

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATI ATIK YÖNETİMİNDE OPTİMAL PLANLAMA
İÇİN BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA
YAKLAŞIMI**

Endüstri Mühendisi Nezir AYDIN

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. KATI ATIKLAR	3
2.1 Katı Atık Tarihçesi	3
2.2 Kavramsal Olarak Katı Atık ve Katı Atık Türleri	5
2.2.1 Evsel Katı Atıklar(Çöpler)	7
2.2.2 Özel Atıklar	8
2.2.2.1 Toksik Atıklar.....	8
2.2.2.2 Radyoaktif Atıklar	8
2.2.2.3 Tıbbi Atıklar (Hastane Atıkları)	8
2.2.2.4 Tehlikeli Atıklar(Endüstriyel Atıklar)	9
2.3 Katı Atıkların Zararları	10
2.4 Katı Atıkların Miktar ve Bileşenleri.....	12
3. KATI ATIK YÖNETİMİ.....	15
3.1 Katı Atık Yönetiminin Tanımlanması	15
3.2 Katı Atık Yönetiminin Bileşenleri ve Atık Yönetimi Hiyerarşisi.....	16
3.3 Katı Atık Bertaraf Teknolojileri	20
3.3.1 Geri Kazanım	21
3.3.2 Yakma	22
3.3.2.1 Yakma Tesisi İle İlgili Teknik Hususlar.....	23
3.3.2.2 Evsel Katı Atık Tesisinde Yakılması Yasak Olan Maddeler	25
3.3.2.3 Yakma Yönteminin Avantajları	25
3.3.2.4 Yakma Yönteminin Dezavantajları	25
3.3.3 Kompostlaştırma.....	26
3.3.4 Depolama	27
3.3.4.1 Düzenli Depolama	27
3.3.4.2 Düzenli Depolama Tesislerinin Yer Seçimi	28
3.3.4.3 Düzenli Depolama Tesislerinin Özellikleri.....	29
3.3.4.4 Depo Tabanının Teşkili ve Sızıntı Suyu Toplanması	29

3.3.4.5	Depo Gazının Uzaklaştırılması	31
3.3.4.6	Aritma Çamurunun Evsel Katı Atıklarla Birlikte Depolanması	31
3.3.4.7	Depo Tesisinin Olumsuz Etkisinin Önlenmesi ve Sahasının Yeşillendirilmesi ...	31
3.3.4.8	Düzenli Depolama Yönteminin Avantajları.....	32
3.3.4.9	Düzenli Depolama Yönteminin Dezavantajları	32
3.3.4.10	Düzensiz Depolama	32
3.3.4.11	Düzensiz Depolama Yönteminin Sakıncaları	33
3.3.4.12	Düzensiz Depolanmış Alanların (Çöplüklerin) Islahı	33
3.4	Katı Atıkların Toplanması ve Taşınması	34
3.4.1	Katı Atıkların Toplanması	34
3.4.2	Katı Atıkların Taşınması.....	35
3.4.3	Aktarma Merkezleri (Transfer İstasyonları)	35
3.4.3.1	Yer Seçimi.....	36
3.4.3.2	Katı Atıkların Taşınmasında Dikkat Edilecek Hususlar	37
3.4.3.3	Yararları	37
3.5	Katı Atıkları Ayırma.....	37
3.5.1	Kaynakta Ayırma.....	38
3.5.2	Toplama Sırasında Ayırma	39
3.5.3	Merkezde Ayırma	40
3.6	İstanbul'da Katı Atık Yönetimi.....	40
3.6.1	Katı Atık Miktar ve Özellikleri	41
3.6.2	Katı Atık Yönetiminde İdari Yapı.....	42
3.6.3	Katı Atıkların Toplanması	43
3.6.4	Aktarma İstasyonları.....	45
3.6.5	Düzenli Depolama	47
3.6.6	Kompostlaştırma ve Geri Kazanım	49
4.	BULANIK MANTIK ve BULANIK LİNEER PROGRAMLAMA.....	51
4.1	Bulanık Mantık.....	51
4.1.1	Belirsizlik ve Kesin Olmayış.....	53
4.1.2	Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri	54
4.1.3	Bulanık Sistem	55
4.1.4	Üyelik Fonksiyonları	58
4.1.4.1	Üyelik Fonksiyonunun Kısımları	61
4.1.4.2	Üyelik Fonksiyonlarının (Bulanık Kümelerin) Temel Özellikleri	64
4.1.4.3	Üyelik Fonksiyonu Formları ve Sınırları	65
4.1.4.4	Üyelik Derecesinin Belirlenmesi.....	65
4.1.5	Bulanık Kümelerde Kural Tabanı ve Çıkarım Süreci.....	67
4.1.5.1	Bulanıklaştırma (Fuzzification).....	68
4.1.5.2	Çıkarım (Inference)	70
4.1.5.3	Durulaştırma (Defuzzification)	71
4.2	Bulanık Lineer Programlama	72
4.2.1	Bulanık Kaynaklı ve Bulanık Amaçlı Lineer Programlama Problemi	73
4.2.1.1	Zimmermann'ın Yaklaşımı - Simetrik Model.....	73
5.	KATI ATIK YÖNETİMİNE BULANIK MODEL ONERİSİ VE ÇÖZÜMÜ	76
5.1	Model.....	77
5.2	Sayısal Model.....	94
5.3	Çözüm ve Değerlendirme	102
6.	SONUÇLAR	107

KAYNAKLAR.....	108
İNTERNET KAYNAKLARI.....	110
EKLER.....	111
Ek 1 Bulanık Amaç Ve 9 Bulanık Kısıt İçin Üyelik Fonksiyonları	112
Ek 2 Modelin Değişkenlerinin Tanımları Ve Çözüm Sonucu Değerleri	115
ÖZGEÇMİŞ.....	121

SİMGE LİSTESİ

$\mu(x,y)$	(x,y) değerinin üyelik derecesi
T_n	Atık tipi n
$\tilde{Z}$	Bulanıklaştırılacak amaç fonksiyonu
C	Atık taşıma veya işleme maliyeti
C_1	Atık devretme maliyeti
$X_n^{ij}(t)$	Taşınan veya işlenen değişken
i	Atığın taşınacağı merkez
j	Atığın gönderileceği merkez
n	Atık tipi indeksi
t	Zaman periyodu
$Y_n^{ij}(t)$	Devreden değişken
$\tilde{g}_r$	r. bulanık kısıt
g_p	p. deterministik kısıt
b_0	Amaç fonksiyonu değeri
b_r	r. kısıdın sağ tarafı değeri
b_s	Bulanık kısıdın sağ taraf değeri
d_r	r. kısıdın sağ tarafı değerine eklenen tolerans değeri
λ	Amaç fonksiyonu
γ_r	Bulanıklaştırılmış r. kısıt
ω	Amaç kısıtın önem derecesi
β_r	Bulanıklaştırılmış r. kısıtın önem derecesi
D	Merkezlerin kapasiteleri
$\forall_s$	Her s elemanı için
$\sum$	Toplam
X_a	X değişkeninin alt değeri
X_b	X değişkenini üst değeri
X_s	Kuralın kesin(Crisp) çıktısı
P_0	Amaç fonksiyonunun tolerans değeri
P_s	Bulanık kısıdın tolerans değeri

KISALTMA LİSTESİ

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
CH ₄	Metan Gazı
CO ₂	Karbondioksit
ÇEVKO	Çevre Koruma Ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı
EPA's	Environmental Protection Agency's Superfund"
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
Hu	Yakıtın Isıl Değeri
ISWA	International Solid Waste Association
İSTAÇ	İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş
KAKY	Katı Atıkların Kontrolü Yönetimi
KAY	Katı Atık Yönetimi
LP	Lineer Programlama
O ₂	Oksijen
pH	Suyun İçerisindeki Asit ve Alkaline Yoğunluğunun Göstergesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Türkiye’de atık kompozisyonu	13
Şekil 2.2 Türkiye’de ortalama geri kazanılabilir atık kompozisyonu.....	14
Şekil 3.1 1960-2004 gelişmiş endüstri ülkelerindeki katı atık yönetiminde strateji gelişim değişimleri.....	16
Şekil 3.2. Katı atık yönetiminin ana bileşenleri	17
Şekil 3.3 Atık yönetim hiyerarşisi	19
Şekil 3.4 Aktarma İstasyonu	36
Şekil 3.5 İstanbul çöp aktarma istasyonlarının konumları	46
Şekil 4.1 Klasik sistem.....	56
Şekil 4.2 Genel bulanık sistem	57
Şekil 4.3 Bitişik dikdörtgen gösterim	58
Şekil 4.4 Bitişik üçgen gösterim.....	59
Şekil 4.5 Örtüşmeli üçgen gösterim.....	60
Şekil 4.6 Bulanık küme	61
Şekil 4.7 Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınır kısımları.....	62
Şekil 4.8 Normal bulanık küme.....	62
Şekil 4.9 Subnormal bulanık küme.....	63
Şekil 4.10 Konveks normal bulanık küme	63
Şekil 4.11 Nonkonveks normal bulanık küme	63
Şekil 4.12 Sıcaklık bulanık alt kümeleri	66
Şekil 4.13 Bir girdi altkümesinin bir çıktı altkümesine gitmesi.....	68
Şekil 4.14 Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu.....	69
Şekil 4.15 Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu	69
Şekil 4.16 Bahşiş miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu	70
Şekil 4.17 Bulanık çıkarım kümesi.....	71
Şekil 4.18 Ağırlık merkezi yöntemiyle durulaştırma.....	71
Şekil 4.19 Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma	72
Şekil 5.1 Katı atık bertarafı için akış diyagramı	78
Şekil 5.2 Atık tiplerine göre atıkların sistemdeki akışı.....	80
Şekil 5.3 Optimal sonuçlar	105

