri kazanım işlemleri için fabrikalara yönlendirilir. Diğer taraftan geri kazanılamayacak durumda olanlar doğrudan atık noktalarına veya geri dönüşüm için ikinci el müşterilere yönlendirilir.

Bu çalışmada yukarıda açıklanan problem çok amaçlı olarak ele alınarak ileri yönlü ve ters yönlü lojistikte yer alan işlem merkezlerinin sayısını ve yerlerini belirlemeye yöneliktir. Problem, ters lojistik içerisinde önemli bir yer tutan belirsizlik durumlarını da göz önüne alarak çok amaçlı bulanık optimizasyon modeli olarak kurulmuştur. Problem için seçilen üç amaç fonksiyonu literatürde yaygın olarak ele alınan kaygıları yansıtmaktadır. Ters lojistikte bunlar, ekonomik sebepler, çevresel ve yasalara göre belirlenen mevzuat ile teknik ihtiyaçlardır.

Burada modeli çok amaçlı olarak ele almamızın temel sebebi, çok amaçlı modellerin tek amaçlı modellere karşı olan avantajlarıdır. Bunlardan ilki çok amaçlı modeller stratejik olarak karar almayı sağlar. İkinci olarak, birçok kriterin birarada ele alınmasıyla bunların sonuçlarının bir arada ölçülebilmesini sağlar. Buradaki modelde ilk ele aldığımız amaç toplam maliyetlerin en küçüklenmesidir. Bu maliyet fonksiyonu içerisindeki unsurlar şöyledir, fabrika, depo ve ayrıştırma merkezi açma için gereken toplam sabit maliyet, ileri yönlü ve ters yönlü lojistik faaliyetleri içerisinde yer alan noktalar arası ve müşteriler arası ulaştırma maliyetleri ve talebin karşılanamaması durumunda ortaya çıkan ceza maliyetleridir. İkinci amaç fonksiyonu, probleme ilişkin çevresel ve yasal yönleri hedeflemektedir. Bu hedef geri dönen ürün oranını optimize etmeye odaklanmıştır. Bu hedefin asıl etmenleri çevresel etkiler ve devletlerin koyduğu yasal zorunluluklardır. Üçüncü amaç fonksiyonu ise toplanan kullanılmış

ürünleri geri kazanım oranını optimize etmeyi hedeflemektedir. Bu hedef aslında geri dönen ürünlerden teknik olarak ve dolayısıyla ekonomik olarak maksimum faydayı elde etmeyi hedeflemektedir.

Buna göre ele alınan probleme ilişkin yukarıda bahsedilen ileri ve ters lojistik birimlerine ait olası işlem merkezi sayıları çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Sayısal problem için işlemmerkezi sayıları

<b>İşlem noktası</b>	<b>Toplam</b>
Üretim merkezi sayısı (fabrika)	2-3
Depo sayısı	13
Depolara göre belirlenen sınıflar	5-7-10
Demontaj merkezi sayısı	6-10-15
Birincil müşteri sayısı	14
İkincil müşteri sayısı	12
Ürün çeşitliliği	10
Atık alanı sayısı	12

Matematiksel modelin kurulması aşamasına ilişkin varsayımlar şöyledir:

1. Ele alınan model tek dönemlidir.
2. Dönem içerisinde oluşacak birincil müşteri taleplerinin ve kullanılmış ürünlerin geri dönü oranlarının bulanık değişken olduğu varsayılmıştır.
3. Model verilen potansiyel noktalar arasından gerekli fabrika, depo, sınıflandırma deposu ve ayrıştırma merkezi sayısını belirlemektedir.
4. Geri dönen ürünlerden geri kazanım amacı ile fabrikaya gönderilmeyecek olanlar, atık noktaları yerine geri dönüşüm yolu ile veya ikincil elde satılarak değerlendirilebilir.

5. Modelde bulunan her bir tesis, fabrika, depo, sınıflandırma deposu, ayrıştırma (demontaj) merkezinin herbir çeşit ürün için belli bir kapasitesi vardır.
6. Geri kazanılan ürünler tanım gereği yeni ürünler gibi aynı kalite özelliklerini ve fonksiyonlarını taşırlar dolayısıyla satış işlemlerinde yeni ürünlerle beraber aynı fiyat ve garanti koşullarında işlem görürler.
7. Dönem içerisinde oluşan talebi karşılamakta geri dönen ürünlerden kazanılan ürünlerin yeterli olmaması durumunda fabrikalarda yeni ürün üretmek için gerekli malzemenin her zaman bulunduğu varsayılmaktadır.
8. Müşterilerden geri dönen ürünlerin atık seviyesini en aza indirgeyecek şekilde değerlendirilmesi hedeflenmektedir.
9. Toplama ve demontaj işlemi için merkeze dönen ürünlerin geri kazanım oranları bulanık değişken olarak varsayılmıştır.

Yukarıda verilen üç amaç fonksiyonun: toplam maliyet, toplam geri dönen ürünlerin maksimizasyonu ve toplam geri kazanım oranının maksimizasyonu için kullanılan veri kümesi çizelge 5.3'de sunulmuştur.

Cizelge 5.2. Örnek problem bulanık olarak veri kümesi

Her bir fabrika için sabit maliyet	20-50
Her bir demontaj merkezi için sabit maliyet	20-50
Her bir depo için sabit maliyet	15-40
Her bir sınıflandırma merkezi için sabit maliyet	15-40
<b>Trasfer Maliyetleri/km. ve ürün</b>	
Fabrikadan depolara	20-50
Depolardan Birincil Müşterilere	20-50
Birincil Müşterden Sınıflandırma merkezine	15-40
Sınıflandırmamerkezinden İkincil Müşteriye	15-40
Sınıflandırma merkezinden Demontaj Merkezine	15-40
Demontaj Merkezinden Fabrikalara	15-40
Fabrika kapasitesi	800 – 1000
Depo kapasitesi	700 – 950
Depo sınıflandırma kapasitesi	900 – 1000
Montaj merkezi kapasitesi	900 – 1000
Sipariş miktarı	800 – 900
Geri dönüş miktarı	500 – 600
Atık oranı	Bulanık
Geri kazanılabilir ürün oranı	Bulanık
Atık ürün maliyeti	25- 50
Karşılanamayan talep için ceze maliyeti	100

Modelde tanımlanan diğer iki değişken,  $\alpha$  sınıflandırma depolarından ikincil piyasaya içim maksimum geri dönüşüm oranını,  $\alpha$  ise demontaj merkezlerinden minimum atık miktarını göstermektedir. Modelde her iki parametre bulanık değişken olarak yer almıştır. karar verici tecrübesine göre üçgen üyelik fonksiyonu kullanarak aşağıda verilmiştir.

$\alpha = [0.2000 \quad 0.3000 \quad 0.4000]$  burada bulanık mantık sürecinde arındırma (bulanığı ortadan kaldırmak için yukarıdaki üç oran karar verici tarafından toplanır ve üçe bölünerek ortalaması alınır) işlemi yapılarak tam değerdeğere (crisp) göre ( $\alpha=0.3$ ) modelde elde edilir.

$\theta = [0.6000 \quad 0.7000 \quad 0.9000]$  parametreside arındırma (defuzzification) işlemi yapılarak elde edilen tam değere (crisp) göre ( $\theta=0.7333$ ) modelde yer alır.

### 5.5. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde geri dönüş oranı, talep ve diğer sistem parametrelerinin alabileceği farklı değerlere göre 18 farklı senaryo üretilmiş ve bunlara göre modelin davranışı incelenmiştir. Daha önceki bölümde ayrıntıları verilen çok amaçlı bulanık optimizasyon modeli genetik algoritma ile çözülmüş ve amaç fonksiyonları arasındaki dengeler (trade off) özetlenmiştir. Standart sapma yöntemi kullanarak yüksek ve düşük değer (üçgen üyelik fonksyonu) ile yapılmıştır.