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Katı atıkların kaynak ve oluştuğu yerlere göre sınıflandırılması.....	6
Çizelge 2.2 Amerika ve Avrupa ülkelerinde (%) kuru ağırlık olarak katı atık bileşenleri	12
Çizelge 2.3 Türkiye'nin tahmini evsel atık kompozisyonu	13
Çizelge 2.4 Türkiye'nin geri kazanılabilir atık kompozisyonu	13
Çizelge 3.1 Çeşitli ülkelerdeki katı atık yönetim teknolojilerin dağılımı	21
Çizelge 3.2 İstanbul için katı atık karakterizasyonu mevsimsel ortalamaları	42
Çizelge 3.3 İstanbul çöp aktarma istasyonlarının kapasiteleri ve özellikleri	46
Çizelge 3.4 İstanbul çöp aktarma istasyonlarından transfer edilen katı atık miktarlarının aylara göre dağılımı	47
Çizelge 3.5 Depolama sahalarında depolanan katı atık miktarlarının yıllara göre dağılımı....	49
Çizelge 5.1 Atık taşıma maliyetleri	81
Çizelge 5.2 Modeldeki taşıma dışındaki maliyetler	82
Çizelge 5.3 Tesislerin modeldeki kodu.....	83
Çizelge 5.4 Ulaşılmak istenen amaç değeri ve sistemden toplanacak olan atık miktarlarının tolerans aralıkları.....	94
Çizelge 5.5 Değişen ağırlıklarla elde edilen optimal sonuçların λ , γ_1 , γ_2 , γ_3 , γ_4 , γ_5 , γ_6 , γ_7 , γ_8 , ve γ_9 ve maliyet değerleri	103
Çizelge 5.6 İşlenmeyip bir sonraki döneme devreden atık miktarları	104
Çizelge 5.7 Amaç kısıtının optimal durumda aldığı değer ve çözüm sırasında aldığı değerler aralığı.....	105

ÖNSÖZ

Günlük hayatımızda hepimizin her gün ürettiği ancak sokaklarda, caddelerde yanından bile geçince rahatsız olduğumuz katı atıklar bir şekilde geri kazanımı sağlanarak veya enerjiye dönüştürerek toplumun hizmetine sunulabilir. Geri kazanımı sağlanamayan veya enerjiye dönüştürülemeyen atıklar ise gömülerek tekrar doğaya kazandırılabilir. Atıkların hayatımızın vazgeçilmez maddeleri olmaya devam edecektir ancak amacımız en az miktarda atık üretmek olmalıdır.

Çalışmamda bu konuyu seçmemi sağlayan, çalışmam boyunca beni yönlendiren ve hiçbir yardımını esirgemeyen Sn Yrd. Doç. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL'e; çalışmam süresince yardımlarını ve desteğini esirgemeyen Sn Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL'e; tüm bilgi ve tecrübelerini paylaşan İSTAÇ çalışanlarına; sırdaşım ve çok sevdiğim dostum Hande MUŞDAL'a ve beni bugünlere getiren aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Katı atık yönetimi belediyeler ve ilgili kuruluşlar için stratejik bir görevdir. İlgili kuruluşlar bütçelerinin bir kısmını katı atıkların bertarafı için ayırmak zorundadırlar ayrıca bu miktar tüketimle beraber artmaktadır. Diğer taraftan bu kuruluşlar bütün katı atıkların bertarafı için oluşan maliyetleri azaltmanın yöntemlerini araştırmaktadırlar. Başka bir deyişle belediyeler ve ilgili kuruluşlar katı atıkları bertaraf etmek zorundadırlar aksi takdirde toplumun sağlığı ve çevre büyük bir risk altına girecektir. Katı atıkların bertarafı beş faaliyetten oluşmaktadır. Bunlar; toplama, taşıma, işleme, yakma ve düzenli depolamadır. Bütün bu faaliyetler karşılanması gereken maliyetlerden oluşmaktadır.

Olaylar gerçek hayatta çok karmaşık ve dilseldir. Bu yüzden olayları matematiksel olarak ifade etmek çok zor olmaktadır.

Çalışmamızda bir sistemdeki katı atıkların toplanmasında, taşınmasında, işlenmesinde, yakılmasında ve düzenli depolanmasında maliyet minimizasyonunu araştırdık. Sistemde üç toplama merkezi, iki işleme merkezi, iki yakma merkezi ve iki düzenli depolama sahası bulunmaktadır. Ayrıca gerçek hayattaki gibi sistemden toplanan katı atık miktarını göz önünde bulundurduk. Bu durumu bulanık lineer programlama ile ifade ettik. Bulanık lineer programlamayı uygulamamızın sebebi kesin olmayan parametre ve amaç fonksiyonunun olmasıdır.

Çalışmamız altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konuya giriş yapılmış, ikinci bölümde katı atıklar hakkında genel bilgiler verilmiş, üçüncü bölümde ise katı atık yönetimi, katı atıklar ve katı atıkları bertaraf yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmuştur. Dördüncü bölümde modelimizi uyarladığımız bulanık lineer programlama yöntemi ve bulanık mantık anlatılmıştır. Beşinci bölümde bulanık lineer model sunuldu ve sunulan bu model sayısallaştırılarak çözülmüştür. Sayısallaştırdığımız modelin çözülmesinde bir lineer ve tamsayılı modelleme programı olan WinQSB kullanılmıştır. Çözülen modelin analizi beşinci bölümde yapılmış sonuçlar tartışılmıştır. Son bölümde çalışma sonuçlandırılarak gelecek çalışmalarla ilgili yorumlarda bulunulmuştur.

Anahtar Kelime: Katı atık yönetimi, bulanık mantık, bulanık lineer programlama.

ABSTRACT

Solid waste management is a strategic issue for municipalities and related corporations. Because related corporations must allocate some of their budget for the disposal of the solid wastes, and this budgets increase with the increasing of consumption. On the other hand, they are seeking to reduce cost minimizing of disposal for all types of solid wastes. In other words, they have to dispose wastes; otherwise the community's health and environmental conditions will be under high risks. The elusion of solid wastes involves five activities to do. These activities are collection, transportation, treatment, incineration and land-filling. All of these activities have a cost to be supported.

In the real life the incidents are very complicated and often linguistic. Because of that it is very difficult to adapt these incidents to the mathematical programs.

In this dissertation we searched about the minimum costs for collection, transportation, treatment, incineration and land-filling of the solid wastes in a system, that has three collecting centers, two treatment centers, two incineration centers and two land-filling centers. Also we considered the real life condition about the quantity of the solid wastes that are collected from the system. In this concern, fuzzy linear programming model is developed to address these problems. Because of the uncertain nature of the parameters and decision makers' aspiration levels for the goal, fuzzy modeling approach is employed in the model.

This study consists of six sections. In the first section, the topics of the study is introduced, in second, general knowledge about the solid wastes is expressed, in third, detailed data about solid waste management, solid wastes and disposal techniques about solid wastes are expressed. In the fourth section, fuzzy logic and fuzzy linear programming that employed to the proposed model is explained. In the fifth section, the fuzzy linear program is proposed; the proposed model is digitized and solved. Proposed model is solved by a linear and integer modeling program that named WinQSB. Also in the fifth section, results are analyzed and optimal solution is explained. In the last section the study is concluded and comments about further studies is expressed.

Keywords: Solid waste management, fuzzy logic, fuzzy linear programming.

1. GİRİŞ

Atıklar üreticisi tarafından artık işe yaramayan ve uzaklaştırılması veya bertaraf edilmesi gereken madde olarak baktığı maddelerdir. Katı atıklar, atıkların özel hali olup doğada katı halde bulunan atık çeşitleridir. Günümüz dünyasında hızla artan tüketim toplumuyla beraber katı atıklar da hızla artmaktadır. Katı atıklar bertaraf edilmediği takdirde çevreye ve insana ciddi zararlar verebilmektedir. Bu zararların başında sağlık problemleri gelmektedir. Katı atıklar insanlar için sağlık problemlerinin yanında görüntü ve kötü koku problemleri de doğurmaktadır. Bu açıdan toplum, katı atıkları bertaraf yöntemleri geliştirmişlerdir. Bertaraf yöntemlerin en basiti ve kolayı katı atıkları bulundukları meskûn alanlardan götürülebilecekleri en uzak yere götürüp gömmektir.