Her bir senaryo için D<sub>1</sub>, D<sub>m</sub>, D<sub>u</sub> sırasıyla düşük, orta ve yüksek düzeyli talebi göstermektedir. Aynı şekilde R<sub>1</sub>, R<sub>m</sub>, R<sub>u</sub> sırasıyla düşük, orta ve yüksek düzeyli kullanılmış ürünlerin geri dönüş oranını göstermektedir.

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>1</b>	1	Du- R <sub>1</sub>	2	13	5	6	4843207	0,65	43825
	1	D <sub>1</sub> - R <sub>u</sub>	2	13	5	6	4850723	0,59	43825
	1	D <sub>m</sub> - R <sub>1</sub>	2	13	5	6	4853563	0,65	43825
	1	D <sub>m</sub> - R <sub>m</sub>	2	13	5	6	4845674	0,62	43825
	1	D <sub>m</sub> - R <sub>u</sub>	2	13	5	6	4846201	0,59	43826
	1	D <sub>1</sub> - R <sub>m</sub>	2	13	5	6	4862828	0,62	43826
	1	D <sub>m</sub> - R <sub>m</sub>	2	13	5	6	4849518	0,62	43826
	1	D <sub>u</sub> - R <sub>m</sub>	2	13	5	6	4837803	0,62	43825



Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>2</b>	2	Du- Rl	2	13	5	10	4754353	0,65	43701
	2	Dl - Ru	2	13	5	10	4765578	0,58	43702
	2	Dm - Rl	2	13	5	10	4763387	0,65	43701
	2	Dm - Rm	2	13	5	10	4759244	0,62	43703
	2	Dm - Ru	2	13	5	10	4751082	0,58	43701
	2	Dl - Rm	2	13	5	10	4767070	0,62	43702
	2	Dm- Rm	2	13	5	10	4758953	0,62	43701
	2	Du - Rm	2	13	5	10	4754835	0,62	43701

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>3</b>	3	Du- Rl	2	13	5	15	4738391	0,65	43627
	3	Dl - Ru	2	13	5	15	4734320	0,58	43627
	3	Dm - Rl	2	13	5	15	4736298	0,65	43628
	3	Dm - Rm	2	13	5	15	4730724	0,61	43628
	3	Dm - Ru	2	13	5	15	4732670	0,58	43625
	3	Dl - Rm	2	13	5	15	4747928	0,61	43628
	3	Dm- Rm	2	13	5	15	4732642	0,61	43626
	3	Du - Rm	2	13	5	15	4724639	0,61	43628

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
4	4	Du- Rl	2	13	7	6	5779837	0,92	61396
	4	DI - Ru	2	13	7	6	5767337	0,82	61395
	4	Dm - Rl	2	13	7	6	5760413	0,92	61398
	4	Dm-Rm	2	13	7	6	5755611	0,87	61395
	4	Dm - Ru	2	13	7	6	5757734	0,82	61396
	4	DI - Rm	2	13	7	6	5765749	0,87	61397
	4	Dm- Rm	2	13	7	6	5751393	0,87	61396
	4	Du - Rm	2	13	7	6	5760163	0,87	61395

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
5	5	Du- Rl	2	13	7	10	5631686	0,91	61284
	5	Dl - Ru	2	13	7	10	5635404	0,82	61284
	5	Dm - Rl	2	13	7	10	5650786	0,91	61283
	5	Dm - Rm	2	13	7	10	5625988	0,86	61281
	5	Dm - Ru	2	13	7	10	5604921	0,82	61283
	5	Dl - Rm	2	13	7	10	5642939	0,86	61280
	5	Dm- Rm	2	13	7	10	5633994	0,86	61283
	5	Du - Rm	2	13	7	10	5624908	0,86	61281

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
6	6	Du- Rl	2	13	7	15	5599506	0,91	61446
	6	Dl - Ru	2	13	7	15	5583354	0,82	61447
	6	Dm - Rl	2	13	7	15	5608856	0,91	61446
	6	Dm - Rm	2	13	7	15	5585254	0,86	61443
	6	Dm - Ru	2	13	7	15	5597407	0,82	61444
	6	Dl - Rm	2	13	7	15	5600639	0,86	61446
	6	Dm- Rm	2	13	7	15	5586615	0,86	61444
	6	Du - Rm	2	13	7	15	5593717	0,86	61445

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>7</b>	7	Du- Rl	2	13	10	6	5769581	1	67198
	7	Dl - Ru	2	13	10	6	6106327	1	74032
	7	Dm - Rl	2	13	10	6	5771310	1	67198
	7	Dm - Rm	2	13	10	6	5939532	1	70614
	7	Dm - Ru	2	13	10	6	6101536	1	74034
	7	Dl - Rm	2	13	10	6	5957660	1	70615
	7	Dm- Rm	2	13	10	6	5937757	1	70615
	7	Du - Rm	2	13	10	6	5934184	1	70614

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
8	8	Du- Rl	2	13	10	10	5767975	1	66744
	8	Dl - Ru	2	13	10	10	6158327	1	74705
	8	Dm - Rl	2	13	10	10	5764691	1	66740
	8	Dm - Rm	2	13	10	10	5959469	1	70721
	8	Dm - Ru	2	13	10	10	6135356	1	74705
	8	Dl - Rm	2	13	10	10	5966771	1	70722
	8	Dm- Rm	2	13	10	10	5957976	1	70719
	8	Du - Rm	2	13	10	10	5947564	1	70725

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
9	9	Du- Rl	2	13	10	15	5785133	1	67295
	9	Dl - Ru	2	13	10	15	6140398	1	74455
	9	Dm - Rl	2	13	10	15	5781160	1	67293
	9	Dm - Rm	2	13	10	15	5949704	1	70874
	9	Dm - Ru	2	13	10	15	6118640	1	74454
	9	Dl - Rm	2	13	10	15	5963346	1	70874
	9	Dm- Rm	2	13	10	15	5959246	1	70874
	9	Du - Rm	2	13	10	15	5960616	1	70874



Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>10</b>	10	Du- Rl	2	13	5	6	4815868	0,65	43613
	10	Dl - Ru	2	13	5	6	4826467	0,58	43615
	10	Dm - Rl	2	13	5	6	4813724	0,65	43615
	10	Dm - Rm	2	13	5	6	4839043	0,61	43614
	10	Dm - Ru	2	13	5	6	4817497	0,58	43615
	10	Dl - Rm	2	13	5	6	4834464	0,61	43616
	10	Dm- Rm	2	13	5	6	4831150	0,61	43615
	10	Du - Rm	2	13	5	6	4816735	0,61	43615

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>11</b>	11	Du - Rl	2	13	5	10	4827661	0,64	43764
	11	Dl - Ru	2	13	5	10	4830489	0,58	43762
	11	Dm - Rl	2	13	5	10	4834881	0,64	43762
	11	Dm - Rm	2	13	5	10	4835840	0,61	43764
	11	Dm - Ru	2	13	5	10	4810433	0,58	43763
	11	Dl - Rm	2	13	5	10	4817355	0,61	43764
	11	Dm - Rm	2	13	5	10	4811238	0,61	43762
	11	Du - Rm	2	13	5	10	4813057	0,61	43767

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>12</b>	12	Du- Rl	3	13	5	15	4728534	0,65	43602
	12	Dl - Ru	3	13	5	15	4750750	0,58	43602
	12	Dm - Rl	3	13	5	15	4734045	0,65	43602
	12	Dm - Rm	3	13	5	15	4733183	0,61	43603
	12	Dm - Ru	3	13	5	15	4729885	0,58	43603
	12	Dl - Rm	3	13	5	15	4743110	0,61	43604
	12	Dm- Rm	3	13	5	15	4735520	0,61	43603
	12	Du - Rm	3	13	5	15	4713000	0,61	43603

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>13</b>	13	Du- Rl	3	13	7	6	5594871	0,91	61170
	13	Dl - Ru	3	13	7	6	5591084	0,82	61170
	13	Dm - Rl	3	13	7	6	5597157	0,91	61171
	13	Dm - Rm	3	13	7	6	5590434	0,86	61169
	13	Dm - Ru	3	13	7	6	5574269	0,82	61170
	13	Dl - Rm	3	13	7	6	5603055	0,86	61170
	13	Dm- Rm	3	13	7	6	5583586	0,86	61170
	13	Du - Rm	3	13	7	6	5588812	0,86	61171

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>14</b>	14	Du- Rl	3	13	7	10	5534049	0,91	61107
	14	Dl - Ru	3	13	7	10	5530630	0,824	61106
	14	Dm - Rl	3	13	7	10	5544778	0,91	61106
	14	Dm - Rm	3	13	7	10	5524649	0,86	61106
	14	Dm - Ru	3	13	7	10	5517797	0,824	61105
	14	Dl - Rm	3	13	7	10	5537091	0,86	61105
	14	Dm- Rm	3	13	7	10	5528942	0,86	61105
	14	Du - Rm	3	13	7	10	5527486	0,86	61109

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
15	15	Du- Rl	3	13	7	15	5569427	0,9	61325
	15	Dl - Ru	3	13	7	15	5552258	0,82	61327
	15	Dm - Rl	3	13	7	15	5560832	0,9	61329
	15	Dm - Rm	3	13	7	15	5556207	0,86	61324
	15	Dm - Ru	3	13	7	15	5542257	0,82	61329
	15	Dl - Rm	3	13	7	15	5549589	0,86	61326
	15	Dm- Rm	3	13	7	15	5543126	0,86	61328
	15	Du - Rm	3	13	7	15	5541579	0,86	61326

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
16	16	Du- Rl	3	13	10	6	5767751	1	66914
	16	Dl - Ru	3	13	10	6	6148294	1	74609
	16	Dm - Rl	3	13	10	6	5771643	1	66913
	16	Dm - Rm	3	13	10	6	5949258	1	70761
	16	Dm - Ru	3	13	10	6	6119635	1	74612
	16	Dl - Rm	3	13	10	6	5956764	1	70761
	16	Dm- Rm	3	13	10	6	5946345	1	70762
	16	Du - Rm	3	13	10	6	5942015	1	70763

Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
17	17	Du- Rl	3	13	10	10	5774682	1	67199
	17	Dl - Ru	3	13	10	10	6104839	1	74317
	17	Dm - Rl	3	13	10	10	5763011	1	67202
	17	Dm - Rm	3	13	10	10	5929529	1	70759
	17	Dm - Ru	3	13	10	10	6097031	1	74313
	17	Dl - Rm	3	13	10	10	5941418	1	70754
	17	Dm- Rm	3	13	10	10	5931912	1	70761
	17	Du - Rm	3	13	10	10	5926132	1	70759



Çizelge 5.3. Amaç fonksiyon değerleri (devam)

Grup	No	Durumlar	No. Fabrika	No. Depo	No. Sınıflama	No. Domentaj	Z1	Z2	Z3
<b>18</b>	18	Du - Rl	3	13	10	15	5957366	1	67204
	18	Dl - Ru	3	13	10	15	6325006	1	74573
	18	Dm - Rl	3	13	10	15	5963804	1	67202
	18	Dm - Rm	3	13	10	15	6147641	1	70889
	18	Dm - Ru	3	13	10	15	6309756	1	74574
	18	Dl - Rm	3	13	10	15	6146031	1	70888
	18	Dm- Rm	3	13	10	15	6144242	1	70887
	18	Du - Rm	3	13	10	15	6130512	1	70889

Yukarıda ele alınan 18 farklı durum için toplam 144 deney sonuçlarını incelediğimizde birinci amaç fonksiyonu için en yüksek maliyet seviyesi 6309756 olarak ortaya çıkmıştır, bu durum kullanılmış ürünlerin % 100'ünün geri toplanabildiği ve yüksek geri kazanım miktarının olduğu bir durumda ortaya çıkmıştır. Bunun sebeplerinden biri orta düzeyli talep durumunda yüksek düzeyli geri dönüş olmasıdır, bu durumda geri dönen ürünlerden bir bölümü talep fazlası sebebiyle atık merkezlerine gönderilmek zorunda kalınması sebebi ile birinci amaç fonksiyonu olan toplam maliyetin yükselmesine yol açmıştır.

Diğer taraftan birinci amaç fonksiyonu yüksek maliyet seviyesi 4713000 olarak ortaya çıkmıştır, bu durum kullanılmış ürünlerin % 61 oranında geri toplanabildiği ve düşük geri kazanım miktarının olduğu (43603) bir durumda ortaya çıkmıştır. Bunun sebeplerinden biri yüksek düzeyli talep durumunda orta düzeyli geri dönüş olmasıdır, bu durumda geri dönen ürünlerin tamamının geri kazanım işlemine tabi tutularak tekrar birincil müşterilere satılabilmesidir. Ayrıca bu durumda yüksek düzeyli talebin karşılanabilmesi için geri kazanılan ürünlerle beraber, yeni ürünlerde kullanılmaktadır.

Yukarıda verilen denemeler içinde kullanılan ürünlerin geri iade oranı ve talep arasındaki dengenin birinci amaç fonksiyonu üzerinde geri kazanım oranı ile birlikte önemli bir unsur olduğu görülmektedir. Denemelerde görülmektedir ki yüksek talep, düşük geri dönüşüm oranlarında eğer geri kaanım oranı düşük olursa birinci amaç fonksiyonu olan toplam maliyet fonksiyonunun yükselmesidir, çünkü rassal talebin büyük çoğunluğu geri kazanılan ürünler yerine yeni ürünler ile sağlanmakta, dolayısıyla maliyetler yükselmektedir. Diğer taraftan düşük talep, yüksek kullanılmış ürün geri dönüşü durumunda yüksek geri kazanım oranı ile birleştiğinde talebin tamamı geri kazanılan ürünlerle sağlanmasına rağmen, talebin yetersiz olması sebebi ile geri dönen ürünlerin bir kısmı atık merkezlerine yönlendirilmektedir.

Bu denemelerde gözlenen diğer sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

#### 1. Grup

A.Yüksek seviyeli talep ile orta seviye iadeler : iade oranı %62 bu şekilde maliyet 4837803 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 43825 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Aynı grupta düşük seviyeli talep ile orta seviye iadeler : İade oranı %62 bu şekilde maliyet 4862828 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 43826 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Yüksek seviyeli talep ile orta iade seviye yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarufu ortaya çıkmaktadır. Giden ürünler yeniden kazanımı için iki fabrika, 13 depo, 5 sınıflandırma deposu ve 6 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

## 2. Grup:

A. Orta seviyeli talep ile yüksek seviye iadeler : iade oranı %58 bu şekilde maliyet 4751082 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 43701 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Aynı grupta düşük talep ile orta seviye iadeler : İade oranı %62 bu şekilde maliyet 4767070 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 43702 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Orta seviyeli talep ile yüksek seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarufu ortaya çıkmaktadır. Giden ürünler yeniden kazanımı için iki fabrika , 13 depo , 5 sınıflandırma deposu ve 10 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

## 3. Grup:

A. Yüksek seviyeli talep ile orta seviye iadeler : İade oranı %61 bu şekilde maliyet 4724639 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 43628 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Düşük seviyeli talep ile orta seviye iadeler : İade oranı %61 bu şekilde maliyet 4747928 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 43628 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Yüksek seviyeli talep ile orta seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarufu ortaya çıkmaktadır. Giden ürünler yeniden kazanımı için iki fabrika, 13 depo , 5 sınıflandırma deposu ve 15 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

## 4. Grup:

A. Orta seviyeli talep ile orta seviye iadeler : İade oranı %87 bu şekilde maliyet 5751393 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 61396 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Yüksek seviyeli talep ile düşük seviye iadeler : İade oranı %92 bu şekilde maliyet 5779837 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 61396 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Orta seviyeli talep ile orta seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarufu

ortaya çıkmaktadır. Giden ürünler yeniden kazanımı için iki fabrika, 13 depo, 7 sınıflandırma deposu ve 6 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