Katı atıkların meskûn alanlardan uzaklaştırılmasını ve bertarafını kar amacı gütmeyen ve kamu kuruluşları üstlenmektedir. Bu kuruluşların başında belediyeler gelmektedir. Belediyeler atıkların bertarafını atık çeşidine göre farklı yöntemlerle gerçekleştirmektedir. Dönüştürülmesi imkân dâhilinde olan katı atıkları geri kazanım ve kompostlaştırma merkezlerinde tekrar toplumun hizmetine sunmak üzere işlemektedir. Yakılması insan sağlığı ve çevre açısından iyi olacağı düşünülen zararlı atıkları ise yakma merkezlerinde yakarak arta kalan cürufları gömme işlemiyle bertaraf etmektedir. Ayrıca geri kazanılması imkânsız ve yakılmasına gerek duyulmayan bazı katı atıklar ise düzenli depolama sahalarında gömülmektedirler.

Bertarafı sağlanan katı atıklar ilgili kuruluşlara belli bir maliyete sebep olmaktadır. Günümüz şartlarında yaptığı her faaliyeti belli bir stratejik plana göre yapması gereken bu kuruluşların katı atık bertarafında da bu plana uymak zorunda ve oluşabilecek maliyetlerin yaklaşık değerlerini önceden tahmin etmeye çalışmaktadırlar. Teknolojinin gelişmesiyle beraber mesafeler kısalmış ve insanların yolculuk sayıları artmıştır. Sonuç olarak bir şehirdeki atık miktarları dönemden döneme, mevsimden mevsime ve hatta aydan aya değişkenlik göstermektedir. Bütçesini, değişen atık miktarına göre ayarlamak zorunda olan ilgili kuruluşlar gerekli yerlerde matematiksel yöntemlerden yararlanma ihtiyacı duymaktadırlar. Kullanacağı bu matematiksel yöntemin gerçek hayata uyarlanabilir olması ön şarttır.

Matematiksel programlamada, bir gerçek problem matematiksel modellerle ifade edilir. Eğer bir model, sınırlamaları olmayan bir gerçek probleme yaklaşırsa, model karmaşık bir model olur ve çözümü bulmak güçleşir ve çelişkili sonuçlar ortaya çıkar. Bununla birlikte, gerçek problemler doğal dille ifade edilebilen kısıtlama ve amaçlar içerirler. Örneğin, belirsizlik ifade

edilirken, “yaklaşık A lira kazanmak isteriz” veya “B civarında veya daha az yatırım yapmak isteriz” ifadeleri bir çeşit belirsizlik içerir. Bulanık matematiksel programlama, bu tür belirsizlikleri bulanık kümelerdeki terimlerle ifade eder ve bizim kavrayışımıza yakın hale getirir (Mete, 2001).

Bulanık (fuzzy) lineer programlama, lineer programlamanın yetersiz olduğu durumlarda kullanılabilir. Örneğin bir şehirde oluşabilecek atıklar her zaman aynı miktarda olmamakta ve belli bir tolerans aralığında gerçekleşmektedir. Bu durumu klasik lineer programlamada çözmek imkânsızdır. Bunun gibi lineer programlamanın yetersiz kaldığı durumlarda gerçek hayata uyarlanabilir olmasından dolayı bulanık lineer programlama kullanılmalıdır.

2. KATI ATIKLAR

Dünyada nüfusun artmasıyla doğal kaynakların kullanımı hızla artmaktadır. Sanayideki gelişme ve nüfus artışına bağlı olarak tüketim de hızla artmaktadır. Kullanılan kaynakların işlenmesi ve toplanması sırasında atıklar oluşmaktadır. Oluşan atıklar tekrar doğaya bırakılmakta, bunun sonucu olarak hem doğal kaynak miktarı, hem de var olan kaynakların faydaları azalmaktadır (Karaaslan, 2003).

Yaşamımızda kullanıldıktan sonra veya tüketildikten sonra yok edilmesi veya yeniden yararlanabilmemiz için toplanıp çevremizden uzaklaştırılması gereken çeşitli malzemelere katı atık denir. Üreticisi tarafından atılmak istenen, toplumun huzuru ve çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı madde ve artıma çamurlarının tümü katı atık olarak tanımlanmaktadır (Ebin, 2004). Miktarları her geçen gün artan katı atıkların çevrede yarattığı olumsuz etkiler nedeniyle, bu atıkların teknik yöntemlerle bertaraf edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Katı atıklar uygun bir şekilde değerlendirilmediğinde ve bertaraf edilmedikleri takdirde, ülkelerin karşısına büyük bir sorun olarak çıkmaktadır. Gelişmiş ülkeler bu konuda ortaya çıkan problemlerini hallettikleri halde, ekonomik açıdan bizim gibi gelişmekte olan ülkelerin çoğunda bu konu hala önemli bir sorun olarak gündemdedir. Bu ülkelerde gerek yetkililer, gerekse halk açısından düşünülen konu, çöplerin bir an önce toplanıp mesken bölgelerinden uzaklaştırılmasıdır. Bu arada nihai uzaklaştırma yöntemi veya geri kazanma konusuna hiç yer verilmemektedir. Oysaki atıkların geri kazanılması ile ilgili faaliyetler ülkelere ekonomik bir çıkar sağladığı gibi, aynı zamanda; atıkların azalması, hammadde israfının önlenmesi ve çevrenin daha az zarar görmesi anlamına gelmektedir. Birçok ülke bu düşünceyle özellikle ambalaj atıklarının geri kazanılması vasıtası ile daha az hacimde çöple uğraşmak için, hukuki, idari ve teknik birtakım tedbirler almışlardır (Pehlivan, 1995).

2.1 Katı Atık Tarihçesi

Bu çalışmada atıkların özel bir hali olan katı atık incelenmektedir. Katı atıklar, insanlar tarafından üretilerek atmosfere karışan atıkların dışında kanalizasyon sistemine boşaltılan atıklardır. İnsanoğlu, M.Ö. 10000'de göçebe hayatı bırakıp yerleşik hayata geçişmesiyle birlikte katı atık üretmeye başlamıştır. M.Ö. 2100'lü yıllarda insanlar katı atıklardan tuvalet olarak kullanılan çukurlara gömerek kurtuluyordu. Katı atıklarla ilgili sağlık kuralları M.Ö. 1600'lü yıllarda Hz. Musa tarafından yazılmış ve günümüzde de kısmen geçerliliğini

sürdürmektedir. M.Ö. 800'lü yıllarda eski Kudüs'te kanalizasyonlar kullanılmaya başlanmıştır. M.Ö. 200'lü yıllarda Çin'in bazı şehirlerinde katı atıkları yok etmeye yönelik kurallara uyulmasını sağlamak için "sıhhiye polisleri" görev yapmaya başlamıştır. Buna karşılık şehirlerde çoğu insan atık ve pislikler içinde yaşamaktaydı. Ancak zamanla bu durum tehlikeli olmaya başlamış ve korunma yolları geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. M.Ö. 500'lü yıllarda Yunanlılarda atıkların şehirden en az 1 mil uzağa atılmasını zorunlu hale getiren bir kanun yürürlüğe geçmiştir. Aynı şekilde Romalılarda M.S. 14'te benzer problemler yaşamış ve atık toplama programı geliştirmek zorunda kalmıştır. Orta çağda Avrupa ülkelerinde de pislikten kaynaklanarak veba salgını başlamış ve bu salgın, 1800'lü yılların ortasında gerçekleşen sanayi devrimine kadar şehir nüfuslarında azalmaya sebep olmuştur.

19. Yüzyıldaki Avrupa şehirlerinde fakirlik ve yaşam şartları Charles Dickens ve dönemin diğer yazarları tarafından kaleme alınmıştır. Örneğin Manchester'da ortalama 200 kişiye tek tuvalet düşmekteydi. Avukat Edwin Chadwick, 1840'larda hastalıklarla pislik arasında doğrudan bir bağlantı olduğunu savunmuş, John Snow da Broad Street su kaynağından pompalanan suyun koleraya sebep olduğunu belirtmiş ve bunun da asıl sebebinin pis atıkların bu suya karışmasından kaynaklandığını ortaya koymuştur.

1800'lü yıllarda geri dönüştürme kişisel yapıliyordu. İnsanlar değerli eşyaları toplayıp tekrar kullanıyorlardı. İlk organize atık dönüştürme programı 1874'te Baltimore'de yapıldı ve başarısız oldu.

1657'de New Amsterdam(Şimdi ki New York) şehrinde çöplerin sokaklara atılması yasaklanmış, 1866'da New York'taki Metropolitan Sağlık Birimi tarafından çöplerin ve hayvan ölülerinin sokağa atılmasına karşı mücadele başlatılmıştır. Yeni Dünyadaki ilk yok edici New York'taki Governer's adasında 1887 yılında inşa edilmiştir. 1895 yılında ise atık problemi politik bir sorun haline gelerek şehirlerin temizlenmesi için büyük çaba harcanmıştır. Bu konuda en çok tanınmış ve iyi organize edilen belediye atık toplama sistemi New York şehrinde George Waring tarafından kurulmuştur. Bu sistemde Waring toplanan çöplerin ayrıştırılarak işe yarayanların satılmasını öngörüyordu. Planı atıkların kül, çöp ve diğerleri başlıkları altında ayrıştırılacak malzemelerin toplanmasını içeriyordu. Uygulamasından birkaç yıl sonra halkın kuvvetli tepkisi yüzünden malzeme dönüşüm sistemi yok edildi.