#### 5. Grup

A.Yüksek seviyeli talep ile düşük seviye iadeler : iade oranı %91 bu şekilde maliyet 5631686 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 61284 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Düşük seviyeli talep ile orta seviye iadeler : iade oranı %100 bu şekilde maliyet 5642939 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 61280 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Yüksek seviyeli talep ile düşük seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarrufu. Giden ürünler yeniden kazanımı için iki fabrika , 13 depo , 7 sınıflandırma deposu ve 10 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

#### 6. Grup

A. Düşük seviyeli talep ile yüksek seviye iadeler : iade oranı %82 bu şekilde maliyet 5583354 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 61447 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Orta seviyeli talep ile orta seviye iadeler : iade oranı %86 bu şekilde maliyet 5585254 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 61443 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Düşük seviyeli talep ile yüksek seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarrufu. Giden ürünler yeniden kazanımı için iki fabrika , 13 depo , 7 sınıflandırma deposu ve 15 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

#### 7. Grup

A.Yüksek seviyeli talep ile düşük seviye iadeler : iade oranı %100 bu şekilde maliyet 5769581 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 67198 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Yüksek seviyeli talep ile orta seviye iadeler : iade oranı %100 bu şekilde maliyet 5934184 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 70614 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Yüksek seviyeli talep ile düşük seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarrufu. Giden ürünler yeniden kazanımı için iki fabrika , 13 depo , 10 sınıflandırma deposu ve 6 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

#### 8. Grup

A.Orta seviyeli talep ile yüksek seviye iadeler: iade oranı %100 bu şekilde maliyet 6135356 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 74705 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Orta seviyeli talep ile düşük seviye iadeler : iade oranı %100 bu şekilde maliyet 7564691 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 66740 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Orta seviyeli talep ile düşük seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarrufu. Giden ürünler yeniden kazanımı için iki fabrika , 13 depo , 10 sınıflandırma deposu ve 10 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

#### 17. Grup

A. Düşük seviyeli talep ile yüksek seviye iadeler : iade oranı %100 bu şekilde maliyet 6104839 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 74317 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Yüksek seviyeli talep ile düşük seviye iadeler : iade oranı %100 bu şekilde maliyet 5774682 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 67199 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Yüksek seviyeli talep ile orta seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarrufu. Giden ürünler yeniden kazanımı için 3 fabrika , 13 depo , 10 sınıflandırma deposu ve 10 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

## 18. Grup

A. Orta seviyeli talep ile düşük seviye iadeler : iade oranı %100 bu şekilde maliyet 5963804 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 67202 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

B. Orta seviyeli talep ile yüksek seviye iadeler : iade oranı %100 bu şekilde maliyet 6309756 olmaktadır. İadelerden maksimum yeniden kazanım 74574 elde edilir. Bu miktar yeniden üretimi için fabrikaya gönderilir.

Orta seviyeli talep ile düşük seviye iade yukarıda olduğu gibi bu durum daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu durumda yukarıda açıklandığı gibi az maliyet tasarrufu. Giden ürünler yeniden kazanımı için 3 fabrika , 13 depo , 10 sınıflandırma deposu ve 15 demontaj merkezi daha uygun olmaktadır.

Yukarıda verilen sonuçlara bakılarak, deneme sonuçları ayrıntılı olarak incelendiğinde genel olarak şu sonuçlara ulaşılabilir. Geri kazanım oranı arttıkça normal koşullarda, talep düzeyi ve geri dönüşüm oranı dengesi korunduğu sürece, toplam maliyet fonksiyonunun düştüğü görülmekte iken talep düzeyi ve geri dönüş oranı arasındaki fark geri kazanım oranının etkisi ile açıldığında toplam maliyet artmaktadır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Tartışma ve Sonuç

Son yıllarda, yeniden üretim artan sayıda firma tarafından uygulanmakta olup yeniden üretim sistemleri'nin geleneksel üretim sistemlerine göre daha fazla belirsizlik içermesi bu alanda etkin ürün geri kazanım şebekesi tasarımını oldukça zorlaştırmaktadır. Yeniden üretim, kullanılmış, yıpranmış ürünlerin endüstriyel işlemler sonucunda "yeni ürün" durumuna getirilmesidir. Böylece, yeniden üretim kullanılmış parçalar ile yeni ürün kalite standartlarını ve güvencesini sağlamaktadır. Yeniden üretim atık miktarını azaltmak için kullanılan doğrudan ve karlı bir yöntem olduğu kadar, doğal kaynakların tüketimini de azaltmaktadır.

Yeniden üretim firmalarının karşılaştıkları zorluklar daha çok tedarik yönünden olmaktadır. Buradaki zorluk sisteme dönen ürünlerdeki zamanlama ve miktar belirsizliği olduğu kadar dönen ürünlerin kalitesi ve buna bağlı olarak geri kazanımındaki yüksek değişkenlik oranı, sistemdeki parça akışını ve kontrolünü güçleştirmektedir. Sisteme dönen ürünlerin çeşitleri ve özellikleri şu şekilde özetlenebilir: Üreticiler, yasa veya kontrat sonucu, kira veya lease dönemi sonunda, teknik hata sonucu ürünleri son kullanıcıdan geri almaları gerekebilir. Her ne kadar bu üç esas geri dönüş durumu kullanılmış ürünlerin geri dönüş zaman ve miktarı için yaklaşık bir bilgi versede ürünlerdeki belirli modüllerin ve parçaların geri kazanılabilirlik oranının değişkenliği belirgin özellik olarak yeniden üretim işlemleri sürecinde ortaya çıkmaktadır. Bunların sonuçları da tedarik zamanında yapılamaması veya envantere birikme, uygun olmayan yeniden üretim planlaması gibi görülmektedir.

Bu tez Rahmatian'ın (2008) çalışmasında yararlandığı yeniden üretim şebekesi modelini temel almıştır. Yazar çalışmasında çok amaçlı karışık tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Çalışmada ele alınan amaçlar: toplam maliyetin en küçüklenmesiyle beraber geri dönen ürün oranı ve ürün geri kazanımı oranını maksimize etmektir. Daha önceki çalışmalarda Fleischman vd., (2001) ve Salema vd., (2007) ters lojistik ve geri kazanım modeli tasarlarken tam sayılı programlama

modeli önermişlerdir. Çalışmamızda ise geliştirilen çok amaçlı bulanık programlama modeli geri kazanım ve ters lojistik modellerinde sisteme geri dönen ürünlerin durumlarına ve zamanlamasına bağlı olarak ortaya çıkan belirsizliklerin modele dahil edilmesini amaçlamaktadır. Ele alınan problem, çok seviyeli depo lokasyonu ve atama (allocation) modeli olarak eş zamanlı üretim, geri kazanım, ileri yönlü akış (forward logistics) ve kullanılmış ürünlerin toplanmasının koordine edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda model, demontaj merkezlerinin seçimi ve atanması ile ters yönlü akış (reverse logistics) kararlarına imkan vermektedir.

Bu çalışmada ele alınan şebeke ileri yönlü ve ters yönlü tedarik zincirini kapsamaktadır. İleri yönlü tedarik zincirinde yeni üretilen ürünler veya geri kazanılan ürünler depo ve dağıtım merkezlerine gönderilmektedir. Diğer taraftan müşteriye satılır birincil müşterilerden geri dönen ürünlerin sınıflandırılması yapılar satılmamış kullanılabilir ürünler uygun fiyat ile ikincil müşteriye satılır. Bunun dışında daha ileri işlem görmesi gereken ürünler geri kazanım tesislerine yönlendirilmekte veya ihtiyaç fazlası veya geri kazanılamayaca durumda olan ürünler atık bölgelerine yönlendirilir.