Chicago şehri için günde ortalama 1530 m³ çöp ve istenmeyen malzemeler çöpçüler tarafından toplanmaktaydı. 1916 yılında belediye atık toplama çalışanları, bu miktarın 10

katına çıkan atıkları toplamaya yetişemediğinden at arabalarından oluşan bir atık toplama sistemi oluşturuldu.

Belediyelerin atıkları illegal olarak denize atmalarıyla sahiller kirlenmiştir. Bu yüzden atıklar gömülmeye başlanmış, ilk modern atık gömme işlemi 1935 yılında California’da yapılmıştır. Daha sonra Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı Fonu (EPA’s) zararlı atıkların listesi açıklanmış, 1959’da Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği tarafından hazırlanan mühendislik kılavuzunda sağlıklı gömmenin nasıl yapılacağı anlatılmıştır.

Yıllar sonra atık çeşitlerinin ve içeriğinin değişmesiyle atık toplama yönetimi de değişiklikler göstermiştir. Aşağıda çeşitli atık çeşitlerinin hayatımıza girme yılları verilmiştir.

1908 Teneke kapların yerini kâğıt kutular aldı,

1913 Paketlemede buruşturulmuş kartonlar kullanılmaya başladı,

1924 Yüzle ilgili kâğıt mendiller satılmaya başlandı,

1935 İlk bira kutusu üretildi,

1944 Köpük icat edildi,

1953 Swanson ilk hazır yemeği tanıttı,

1960 Çekerek açılan bira kutusu icat edildi,

1963 Alüminyum bira kutusu geliştirildi,

1977 Pet şişeler cam şişelerin yerini aldı.

Bugünün şehirlerinde katı atıklar yok etme veya tekrar dönüştürme merkezlerine gönderilmekte. Geliştirilen yöntemler yararlı olsa da en iyi yöntem atığı merkezinde üretmemektir. Oluşan değişimler hem ekonomik şartların hem halkın duruşu olarak ortaya çıkmaktadır (Vesilind vd., 2002).

2.2 Kavramsal Olarak Katı Atık ve Katı Atık Türleri

Toplumların çeşitli sosyo-ekonomik etkinlikleri sonucunda işe yaramaz hale gelen ve akıcı olabilecek sıvı içermeyen her türlü madde ve malzemeye katı atık denir. Hayat seviyesinin yükselmesi, tüketimin artması, sanayi ve teknolojinin ilerlemesiyle yeni ambalaj malzemelerinin (plastik, pvc gibi) geliştirilmesi, hem insan başına üretilen çöp miktarını hem de çöplerin bileşimini büyük ölçüde değiştirmiştir (Kavlak, 2002).

Başka bir deyişle, katı atıklar insan ve hayvan faaliyetlerinden meydana gelmiş, katı halde bulunan, atılmış, işe yaramayan veya istenmeyen maddelerdir. Atık malzemeler, niteliklerinden dolayı genellikle tekrar kullanılabilir ve başka bir alanda kaynak olarak göz önünde bulundurulabilir (Tchobanoglous, 1993).

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde ise katı atık kavramı “üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuruyla özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu ifade eder” şeklinde tanımlanmaktadır. Ayrıca yönetmelik katı atık kavramı içerisinde iri katı atık ve evsek katı atıkları da katmaktadır.

Çizelge 2.1'de katı atıkların oluşumuna neden olan araçların, faaliyetlerin ve atıkların oluştuğu yerlerin kaynaklara ve katı atık türlerine göre sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.1 Katı atıkların kaynak ve oluştuğu yerlere göre sınıflandırılması (Kavlak, 2002)

Kaynak	Katı atıkların oluşumuna neden olan araçlar, faaliyetler ve atıkların oluştuğu yerler	Katı Atık Türleri
Eysel	Meskûn bölgelerde, özel konutlardan az, orta ve çok katlı apartmanlardan vb. atıklar	Çöpler, yemek artıkları, kül ve diğer atıklar
Ticari	Dükkânlardan, marketlerden, lokanta ve otellerden, iş merkezlerinden, bürolardan, sanayi sitelerinden, matbaalardan, hastane ve kliniklerden vb.	Çöpler, yemek artıkları, küller, yıkım ve onarım atıkları, diğer özel atıklar
Kentsel	Yukarıda sıralanan maddeleri kapsar.	Yukarıda sıralanan maddeleri kapsar
Endüstri	İnşaat sektörü, hafriyat ve onarım işleri, fabrikalar, hafif ve ağır sanayi sektörü, rafineriler, kimyasal fabrikalar, ağaç sanayi, madencilik ve enerji sektörü vb.	Çöpler, yıkım ve onarım atıkları, bazı özel atıklar, bazı tehlikeli ve zehirli atıklar
Açık Alanlar	Cadde, sokak süprüntüleri, park, bahçe ve oyun alanlarında oluşan atıklar, deniz kıyılarında, plajlarda, özel çevre koruma alanlarında, karayollarında görülen atıklar vb.	Çöpler, bitki atıkları, özel atıklar
Arıtma Tesisi	Su, pis su ve endüstriyel arıtım işlemleri	Arıtma tesisi atıkları, genelde yarı atık haldeki zararsız çamurlar
Tarımsal	Çiftlikler, tahıl üretim çalışmaları, meyve bahçeleri, üzüm bağları, mandıralar	Tarımsal atıklar ve bitki atıkları, özel besin atıkları, bazı zararlı atıklar

Atıklar, çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde toplanmaları, taşınmaları, geri

kazanımları, zararsız hale getirilmeleri ve düzenli depo alanlarında bertarafları açısından aşağıda belirtilen üç grupta incelenmektedir (Kavlak, 2002):

- Evsel katı atıklar (çöpler)
- Özel atıklar
- Tehlikeli atıklar (endüstriyel atıklar)

2.2.1 Evsel Katı Atıklar(Çöpler)

Evsel katı atıklar, evlerden atılan, tehlikeli ve zararlı katı atık kavramına girmeyen, bahçe, park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen katı atıklar, zararlı katı atık olmamakla beraber evsel katı atık özelliklerine sahip sanayi ve ticarethane atıklarıdır. Yani konutlardan, atılan organik ve geri kazanılabilir maddeler ile kül, cüruf, taş, toprak atıkları ve geri kazanılabilir atıklardır (Kavlak, 2002).

Tek veya çok sayıda ailelerin yaşadığı meskûn alanlar, ticarethaneler ile park ve bahçelerden müteşekkil ve içerisinde tehlikeli atık bulundurmeyen katı atıklar evsel atık olarak tanımlanır. Evsel atıklar organik ve inorganik maddelerden oluşmaktadır. Organik maddeler mutfak atıkları, kâğıt-karton, plastik, tekstil, deri, bahçe ve ağaç atıklarından; inorganik maddeler ise kül, cam, porselen, konserve kutuları, alüminyum ve diğer maddelerden oluşmaktadır (Karaaslan, 2003).

Çevreden alınan bir takım hammaddeler işlenip nihai ürünlere çevrilmekte, nihai ürünlerin kullanımı sonucunda da evsel atıklar ortaya çıkmakta ve bunlar yine çevreye verilmektedir. Geri kazanılabilecek malzemelerin kaynaktan ayrılarak çöpe dönüştürülmemesi gerekmektedir. Bu, çöpün miktarını önemli ölçüde azaltacak, azalan çöp miktarlarıyla beraber, ilk yatırım maliyetleri ve de işletme maliyetleri azalacaktır (Kavlak, 2002).

Evsel atıkların çevreye olan zararlarının azaltılması için şu gibi öneriler verilebilir (Arslankaya, 1995):

- Azaltımı: Tehlikeli ürünleri atmak yerine tamamen kullanılıp bitirilmesi, ihtiyaçtan fazla ürünün satın alınmaması, atıkların orijinal kaplarında korunarak kullanıcılara verilmesi ve toksik olmayan alternatiflerin kullanılması vb.
- Tekrar Kullanımı: Genel evsel temizleyiciler birçok çeşit kirliliği temizleyebileceğini düşünülerek ürünlerin etiketlerinin kontrol edilmesi.

- Geri Döndürme: Arıtılabilecek yağların tekrar kullanılması, solventlerin damıtılması vb.
- Korunumu: Evsel katı atıkların zararlı atıklardan ayrılması, zararlı atıkların kanalizasyonlara veya yüzeysel su kaynaklarına dökülmemesi ve evsel atık toplama günlerine katılınması vb.

2.2.2 Özel Atıklar

Özel önem arz eden ve bundan dolayı özel atık olarak adlandırılan atıklar şunlardır (Kavlak, 2002):

- Toksik atıklar
- Radyoaktif atıklar
- Tıbbi atıklar

2.2.2.1 Toksik Atıklar

Hava, su, toprak gibi alıcı ortamlarla temasında toksik gaz bırakan, toksik ve ekotoksik özellik taşıyan atıklardır. Düşük dozlarda dahi insan için öldürücü, geri dönüşümü olmayan bir hastalığa sebep olan ya da belirgin katkısı olan, iyileşebilecek hastalıkları olumsuz yöne dönüştüren kimyasalları içeren atıklardır ayrıca sanayi kuruluşlarından kaynaklanan katı, sıvı, gaz atıkları ifade eder (Kavlak, 2002).

2.2.2.2 Radyoaktif Atıklar

Her türlü radyoaktif maddenin değişik alanlarda kullanımları sonucu meydana gelmektedir. Araştırma laboratuvarlarından, hastanelerden ve bir kısım endüstriyel tesislerden kaynaklanan α, β, δ ışınları ile çevre ve insan sağlığı için tehlike arz eden atıklardır. Bu tür atıkların tehlikeli atık depolama tesislerinden de daha fazla güvenli bertaraf tesislerinde depolanmaları gerekir (Kavlak, 2002).

2.2.2.3 Tıbbi Atıklar (Hastane Atıkları)

Tıbbi atıklar, ünitelerden kaynaklanan patolojik ve patolojik olmayan, enfekte, kimyasal ve farmosotik atıklar ile kesici-delici malzemeler ve sıkıştırılmış kaplar olarak tanımlanmıştır. Bir diğer ifadeyle aşağıdaki etkinliklerden sonucunda ortaya çıkan atıklar tıbbi atıklardır.

- İnsan veya hayvanların tanı, tedavi ve bağışıklama uygulamaları,
- Enfeksiyon ajanları, serumlar, aşılar, antijen ve antitoksinlerle ilgili araştırmalar,
- Canlılara zarar verebilecek atıklar veya sivri, set köşeleri, kenarları veya kabarıklıkları olması nedeniyle kesebilecek, delebilecek atıklar (iğneler, enjektörler, bisturiler ve cam kırıklıkları) (Kavlak, 2002).

Hızla artan nüfus ve sanayileşme ile, bulaşıcı ve tehlikeli maddeler içeren hastane katı atıklarının ortadan kaldırılabilmesi işi, en önemli çevresel sorunlardan biri haline gelmiştir (Karamouz vd., 2006). Hastane atıkları, hastanelerde üretilen biyolojik ve biyolojik olmayan tüm atıklara (yemekhane, kafeterya, ofis ve inşaat atıkları dâhil) denir. Hastane atıklarının alt grubu olan tıbbi atıklar; bio tehlikeli atıklar, kesici-deliciler, insan ve hayvanların diagnozu, tedavi veya aşılama sonucu oluşan atıklar, kemoterapi, patoloji ve enfekte atıklardan oluşmaktadır.

Tıbbi atıkların bir alt grubu olan enfekte atıklar, hastalık etkenleri bulaşmış veya bulaşması muhtemel her türlü; insan doku ve organları, idrar kapları, kan veya plasenta bulaşmış atıkları, bakteri kültürleri, intaniye ve acil servis atıkları, bakteri ve virüs tutucu hava filtreleri, kan elementleri örnekleri, insan veya laboratuvar hayvanları, sargı bezleri ve pamuklu bezler, diğer pansuman ve ameliyat atıkları, ilaç kutuları, bulaşabilir patolojik örnekleri, dışkı bulaşmış eşyaları, araştırma amacıyla kullanılan deney hayvanlarının leşleriyle karantinadaki hastaların atıklarını ifade eder. Bir atığın enfekte atık olabilmesi için yeterli miktarda patojen virüs ve bakteri içermesi gerekir. Tıbbi atıkların %90–95 oranında enfekte maddelerle kirlenmiş kâğıt, pamuk, plastik, cam gibi maddeler olduğu görülür (Kavlak, 2002).

2.2.2.4 Tehlikeli Atıklar(Endüstriyel Atıklar)

Çevre problemlerin çoğu sebep ve potansiyel çözümlerine göre, kimyasal maddelerden kaynaklanan sorunlardır. Tehlikeli atıklar, evsel ya da sanayi kökenli olabilen ve de yasal olarak tehlikeli sınıfına giren; toplanmaları, taşınmaları ve bertarafları için ilave insan sağlığı ve çevre koruma önlemleri alınan atıklardır. Yani tehlikeli atıklar, teknolojik gelişmeye bağlı olarak ortaya çıkan çevre ve insan sağlığını tehdit eden endüstriyel nitelikli atıklardır.

Endüstriyel atıklar, endüstriyel bir faaliyet sonucu meydana çıkan ve muhtevasında genellikle kül, özel atıklar, tehlikeli atıklar vb. bulunan atıklardır. Endüstriyel atıklar iki gruba ayrılır. Patlayıcı, parlayıcı, yanıcı, oksitleyici, zehirli, korezif özelliklere sahip olan ve suyla temas sonucu parlayıcı gazlar çıkaran atıklar, tehlikeli atıklar olarak sınıflandırılır. Endüstriyel

atıkların diğ er grubu ise tehlikesiz atık olarak adlandırır. Toplama ve bertaraf işlemelerinde evsel atıklarla birlikte değerlendirilir (Karaaslan, 2003).

Zararlı atık, istenmeyen veya uzaklaştırılması planlanan bir atık maddedir ve böyle bir madde bu atık haliyle diğ er maddelerle ilişkisinde tehlike ve zarar potansiyeline sahiptir. Zararlı atıklar katı, sıvı, gaz veya çamur formunda bulunabilirler. Bir atığın gerek kısa süreli gerekse uzun süreli çevresel zarar/tehlike özellikleri, içerdiği kimyasalların türüyle ilgilidir (Kavlak, 2002).

Zararlı atık olarak ifade edilen atıkların genel anlamdaki kaynağı endüstriyel faaliyetler gibi düşünülür. Ancak her endüstriyel atık zararlı atık değildir. Keza, ticari faaliyetler, zirai faaliyetler ve ev yaşamında; atık yağı, zirai ilaçlı atıklar, evsel zararlı atıklar vb. gibi atıklar da oluşabilmektedir. Zararlı bir atığın zararlı olmasına neden olan yegane özelliğin, ilk yaklaşım olarak, atığın toksisitesi olacağı düşünülebilir. Hakikaten son derece zehirli bileşikler insan ve diğ er canlılar için önemli bir risk doğurabilmektedir.

Bazı atıklar görünür biçimde çevredeki canlı yaşamları ile temasa geldiklerinde kısa sürede canlının sonlandırabilmektedir. Zehirlenme dediğimiz bu akut zarar görme biçimi dışında, canlı yaşamına ve çevredeki varlıklara normal atıklardan farklı olarak zarar verme biçimleri de “zararlılık” kavramı içine alınmış ve ülkelerin ilgili mevzuatlarının şekillenmesinde rol almıştır (Gönüllü, 2004).

Endüstrileşme yolunda olan ülkemizde tehlikeli atık oranı giderek artmaktadır. Miktarları giderek artan bu atıklar bazı önemli k rfezlerimizde geri dönülmesi çok zor biçimde tahrip etmekte, insan ve  evre sağlığında çok ciddi hasarlara yol açmaktadır (Kavlak, 2002).

Endüstriyel katı atıklar genelde geri kazanmaya uygun olan ve bir değer ifade eden atıklardır. Geri kazanılamayan atıklar ise eğer tehlikelilik özelliği varsa gerekli fizibiliteler yapıldıktan sonra; yakma ve piroliz, kimyasal ve fiziksel fiksasyon (katılaştırma), depolama, kompostlaştırma, anaerobik   r tme, hayvan yemi olarak kullanma vb. yöntemlerle bertaraf edilirler (Gönüllü, 2004).

2.3 Katı Atıkların Zararları

Katı atıklar; toprağa veya yüzeysel bir su kaynağına, mevcut kanalizasyon sistemine veya çöp toplama ve depo sahasına verildiği zaman, birçok  evre problemi ortaya çıkmaktadır. Bu uygun olmayan türden uzaklaştırma alternatiflerinden her biri, zararlı kimyasalların çevreye yayılmasına vesile olmakta ve bunun sonucunda, kirlenen toprak ve su, insan ve canlı

yaşamını etkilemektedir.

Katı atıkların sürekli olarak kanalizasyona ve yağmur suyu kanallarına verilmesi, bu toplama sistemlerinin zamanla bozulması sonucunu doğurur. Bu atıkların kanalizasyon sularındaki varlığı, atıksu arıtma sistemlerinde biyolojik prosese zarar vermektedir. Açık yağmur suyu dren kanallarına boşaltılan atıkların, özellikle kurak dönemlerde halk sağlığına zararları da söz konusudur (Arslankaya, 1999).

Konutlarda zararlı atıkların mevcudiyeti, çöp toplama ve taşıma personeline karşı doğrudan bir etkiye sahiptir. Her bir katı atık türünün insan sağlığına olan zararları, kimyasal literatürün dikkatlice incelenmesi sonucu değerlendirilebilmektedir. Ağız yoluyla, deri absorpsiyonu veya solunumla kafi miktarda vücuda alındığı zaman birçok kimyasalın zehirli olacağı kesindir. Katı atıklara maruz kalma sonucu, gözlerde ve deride tahriş, nefes darlığı, baş baş dönmesi, bulantı, sinirlilik hali gibi akut sağlık sorunları ile karşılaşmaktadır.

Şehir katı atıkları, toplandığı ve ayrımı yapıldığı zaman çöp toplayıcıları ve depo yeri çalışanları bir risk altındadırlar. Bununla ilgili olarak sağlık sorunları yanında teçhizat da zarar görebilmektedir.