Bu çalışmada ele geliştirilen bulanık çok amaçlı optimizasyon modeli, problemin doğasına göre ve farklı uygulamalar için yeni kısıtlar eklenmesine izin vermektedir. Modelde talep oranı geri kazanım oranı ve ürün geri dönüş oranı bulanık değişken olarak modellenmiştir. Diğer taraftan ele alınan modelle ilgili maliyetler sabit olarak varsayılmıştır. Literatürdeki geri kazanım çalışmalarında da varsayıldığı şekilde geri kazanılan ürünlerin yeni ürün ile aynı kalite ve güvence özelliklerini taşıdıkları varsayılmıştır. Dolayısıyla her iki kategorideki üründe birbirlerinin yerine kullanılabilir nitelikte olup fiyat farkı bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasının ters lojistik modellemesi alanında yaptığı temel katkılar şöyledir. İlk olarak geliştirilen bulanık çok amaçlı ters lojistik modeli çok ürünlü bir model olması sebebi ile özel bir ürün için sınırlı olmayıp genel bir modeldir. İkinci olarak geliştirilen model ileri yönlü lojistik ve ters yönlü lojistik şebekesinin bir arada koordinasyonunu ele alması sebebi ile farklı geri dönüş oranı ve farklı geri kazanım oranlarına göre ortaya çıkan stokastik talep yeni ürünlerle karşılanabilmektedir. Bu özellik uygulamada modele daha çok esneklik katmaktadır. Bu durum geri dönen ürünlerin ve yeni ürünlerin yaşam ömürlerinin farklı dönemlerine göre farklı stratejiler ve farklı maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Farklı geri dönüş, geri kazanım oranları ve farklı talep düzeyleri için bu durum farklı seviyelerde test edilmiş ve sonuçları analiz



edilmiştir. Üçüncü olarak model içersinde geri dönüşüm oranı, geri kazanım oranı ve talep miktarı bulanık değişken olarak modele katılarak ters lojistiğin doğasında olan belirsizliklerin daha gerçekçi olarak modele katılması hedeflenmiştir. Son olarak, modelde geri depo ve geri kazanım tesisleri için belli bir kapasite olduğu varsayımı ile modelin daha gerçekçi olması amaçlanmıştır.

## 6.2. İleride Yapılabilecek Çalışmalar

Bu tezde sunulan çok amaçlı bulanık optimizasyon modelinin geliştirilebilmesi için potansiyel alanlar şöyle özetlenebilir:

- Modelde depolar ve ayrıştırma (demontaj) noktaları arasına eklenebilecek ilave bir birimle geri kazanım oranı belirli bir sınıırın üzerinde olan ürünlerin geri kazanım tesisine aktarılmadan ikincil piyasada değerlendirilmesi düşünülebilir.
- Modelde yer alan üç hedef dışında dördüncü bir hedef olarak ikincil el piyasa karının optimize edilmesi eklenebilir.
- Problemin çok dönemli olarak ele alınması ile modelin uzun dönemli davranışı ve şebeke tasarımı üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Modelin mevcut halinde bulunan geri dönüşüm oranı, geri kazanım oranı ve talep düzeyi belirsizliklerine ek olarak geri kazanım işlemleri ile ilgili diğer belirsizliklerin modele katılması sağlanabilir.
- Modeldeki toplama merkezi sayısı, depo sayısı ve geri kazanım tesisi sayısının artmasına bağlı olarak artan hesaplama zorluğu problemi sezgisel yöntemler geliştirilerek azaltılabilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahmed, M.A., Saadany, E., Jaber, M. Y., 2010, A production/remanufacturing inventory model with price and quality dependant return rate , Computers & Industrial Engineering 58.
- Aksoy, Y., Özkan, E.M., Karanfil, S., 2003, Bulanık Mantığa Giriş, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 4, İstanbul.
- Akyildirim, Ö., Abdildaev, M., 2016, Türkiye’de Ters Lojistik uygulamaları üzerine karşılaştırmalı bir sınıflandırma çalışması, Ege AcademicReview, 16 (2), 257-272.
- Alamassi, M.F.N., 2014, Reverse Logistics Network Design with Uncertainty, Yıldız Technical Universtity, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, İstanbul.
- Ali, Z, 2011, Bulanık Mantık Grup Asansör Kontrol Sisteminin Tasarımı ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya.
- Alshamsi, A., Diabat, A., 2015, A reverse logistics network design, Journal of Manufacturing Systems, 37 589–598.
- Alumur, S., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., Verter, V., 2012, “Multi-Period Reverse Logistics Network Design”, European Journal of Operational Research, 220 (1), 67-78.
- Ammons, Jane, C., Matheww, J., Realff., Newton, D., 1999, “Reverse Production System Design and Operation for Carpet Recycling”, Submitted for Publication consideration to the European Journal of Operational Research, 38 (3), ss.547-567.
- Antonelli, M., Bernardo, D., Hagraş, H., 2016, Multi-Objective Evolutionary Optimization of Type-2 Fuzzy Rule-based Systems for Financial Data Classification, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Citation information, DOI 10.1109/TFUZZ, .2578341.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ayvaz, B., Kaçtıoğlu, S., Varol, K., 2013, Belirsizlikler Altında Ters Lojistik Ağı Tasarımı, Literatür Araştırması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 24(12),1-15.
- Baki, B., 2002, Üretim ve Lojistiğin Benzerlikleri ve Farklılıkları. 3D Lojistik Dergisi, İstanbul.
- Barough, H., 2011, A Multi-Objective Goal Programming Approach to a Fuzzy Transportation Problem, The Case of a General Contractor Company , The Journal of Mathematics and Computer Science, 2(1) 9-19.
- Baysal C., 2011, Evrimsel Hesaplama Tekniği Kullanılarak Otomatik Sınav Programı Oluřturma, Yüksek lisans tezi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale.
- Beasley, D., Bull, D.R., And Martin, R.R, 1993, “An Overview of Genetic Algorithms: Part 1”, Fundamentals. University Computing, 15 (2), pp. 58–69.
- Behret, H., Kahraman, C., 2011, A Fuzzy Optimization Model for Single-Period Inventory Problem , Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, 11 (2), 6 - 8, London, U.K.
- Bellman, R., Zadeh, L.A., Decision making in a fuzzy environment, Management Science 17.
- Bhattacharyya, R, Samarjit, K., 2011, Multi-objective fuzzy optimization for portfolio selection: an embedding theorem approach, Turkish Journal of Fuzzy Systems (eISSN: 1309–1190) An Official Journal of Turkish Fuzzy Systems Association Vol.2, No.1, pp. 14-35, 2011.
- Biethahn, J., Nissen, V., 1995. An introduction to evolutionary algorithms, in Evolutionary Algorithms in Management Applications, Eds. Biethahn, J. and Nissen, V., Springer-Verlag, Heidelberg, pp.3-39.
- Birdoğan, B., 2003, “Ters Lojistik Zorunluluk mu? Kazanç mı?” Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 4(1), ss. 18-38.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Blackburn, J. D., Guide, V.D.R., Souza, G. C., Van Wassenhove, L. N., 2004, "Reverse Supply Chains for Commercial Returns", *California Management Review*, 46(2), 6-22.
- Bojadziev, G., Bojadziev, M., 1998, *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*, World Scientific, London.
- Brito, M.P., Flapper, S.D.P., Dekker, R., 2002, "Reverse logistics, a review of case studies", *Econometric Institute report EI 21*.
- Bulut , E., Deran, A., 2008, "Ters Lojistik ve Şirketlerin Maliyet Yönetimi Üzerine Etkileri", *Ekonomik Yaklaşım*, Cilt,19, Özel Sayı, ss. 325- 344.
- Chen, S-J. , Hwang, C-L. 1992, *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Ciddi, K., Erol, S., 2014, *Ürün Geri Kazanımı için Lojistik Şebeke Tasarımı , Kantitatif Modellerin Taraması ve Potansiyel Araştırma Fırsatları*, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 25( 3-4), 33-50.
- Çetin, M.N., 2008, *Bulanık Çok Amaçlı Lineer Kesirli Taşıma Problemine Çözüm Önerisi*, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Çetin, N., Tiryaki, F., 2009, *Parçalı Lineer Üyelik Fonksiyonlarını Kullanarak Çok Amaçlı Lineer Kesirli Taşıma Problem (ÇALKTP) Çözümüne Bulanık Programlama Yaklaşımı*. *Journal of Naval Science and Engineering*, 5(2), 55-74.
- Çetin, Ö., 2013, *Ters Lojistik Açısından Katı Atık Yönetiminin İncelenmesi ve Kazanç En çoklanması Üzerine Bir Uygulama*. Yüksek lisans tezi, İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, İstanbul.
- Çevik, O., Yıldırım, Y., 2010, *Bulanık doğrusal programlama ile süt ürünleri işletmesinde bir uygulama*. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*,12 (18), 15-26.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çitli, N., 2006, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Çunkaş, M., 2006, Genetik Algoritmalar ve Uygulamaları, Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi.
- Daaboul, J., Le Duigou, J., Penciu, D., Eynard, B.,2016, An integrated closed-loop product life cycle management approach for reverse logistics design, *Production Planning & Control*, 27 (13), 1062–1077.
- Deb, K., 2001, Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. John Wiley and Sons, Chichester, pp:518,UK.
- Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Wassenhove, L.N.V., (2004), *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chain*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Demir, H, Zeyveli., M. 2014, Genetik Algoritma Kullanılarak DA Motorlarda Akım Optimizasyonu, Karabük – TURKEY.
- Demirel, N., Gökçen, H., 2008, Geri Kazanımlı İmalat Sistemleri İçin Lojistik Ağ Tasarımı, Literatür Araştırması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. , 23 (4), 903-912.
- Demirsoy, A., 1998, Kalıtım ve Evrim, Meteksan Yayınları, No:14, 902s. Ankara.
- Deniş, Ö., 2012, Ters Lojistik Ve Denizli İlinde Ömrünü Tamamlamış Lastik Geri Kazanımı için Ters Lojistik Ağ Modelinin Tamsayı Programlamayla Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Dey, S., Roy, T.K., 2015, Multi-objective Structural Optimization Using Fuzzy and Intuitionistic Fuzzy Optimization Technique, *I.J., Intelligent Systems and Applications*, 05.08.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Diabat, A., Kannan, D., Kaliyan, M., Svetinovic, D., 2013, An optimization model for product return using genetic algorithms and artificial immune system, *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 156-169.
- Dianati, M., Song, I., Treiber, M., 2003. An introduction to genetic algorithms and evolution strategies.
- Doğan, Ö., Kırdı, K., 2014, Eysel İlaç Atıklarının Toplanmasında Ters Lojistik Üzerine Ağı Bir Uygulama, *Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 6 (1), 1308- 9161.
- Dowlatshahi, S., 2000, Developing A Theory of Reverse Logistics. *Interfaces*, 30 (3), 143-155.
- Dowlatshahi, S., 2005, A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics. *International Journal of Production Research*, 43 (16), 3455-3480.
- Ehrgott, M., Gandibliux, X., 2003, *Multiple Criteria Optimization, State of The Art Annotated Bibliographic Surveys*, Kluwer Academic Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
- Eker, Ö., 2006, Lojistik Yönetimi ve Tedarik Lojistiği Sürecinde Performansın Arttırılması. İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsün İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Emel, G., Taşkın, Ç., 2002, *Genetik Algoritalar ve Uygulamalar*, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1, s. 129-152.
- Erik, S.D., Dunback, O., 2013, Reverse logistics challenges in remanufacturing of automotive mechatronic devices, *Sundin and Dunbäck Journal of Remanufacturing*.
- Ertuğrul, İ., Güneş, M., 2007, Fuzzy goal programming and an application of production process. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ASC 41*, 649-659.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruward, M., Dekker, R., Laan, E., Nunen, A.E.E., Wassenhove, L.N., 1997, Quantitative Models for Reverse Logistics, A Review. European Journal of Operational Research, 103, 1-17.
- Fleischmann, M., Nunen, J.A.E.E., Grave, B., 2002, "Integrating Closed-Loop Supply Chains and Spare Parts Management at IBM", ERIM Report Series Reference No, ERS-2002-107-LIS.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruward, J.M., van Wassen hove, L.N., 2001 , "The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design", Production and Operations Management, 10 (2), 156.
- Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, S.D.P., 2000, A characterisation of logistics networks for product recovery. Omega, 28, 653-666.
- Fleischmann, M., 2001, "Reverse Logistics Network Structures And Design", ERIM Report Series Research in Management. Rotterdam, Erasmus Research Institute of Management (ERIM).
- Garg, H., Sharma, S., 2013, Fuzzy Multi-objective Optimization of a Synthesis Unit Utilizing Uncertain Data, Journal of Uncertain Systems 7(1), pp.13-21.
- Gaurang, S., Patel, 2006, "A Stochastic Production Cost Model For Remanufacturing Systems", the doctor of philosophy thesis, UMI Number, 1456981.
- Genel, H., 2004, Genetik Algoritmalarla Portföy Optimizasyonu, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Ankara.
- Ghoreishi, N., Jakiela, M.J., Nekouzadeh, A., 2011, A cost model for optimizing the take back phase of used product recovery, Ghoreishi et al. Journal of Remanufacturing .
- Glock, C.H., Schwind, K., Jaber, M.Y., 2012, An EOQ model with fuzzy demand and learning in Fuzziness, Int. J. Services and Operations Management, Vol. 12, No. 1, 2012.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Goldberg D.E. 1989, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, USA.
- Grubbstro, M.R.W., Tang, O., 2006, Optimal production opportunities in a remanufacturing system , International Journal of Production Research, Vol. 44.
- Güngör, A., Gupta, S.M., 1998, “Issues in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery, A Survey”. Computers and Industrial Engineering 39, pp. 911-853.
- Hannan, E.L., 1981, “Linear programming with multiple fuzzy goals”, Fuzzy Sets and Systems, 6, 235-248.
- Heine, H., (1993), “Reducing Waste Through Reverse Logistics”, Foundry Management & Technology, ss.28-29,
- Hillegersberg, J.V., Zuidwijk, R., Nunen, J., Eijk, D.V., 2001, Supporting return flows in the supply chain, communications of ACM,44(6).pp 74-79.
- Ho., Y.Y., 2002, Recycling as a Sustainable Waste Management Strategy for Singapore, An Investigation to Find Ways to Promote Singaporean’s Household Waste Recycling Behaviour, Lund University.
- Jang, J.S.R., 1997, Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach To Learning and Machine Intelligence, Chapter 7: Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, USA, s. 173-196.
- Johnson, M.R., Wang, M. H., 1995, Planning Product Disassembly For Material Recovery Opportunities, International Journal of Production Research.
- Johnson, R.C., El, 2016, Logistics Management, New trends in the Reverse Logistics, Journal of Physics, Conference Series, 710– 012018.



### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kara, S., 2008, Ters Lojistik Sistemlerinin Stokastik Modellereme ile Tasarımı ve Kağıt Sektöründeki Uygulaması . FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Karacan, S., Kaya, M., 2011, Lojistik Faaliyetlerde Maliyetleme. Kocaeli, Umuttepe Yayınları.
- Karaçay, G., 2005, Ters Lojistik, Kavram ve İşleyiş”, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14 (1), ss.317-331.
- Karagöz, İ.B., 2007, E-Lojistik Uygulayan İşletmelerin İncelenmesi. Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Logistics Practices. Journal of Business Logistics, vol. 22, no.2, 129-147.
- Karakaşoğlu, N., 2008, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemler Ve Uygulama. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, işletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Denizli.
- Keleşoğlu, Ö., 2002 ,“Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Optimizasyonu”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Keleşoğlu, Ö., 2006, The Solution of Multi-Objective Fuzzy Optimization Problems using Genetic Algorithm, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, *Fırat Üniversitesi*.
- Keleşoğlu, Ö., 2007, Fuzzy multi objective optimization of truss-structures using genetic algorithm, Advances in Engineering Software 38 , 717–721.
- Keleşoğlu, Ö., Ülker, M., 2003, “Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Tekniği ile Düzlem Kafes Sistemlerin Boyutlandırılması”, Politeknik Dergisi, Cilt 6(2), 505-511.
- Khajavi, L.T., Seyed-Hosseini, S.M., Makui, A., 2011, An integrated forward/reverse logistics network optimization model for multi-stage capacitated supply chain, Business, 3, 229-235.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kırda, K., 2013, Evsel İlaç Atıklarının Toplanması Projesindeki Ters Lojistik Sürecinin Modellenmesi için Genetik Algoritmaların Kullanılması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kodali, Chandra, 2001, Use AHP to justify the application of TPM in Indian industries.
- Körez, M.T., 2005, Sıralı Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinde GA Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Krikke, H., 1998, “Recovery Strategies and Reverse Logistics Network Design”, Institute for Business Engineering and Technology Application, PhD Thesis.
- Krikke, H.R., Bloemhof-Ruwaard, J., Van Wassenhove, L., 2003, Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. International Journal of Production Research, 41, 3689-719.
- Krikke, H.R., Van Harten, A., Schuur, P.C., 1999, Business case for reverse logistic network re-design for copiers. OR Spektrum, 21, 381-409.
- Kumar, S., Malegeant, P., 2006, “Strategic alliance in a closed-loop supply chain, a case of manufacturer and non-profit organization”, Technovation, 26(10), ss.1127-1135.
- Langevin, A., Riopel, D., 2005, “Logistics Systems, Design And Optimization” New York, Springer.
- Lankhorst, M.M., 2003, “Genetic algorithms in data analysis”, Online Resource: <http://www.ub.rug.nl/eldoc/dis/science/m.m.lankhorst>.
- Leberling, H., 1981, “On finding compromise solutions in multicriteria problems using the fuzzy min-operator”, Fuzzy Sets and Systems, 6,105-118.

### **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Leuschner, W.A., 1990, Forest Regulation, Harvest Scheduling, and Planning Techniques. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Li, R.J., Lee, E. S., 1991, "An exponential membership function for fuzzy multiple objective linear programming", Computers Math. Applic, 22 (12),55-60.
- Lin F.T., Yao, J.S., 2002, "Applying Genetic Algorithm to Solve the Fuzzy Optimal Profit Problem", J. of Information Science and Engineering, Vol. 18, pp. 563-580.
- Lourenço, H.R., Soto, J.P., 2002, Reverse Logistics Models and Applications, A Recoverable Production Planning Model. Document de Treball, working paper 3, Grup Recerca en Logistic a Empresarial.
- Lummus, R., Vokurka, R., 1999, Defining Supply Chain Management, A Historical Perspective and Practical Guidelines. Industrial Management and Data Systems, 99 (1), 11-17.
- Marian, B., Rudzi, F., 2016, A multi-objective genetic optimization for v<sub>fast</sub>, fuzzyrule-based credit classification with balanced accuracy and interpretability, Applied Soft Computing 40 (2016) 206–220.
- Massa, F., Lallemand, B., Tison T., 2009, Fuzzy multi objective optimization of mechanical structures. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 198(5-8), (2009), pp. 631-643.
- Melissen, F.W., Ron, A.J, 1999, "Definitions in Recovery Practices", Int Journ on Env Conc Des and Man, 8 (2).
- Mete, M., 2007, Bakım Yönetiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Mitra, S., 2005, Revenue management for remanufactured products, Elsevier Ltd. All rights reserved .
- Mondal, S., Maiti, M., 2002, "Multi-Item Fuzzy EOQ Models Using Genetic Algorithm", Computers & Industrial Engineering, Vol. 44, pp. 102-117.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nabae, S., 2014, Reverse Logistics Network Design Centralized Return Center, Published by ProQuest LLC (2014), United States ,Network re-design for copiers. OR Spektrum, 21, 381-409.
- Nabiyev, V.V., 2003, Yapay Zeka - Problemler - Yöntemler - Algoritmalar, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Nakıpoğlu, G., 2007, Ters Lojistik, Önemi Ve Dünyadaki Uygulamaları, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 9 / 2, 181 – 196.
- Nureize, A.N., Watada, J., 2011, Building Fuzzy Goal Programming with Fuzzy Random Linear Programming for Multi-level Multi-Objective Problem International Journal on New Computer Architectures and Their Applications (IJNCAA) 1(4), 911-925.
- Nykowski, I., Zolkiewski, Z., 1985, “A compromise procedure for the multiple objective linear fractional programming problem”, European Journal of Operational Research, 19, 91-97.
- Ondemir, O., Surendra, M., Gupta, 2012, A Multi-Criteria Product Recovery Model With Intelligent Products Under Uncertainty, Corresponding Author. Laboratory for Responsible Manufacturing (LRM), Department of MIE, North eastern University, 360 Huntington Avenue, Boston, MA, 02115 USA.
- Oruç, O.K., 2008, Veri Zarflama Analizi İle Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri Ve Üniversitede Bir Uygulama. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı , Isparta.
- Öğütlü, S.A., 2002, Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Yem Karışım Problemine Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi.
- Öz, T., 2007, Reverse Logistics And Applications In The Defense Industry, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Özkan, M.M., 2003, Bulanık Hedef Programlama, Ekin Kitabevi, İstanbul.

### **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Öztürk, A., 2001, Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.
- Öztürk, B., Başkaya, Z., 2012, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Bir Ekmek Fabrikasında Un Tedarikçisinin Seçimi, Business and Economics Research Journal , 3 (1), 2012, pp. 131-159.
- Parkinson, H.J., Thompson, G., 2003, “Analysis and Taxonomy of Remanufacturing Industry Practice”. Proc. Instn. Mec. Engrs., Journal of Process Mechanical Engineering, Vol. 217, Part E, 243-256.
- Pati, R.K., Vrat, P., Kumar, P., 2008, A goal programming model for paper recycling system. Omega, 36, 405-417.
- Pierre, D.A., 1992, “Optimization,” in McGraw-Hill Encyclopedia of ScienceandTechnology 12, New York: McGraw-Hill, pp.476-482 .
- Pochampally, K. K., Nukala, S., Gupta, S. M., 2009, “Strategic Planning Models For Reverse And Closed-Loop Supply Chains”, New York, Taylor & Francis Group.
- Pohlen, T.L., Farris, M., 1992, “Reverse Logistics in plastic recycling”, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 22 (7), 35-47.
- Rahmatian, M., 2008, Multi-objective Reverse Logistics Network Design and Analysis, Published by ProQuest LLC (2008), United States .
- Ramezani, M., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., 2013, A new multi-objective stochastic design with responsiveness and quality level, Applied Mathematical Modeling, 37, 328-344.
- Rao, S.S., Sundararaju, K., Prakash, B.G., Balakrishna, C., 1992, “Multiobjective Fuzzy Optimization Techniques for Engineering Design”, Computers & Structures, Vol. 42, No.1, pp. 37-44.
- Ratliff, H.D., Nulty, W.G., 1996, Logistics Composite Modeling. The Planning and Scheduling of Production Systems. (ss.10-53). ABD, Institute at Georgia Tech.