Genel olarak, çöpler sıkıştırma tertibatına sahip kamyonlara kaldırım kenarlarından toplanarak yerleştirilir. Bu kamyonlarda sıkıştırma sonucunda, parçalanmış kaplardan sızan maddelere ve zararlı kimyasallara; hiçbir şeyden haberi olmayan çöp toplayıcıları maruz kalabilmektedir. Katı atıklar, çöp işçilerinin solunum sistemlerine zarar verebilmekte ve göz yanmalarına ve tahribata sebep verebilmektedir. Katı atıklardan her zaman sağlık sorunu meydana gelmemekte, bunun yanında başka zararlarda ortaya çıkabilmektedir (Arslankaya, 1999).

Katı atıkların çevreye olan zararları genel olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Sızıntı sularının yeraltı sularına geçmesi,
- Sızıntı sularının yüzey sularına geçmesi,
- Depo gazlarının atmosfere geçmesi,
- Depo gazlarının yandan yeraltına geçmesi,
- Tozun rüzgarla atmosfere karışması,
- Zararlı maddelerin bitki ve gıda maddelerine geçmesi,

- Direkt temasta bulunma,
- Epidemik (bulaşıcı) hastalıkların yayılması,
- Hoş olmayan kokuların yayılması,
- Sinek, fare vb. haşerenin çoğalması.

2.4 Katı Atıkların Miktar ve Bileşenleri

Katı atık miktarları ülkeden ülkeye ve aynı ülke içinde kentten kente, yerel koşullara, sosyal seviyeye, hayat standartlarına, beslenme alışkanlıklarına, coğrafi durum ve iklime, bölgenin büyüklüğüne, çöp kapların hacmine ve sayısına, çöp toplama hizmetlerinin bedeline bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ülkemizde kişi başına çöp üretimi ortalama yaz aylarında 1,28 kg./kişi-gün, kış aylarında 1,32 kg./kişi-gün ortalama ise 1,31 kg./kişi-gün iken Avrupa ülkelerinde 1,5–2,0 kg./kişi-gün, ABD’de ise 3,00 kg./kişi-gündür.

Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere, mevsimlere, yerleşim yerlerine ve bu yerlerde yürütülen sosyoekonomik faaliyetlere göre katı atık yapısında hem nitelik hem de nicelik olarak değişiklikler olmaktadır. Bu meydana gelen değişikliklerin sonucu katı atıkların yapısında oluşan değişimlerin sürekli olarak izlenmesi ve bunun için de devamlı örnekleme yapılması gereklidir. Çizelge 2.2’de Amerika ve Avrupa ülkelerindeki katı atık bileşenlerinin ortalama değerleri verilmiştir (Ebin, 2004).

Çizelge 2.2 Amerika ve Avrupa ülkelerinde (%) kuru ağırlık olarak katı atık bileşenleri
(Ebin, 2004)

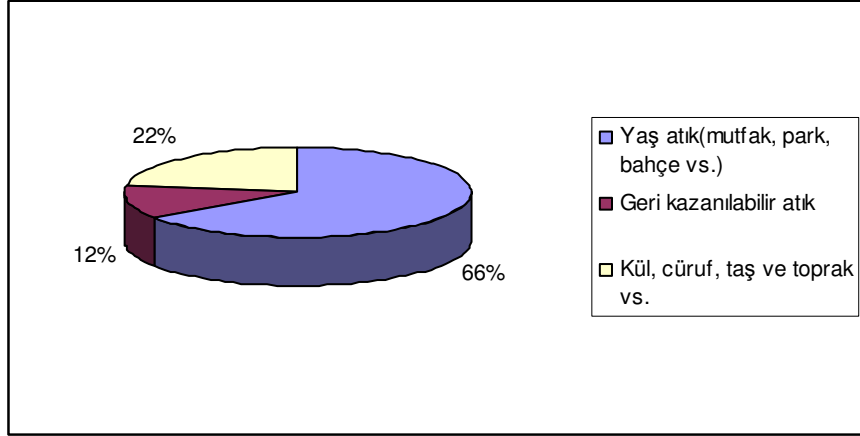
Parametre	Avrupa Ülkeleri	Amerika
Kağıt	20–42	28–50
Yemek atıkları(Organik)	20–50	6–18
Sokak süprüntüleri	12–18	5–20
Plastik	3–8	4–10
Cam	4–12	4–12
Tekstil	2–14	1–12
Metal	3–13	3–13
İnert/İnorganikler	1–20	0–6

Ülkemizde ortalama bir atık kompozisyonu vermek oldukça güçtür. 11 büyük şehir ve merkez belediyesinde (Adana, Ankara, Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Samsun, Bursa, Gaziantep, İskenderun, Kayseri, Konya) yapılan kompozisyon belirleme çalışmasında yola çıkarak

yaklaşık bir sonuca ulaşılabilir. Türkiye kompozisyonunda belirtilen parametrelerin değerleri 11 ilin aynı parametrelerinin aritmetik ortalamasıdır. Buna göre Türkiye'nin tahmini evsel katı atık kompozisyonu aşağıda Çizelge 2.3 ve Şekil 2.1'de verilmiştir. (Ebin, 2004).

Çizelge 2.3 Türkiye'nin tahmini evsel atık kompozisyonu (Ebin, 2004)

Atık cinsi	Yüzde (%)
Yaş atık (Mutfak, park, bahçe vs.)	65,45
Kül, cüruf, taş ve toprak vs.	22,48
Geri kazanılabilir atık	12,07

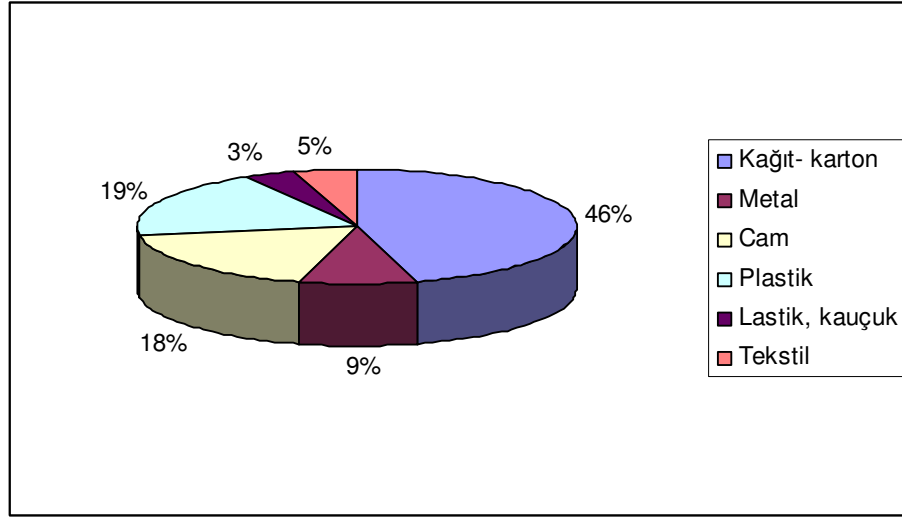


Şekil 2.1 Türkiye'de atık kompozisyonu (Ebin, 2004)

Türkiye'nin geri kazanılabilir atık kompozisyonu ise yine Adana, Ankara, Diyarbakır, İstanbul, İzmir ve Samsun illerinde yapılan çalışmaların ortalamalarının sonucu olarak aşağıdaki Çizelge 2.4 ve Şekil 2.2'de verilmiştir (Ebin, 2004).

Çizelge 2.4 Türkiye'nin geri kazanılabilir atık kompozisyonu (Ebin, 2004)

Geri kazanılabilir atık cinsi	Yüzde (%)
Kağıt- karton	45,45
Metal	8,60
Cam	18,45
Plastik	19,30
Lastik, kauçuk	3,35
Tekstil	4,85



Şekil 2.2 Türkiye’de ortalama geri kazanılabilir atık kompozisyonu (Ebin, 2004)

3. KATI ATIK YÖNETİMİ

Katı atıkların miktarı, su muhtevası, kalorifik değeri, bileşimi gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri, atığın üretildiği bölgenin nüfusuyla, ısınmada kullanılan yakıt türüyle orantılı olarak değişiklik gösterir. Hayat seviyesinin yükselmesi, sanayi ve teknolojinin ilerlemesi ile yeni ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi hem kişi başına günde üretilen çöp miktarını hem de çöplerin bileşimini büyük ölçüde değiştirmiştir (Karaaslan, 2003).

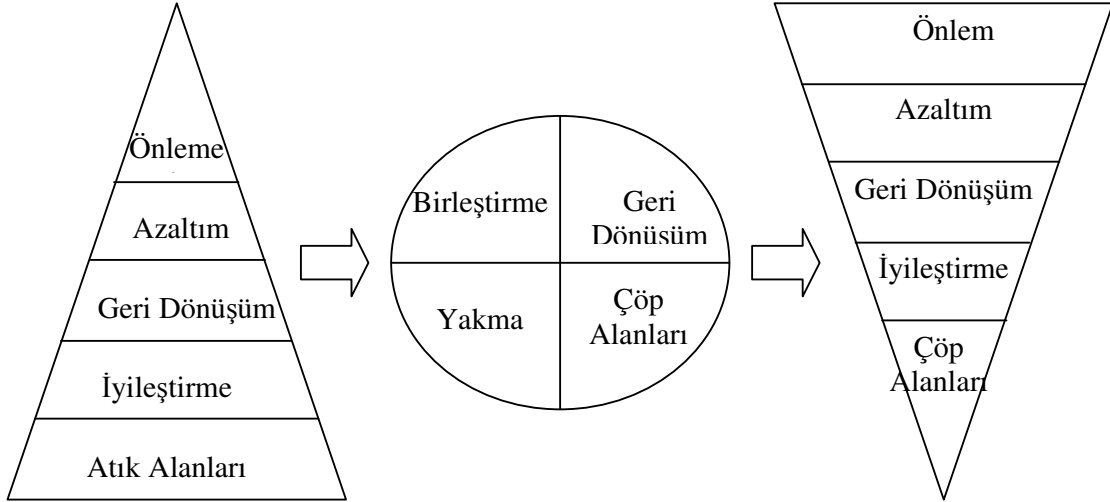
Katı atık yönetimine karar vermede; atıklara dair nitel ve nicel analizler ve atık akımlarının mevsimsel değişimlerinin belirlenmesine ilave olarak, toplum motivasyonunun ve duyarlılığının iyi tespit edilmesi sayesinde geri kazanım, tekrar kullanım, atık azaltma ve bertaraf gibi yönetim unsurları için potansiyel etkin çözümlerin üretilmesi mümkün olmaktadır. Verilere dayanarak geliştirilen çözümlerin sürdürülebilirliği ve etkinliği elde edilen verilerin kalitesine bağlıdır (Apaydın, 2004).

3.1 Katı Atık Yönetiminin Tanımlanması

Katı atık yönetimi (KAY); katı atıkların oluşumu, geçici depolanması, toplanması, taşınması, işlenmesi ve sistemli şekilde bertarafını kapsayan bir faaliyeti içerir. KAY, kamu sağlığı, ekonomi, mühendislik, doğal kaynakların korunması, estetik ve diğer çevresel faktörler uyumlu; ayrıca halkın tutum ve davranışlarına karşı duyarlı olmak zorundadır. KAY; katı atık problemlerine yönelik oluşturduğu çözümlerde, idari, finansal, yasal, planlama ve mühendislik fonksiyonlarını kapsar. Bununla beraber katı atıklara uygun çözüm oluşturma, siyaset bilimi, şehir ve bölge planlaması, coğrafya, ekonomi, halk sağlığı, sosyoloji, mühendislik ve malzeme bilimi gibi çeşitli disiplinlerle çok yönlü ilişkiler kurmayı da gerektirir.

Günümüzde atık miktarı ve karakterindeki çeşitlilik, plansız ve çarpık kentleşme, maddi imkânların yetersizliği, sürekli gelişen teknolojilerin etkileriyle enerji ve hammadde kaynaklarının giderek azalması gibi çeşitli faktörler şehirlerin KAY 'ine karmaşık bir hüviyet kazandırmaktadır. Bu bağlamda KAY, katı atıkların içeriği, işlenmesi ve ayrılması, transferi ve nihai bertarafına kadar olan işlemler ile maliyet unsurlarını içerir (Karadağ, 2002).

Almanya, İsveç, Japonya ve Amerika gibi bazı gelişmiş sanayi ülkeleri, kaynakları ayrıntılı kullanma ve katı atık yönetiminde dikkate değer başarı sağlamışlardır. Şekil 3.1 'de de gösterildiği gibi, 1960-2004 zaman aralığında bu ülkeler katı atık yönetimi stratejisinde oldukça fazla değişiklik yapmışlardır (Hui vd., 2005).



Şekil 3.1 1960-2004 gelişmiş endüstri ülkelerindeki katı atık yönetiminde strateji gelişim değişimleri (Hui vd., 2005)

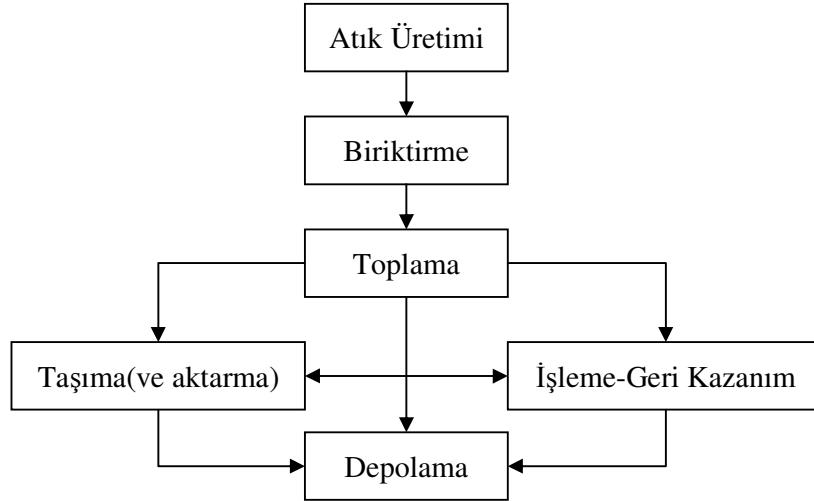
Katı atık yönetimindeki ilk devrim niteliğindeki değişim, azaltım ve geri dönüşümle başlamıştır (Azaltım: kullanımın azaltılıp yeniden kullanımın artırılmasıdır.). Ayrıca organik atıkların yakılıp kül edilmesi ve gübre haline getirilmesi, atık alanlarının tek seferlik kullanımına nazaran katı atık yönetiminde çok daha fazla tercih edilen bir yöntem olmuştur (Hui vd., 2005).

3.2 Katı Atık Yönetiminin Bileşenleri ve Atık Yönetimi Hiyerarşisi

Bir katı atık yönetim sistemi, atığın son elden çıkarılması dahil olmak üzere, geri dönüşümü, yeniden kullanımı, kompostlaştırılması ve yakılması için hazırlanmış planları ve kurulmuş tesisleri kapsamaktadır (Badran, 2005).

Bir atık yönetim sisteminde, çeşitli farklı aktiviteler birleştirilmelidir. Her aktivite özel bir amacı gerçekleştirmeye yöneliktir. Katı atıkları etkili bir şekilde yönetmek için, bu aktiviteler arasındaki karşılıklı ilişkiler açık bir şekilde iyice anlaşılmalı ve tanımlanmalıdır (Shah, 2000).

KAY 'in bileşenleri Şekil 3.2'de şematik olarak ve karşılıklı ilişkileriyle beraber gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Katı atık yönetiminin ana bileşenleri (Alpaslan, 2005)

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi KAY ’in ilk aşaması katı atık üretimidir. Her gün miktar olarak artış, nitelik olarak çeşitlilik gösteren katı atık üretimi, günümüz katı atık yönetiminde, birçok araştırmacı ve uygulayıcının “azaltma” ilkesiyle yoğunlaştığı aşamadır. Herkesin birleştiği nokta, bir taraftan atık toplama ve bertarafına yönelik en ileri teknolojiler geliştirilirken, diğer taraftan çıkan atıkların azaltılmasının bir gereklilik olduğu şeklindedir. Bu halkın eğitiyle ve ayrıca üreticinin (sanayicinin) bilinçleştirilmesi ve yönlendirilmesiyle gerçekleştirilir.

KAY ’in ikinci aşaması üretilen katı atığın, üretildiği mekânda biriktirilmesi. Biriktirme işlemi, en basit çöp toplama kaplarında, en karmaşık çöp bacalarına kadar çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu aşamada önemli olan hususlar biriktirme kaplarının hacimsel, malzeme ve kullanılabilirlik açısından uygun bir şekilde hazırlanması, konumlandırılması ve bunların toplama sistemiyle olan uyumdur.

KAY ’inde üçüncü ve dördüncü aşamaları toplama ve taşıma (ve gerektiğinde aktarma) dır. Taşıma ve aktarma bileşeni, genellikle büyük ölçekli kentler ve metropoller için önem arz etmektedir. KAY ’de paranın en çok harcandığı, irade ile halkın en çok karşı karşıya geldiği, muhatap olduğu toplama taşıma aşaması, son derece karmaşık bir aşama olup, optimize edilmesi halinde tüm paydaşların lehine büyük avantajlar sağlanabilir. Bu aşama eskiden katı atıklarla ilgili olarak yerel yönetimlerin yapması gereken yegâne işlem olarak görülür ve dolayısıyla çöpler sadece toplanıp bir yere taşınır ve atılırdı. Bugün bile gelişmemiş yöreler ve yerel yönetim anlayışları içinde aynı şekilde düşünülen ve değerlendirilen bir aşama özelliğindedir.