### **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Rengel, P., Seyd, C., 2002, Completing The Supply Chain Model. School of Business, Stockholm University Course Paper. Return Flows in the Supply Chain. Communications of the ACM, June, vol. 44, no. 6, 74-79.
- Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R., 1998, Going Backwards, Reverse Logistics Trends and Practices, University of Nevada, Reno Center for Logistics Management.
- Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R., 1999, An Examination of Reverse.
- Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R., 2001, An Examination of Reverse.
- Sabarido, R., Ruiz, B.N., Bermudez, J.D., vercher, E., Luque, M., 2016, Evolutionary multi-objective optimization algorithms for fuzzy portfolio selection, Applied Soft Computing 39 (2016) 48–63.
- Sakawa, M., 1993, Fuzzy Sets and Interactive Multi objective Optimization, Plenum Press, Newyork.
- Sakawa, M., 2001, “Genetic Algorithms and Fuzzy Multiobjective Optimization”, Kluwer Academic Publisher, Boston.
- Sakawa, M., Inuiguchi, M., Sunada, H., Sawada, K., 1994, “Fuzzy Multiobjective Combinatorial Optimization Using Improved Genetic Algorithms”, J. of the Japan Fuzzy Society, Vol.6, No. 1, pp. 177-185.
- Sakawa, M., Kato, K., Sunada, H., Sonoda, Y., 1995, “Interactive Fuzzy Satisfaction Method by Improved Genetic Algorithms for Multiobjective 0-1 Programming Problems”, J. of the Japan Fuzzy Society, Vol. 7, No. 2, pp. 361-370 .
- Sasaki, M., Gen, M., 2003, “Fuzzy Multiple Objective Optimal System Design by Hybrid Genetic Algorithm”, Applied Soft Computing, Vol. 2/3F, pp. 189-196.

### **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Shih, C.J., Chang, C.J., 1995, “Pareto Optimization of Alternative Global Criterion Method for Fuzzy Structural Design”, *Computers & Structures*, Vol. 54, No. 3, pp. 455-460.
- Shuang L., Xuguang Y., Xiaoxiao, J., Feng, J., Yingguan, W., 2016, Multi objective Optimization for Multi period Reverse Logistics Network Design, *IEEE Transaction on Engineering Management*, Vol. 63, NO. 2.
- Skjott-Larsen, T., Schary, P.B., Mikkola, J.H., Kotzab, H., 2007, “Managing the Global Supply Chain”, (3rd ed.). Copenhagen, Copenhagen Business School Press.
- Stancu-Minasian, I.M., 1983, “A second bibliography of fractional programming, 1977-1981”, *Pure and Applied Matematika Sciences* 17 1-2 , 87-102.
- Steuer, R.E. ,1986, *Multiple Criteria Optimization, Theory, Computation, and Application*, Newyork, John Wiley and Sons.Inc.
- Stock, J.R., 2001, The 7 Deadly Sins Of Reverse Logistics, *Material Handling Management*, 56, 3, *Abi/Inform Global*, MH, 5- 11.
- Sundin, E., Östlin, J., Rönnback, A.Ö., vd., 2008, Remanufacturing of Products used in Product Service System Offerings , *The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 2008.
- Şengül, Ü., 2011, *Ters Lojistik Kavramı ve Ters Lojistik Ağ Tasarımı*. Kafkas Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemleri Ana Bilim Dalı, 2011, 407-429.
- Tao, Y.Y., Yin, Z., 2014, Reverse logistics network, A literature review ,*Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2014, 6 (7), 1916-1921.
- Thierry, M., Salomon, M., Nunen, J., Wassenhove, L., 1995, “Strategic Issues in Product Recovery Management”, *California Management Review*, Vol. 37, No, 2, pp. 114-135.
- Tibben-Lembke, R., Rogers, D.S., 2002, Differences Between Forward and Reverse Logistics in a Retail Environment. *SupplyChain Management, An International Journal*, vol. 7, no. 5, 271- 282.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tiryaki, F., 1993, Çok Amaçlı Lineer Kesirli Programlama Problemi için Çözüm Önerileri, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toğan., V, Daloğlu., A, 2006, Genetik Algoritma ile Üç Boyutlu Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu, İMO Teknik Dergi, 3809 -3825.
- Tosun, E., 2006, Ferezeleme İşlemlerinde Genetik Algoritma Yaklaşımı İle Kesme Koşullarının Optimizasyonu, Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Tunçbilek, M., 2002, Lojistik Hayati Bir Konu. 3D Lojistik Dergisi, 14(9), 28-32.
- Tuş, A., 2006, Bulanık Doğrusal Programlama Ve Bir Üretim Planlamasında Uygulama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Ulucan, A., 2004, Yöneylem Araştırması, İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme. Siyasal Kitabevi, Ankara, 975-6325-11-9.
- Umeda, S., 2013, Simulation Analysis Of Supply Chain Systems With Reverse Logistics, Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, IEEE.
- Verma, R., Vhatkar, V., 2005, “Reverse Logistics, An Important Dimension of Supply Chain Management”, National Institute of Industrial Engineering, Mumbai, PGDIE Class of 2005.
- Vural, M., 2005, Genetik Algoritma Yöntemi ile Toplu Üretim Planlama. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wang, L., Ning, H., Tan, T., Hu, W., 2004, Fusion of static and dynamic body biometrics for gait recognition, Circuits and Systems for Video Technology, IEEE, V(14), Issue:2, P:149-158.
- Xanthopoulos, A., Iakovou, E., 2009, On the optimal design of the disassembly and recovery processes, Waste Manag., 2009.



### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yadegaril, E., Najmi, H., Ghomi-Avili, M., Zandieh, M., 2015, A Flexible Integrated Forward/ Reverse Logistics Model with Random Path-based Memetic Algorithm, Iranian Journal of Management Studies (IJMS), 8 (2), April 2015, pp, 287- 313.
- Yang, T., Ignizio, J.P., Kim, H-J., 1991, "Fuzzy programming with nonlinear membership functions, Piecewise linear approximation", Fuzzy Sets and Systems, 41,39-53.
- Yardımcıoğlu, M., Kocamaz, H., Özer, Ö., 2012, Lojistik Yönetiminde Taşıma Sistemleri ve Maliyetlime Yöntemleri. II. Bölgesel Sorunlar Ve Türkiye Sempozyumu, 245-295.
- Yenilmez, K., 2001, Bulanık doğrusal programlama problemleri için yeni çözüm yaklaşımları ve duyarlılık analizi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yenisey, M.M., 1997, Üniversite Bütçelerinin Uzun Dönemli Planlanması için Şebeke Analizi Yaklaşımı. Doktora tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldıztekin, A., 2002, Türkiye için Lojistik Stratejileri Konferansı 3, presentation, Arkas Lojistik.
- Yılmaz, M., Arslan, E., 2005 " Bulanık mantığın jeodezdık problemlerin çözümün kullanılması" 514-515.
- Zadeh, L.A., 1970, "Fuzzysets", Information and Control 8 (3), 338–353.
- Zadeh, L., "Fuzzy Sets", 1965, Information and Control Vol. 8, 338-353.
- Zengin, H., 2009, Orman Kaynaklarından Fonksiyonel Yaklaşım İle Çok Amaçlı Faydalanmanın Optimizasyonu. Doktora tezi, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Amenajmanı Programı, İstanbul.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Zimmermann, H.J., 1993, Fuzzy Set Theory and Its Applications, Second, Revised Edition, Sixth Printing, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London.

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

Zuluaga, S., Pablo, J., 2005, "Reverse Logistics: Models and Applications", the doctor of philosophy thesis.

## ÖZGEÇMİŞ

- 1. Adı Soyadı** :Abdullah Hasan Ali ALİ
- 2. Doğum Tarihi** :1971
- 3. Email** :abdullahhasanali@yahoo.com
- 4. Cep Telefonu** :05545602598
- 5. Ünvanı** :Doktora
- 6. Öğrenim Durumu** :Doktora

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Doktora	Yöneylem Araştırma Bilimleri	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2012 - 2017.
Master	Yöneylem Araştırma Bilimleri	Bağdat Üniversitesi	2002 - 2006

### 7. Akademik Ünvanları

Doktora- Yöneylem Araştırması Bilimleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi 2012 - 2017.

### 8. Yakında Yayınları 2 Makale

9. **Irak'ta görevi:** Yüksek Öğretim ve Bilimsel Araştırma Bakanlığı, Bilimsel Değerlendirme ve İnceleme Merkezi