KAY ’inde çöpler üretilip, biriktirilip, toplanıp, taşındıktan sonra, kısa süre öncesine kadar,

gelişmiş ülkelerde bile, doğrudan düzenli (veya düzensiz) çöp toplama alanlarına götürülür ve burada depolanırdı. Ancak günümüz model KAY sistemleri üretim-biriktirme-toplama/taşıma-depolama kısa yolunu reddetme, bu kısa yolun öncesine, mutlaka bir işleme-geri kullanım/geri dönüşüm/geri kazanım-aşaması koymaktadır. Günümüz KAY felsefesinin ana temasını oluşturan bu aşamada, katı atık tanımında yer alan “işe yaramaz” ifadesi reddedilmekte ve oluşan atık, o maddenin yaşam döngüsü (life cycle) içinde bir bölüm olarak kabul ederek, maddenin yaşamına devam etmesi ve döngüyü sürdürmesi için gerekli teknolojiler geliştirmekte ve uygulanmaktadır.

Geri kazanım veya başka süreçler uygulansın veya uygulanmasın, günümüz koşulları ve uygulamaları içinde, KAY 'inde olmasa olmaz bileşenlerden biri de “katı atık düzenli depolama alanları”dır. Katı atıkların usulüne uygun olarak depolandığı, bu bağlamada çıkan sızıntı sularının toplanıp arıtıldığı, oluşan gazların usulüne uygun uzaklaştırıldığı, işletme ömrü sona erince sahanın arazi kullanımlarına uygun şekilde kapatıldığı, işletme süresince gerekli kuralların uygulandığı, böylelikle çevreye verilebilecek olumsuz etkilerin en aza indirildiği alanlar, çöplerin depolandığı düzenli depolama alanlarıdır. Bu aşama Şekil 3.2’de görüldüğü gibi KAY 'inde nihai aşama olarak da değerlendirilebilir.

Tüm bu bilgilerden sonra KAY 'in ana ilkeleri özetlenmek istenirse, günümüz yaklaşımlarında aşağıdaki iki önemli kavramın ön plana çıktığı görülür:

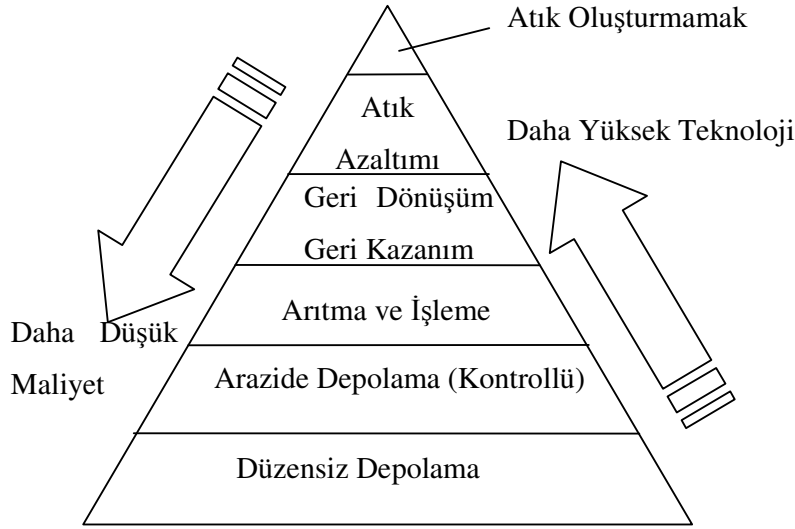
- a. Katı atık miktarını ve atık oluşumunu azaltmak,
- b. Çevreye zarar vermeden bertarafı mümkün olmayan maddeleri üretim sürecinde kullanmamak ve üretmemektir.

Bu iki ana ilkeyi takiben KAY 'i sürdürülebilir kılacak yönetim enstrümanlarını işlevsel hale getirmek gereklidir. Katı atık yönetiminin sürdürülebilir olması, “yönetimin çevreseli teknik, ekonomik, sosyo-kültürel, yasal, politik vb. bileşenleri göz önüne alarak, sürdürülebilirlik kavramı ile uyumlu bir program uygulaması” şeklinde tanımlanabilir.

Katı atık yönetimi, katı atık sorunlarının çözümünde etkin ve ilgili olan tüm idari, idari, yasal, çevresel, teknik vb. bileşenleri entegre bir anlayışla içine alacak bir şekilde oluşturulmalıdır. Entegre bir katı atık yönetimi, yönetim hedeflerini yerine getirmek amacıyla uygun teknik, teknoloji ve yönetim programlarını seçimi ve uygulanması olarak tanımlanabilir (Alpaslan, 2005).

KAY, son yıllarda şekil 3.3’de verildiği gibi bir atık yönetimi hiyerarşisi kavramı ile de

açıklanmaktadır.



Şekil 3.3 Atık yönetim hiyerarşisi (Alpaslan, 2005)

Bu şekilden görüldüğü gibi entegre atık yönetimi hiyerarşisinde en üst seçenek, ilk noktada katı atık üretmemektir. Hiyerarşinin daha sonraki basamağı olan atık azaltımı birkaç şekilde gerçekleştirilebilir:

- Üretim proseslerinin daha az ya da hiç atık üretmeyecek şekilde düzenlenmesi,
- Tüketicilerin satın alma ve kullanım alışkanlıklarında değişimler: Aşırı ambalaj malzemesi kullanan ürünleri veya çok fazla miktarda enerji ve hammadde kullanılarak kullanılan gereksiz veya lüks sayılabilecek ürünleri satın almamaları.

Hiyerarşinin daha sonraki basamakları ise:

- Geri kullanım: Bir ürünün aynı formda ve aynı ya da benzer amaçlarla birçok kere kullanılmasıdır.
- Geri dönüşüm: Bertaraf edilecek bir materyalin işlenmesi ve aynı veya benzer bir ürün olarak yeniden üretimidir.
- Geri kazanım: Malzemenin fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak form değiştirilmesiyle başka bir faza dönmesidir.

Öte yandan, “entegre katı atık yönetimi”nin bir başka özelliği, probleme farklı açılardan bakarak değişik kesimlerden oluşan taleplerin sistematik olarak incelenmesi ve çözüm üretilmesidir. Söz konusu bakış açıları halk sağlığı ve çevresel, politik/yasal, kurumsal, sosyo-

kültürel, finansal/ekonomik ve teknik olmak üzere altı başlık altında incelenebilir.

Sonuç olarak KAY ardışık veya ardışık olmayan birçok süreçten meydana gelmektedir. Bu süreçler bir taraftan kendi içinde bağımsız, diğer taraftan karşılıklı olarak etkileşim içindelerdir. Süreçlerin en iyileşmesi ve optimum çözümlerin bulunması için, probleme çok disiplinli açılarla bakılması gerekmektedir (Alpaslan, 2005).

3.3 Katı Atık Bertaraf Teknolojileri

Katı atıkların çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden etkisiz hale getirilmesi ve içindeki maddeleri yeniden değerlendirerek, ekonomik değeri yüksek maddeleri ekonomiye kazandırılması için şu yaygın metotlar kullanılır:

- a. Geri kazanma
- b. Yakma
- c. Kompostlaştırma
- d. Düzenli depolama

Bu teknolojiler, ISWA tarafından şu şekilde ifade edilmiştir: Malzemelerin geri kazanımı, atığın organik parçalarının biyolojik işleme tabi tutulması, enerji geri dönüşümü için yok etme ve sağlıksal gömme [3].

Bir katı atık bertaraf tesisinin genel olarak şu koşullara sahip olması gerekir:

- Tesisin yapısı, katı atığın optimum giderilmesini ve işlenen atıkların hijyen açısından sakıncasız olmasını temin etmelidir.
- Uygulanacak metodun önceden denenmiş ve başarıya ulaşmış olması gerekir.
- Tesisin otomatik proses kontrolü, bakım ve işletilmesi bir merkezden sağlanmalıdır.
- Tesisin etrafa kötü koku, gaz, toz ve duman yayılması tamamen önlenmelidir.
- Tesis artan katı atık miktarına göre genişletilmeye elverişli olmalıdır.
- Mimari ve peyzaj yönden çevreyle uyum halinde olmalıdır.

Çizelge 3.1 Çeşitli ülkelerdeki katı atık yönetim teknolojilerinin dağılımı (Ebin, 2004).

Ülke	Katı atık bertaraf teknolojisinin kullanıldığı oran(%)			
	Düzenli Depolama	Yakma	Kompostlaştırma	Geri Kazanma
Avustralya	82	2,5	-	15,5
Kanada	80	8	2	10
Fransa	45	42	10	3
Almanya	46	36	2	16
Yunanistan	100	-	-	-
İrlanda	97	-	-	3
İtalya	74	16	7	3
Hollanda	45	35	5	15
Portekiz	85	-	15	-
İspanya	64	6	17	13
İngiltere	88	6	-	6
A.B.D.	67	16	2	15

3.3.1 Geri Kazanım

Geri kazanımla katı atıklar içerisindeki ekonomik değeri olan atıklar tekrar değerlendirilmektedir. Bir geri kazanım programına başlamadan önce hedeflerin belirlenmesi gerekir. Bu hedefler ortaya konulurken mevcut imkânlarla uyumlu olmalıdır. Geri kazanımın hedefleri;

- Çevre koruma,
- Doğal kaynakların korunması,
- Enerji tasarrufu sağlamak,
- Yer tasarrufu sağlamak olarak sıralanabilir.

Çevre korumadan amaç, geri kazanılabilir atıkların ekonomiye tekrar geri kazandırılmasıyla, hava, su, toprak ve görüntü kirliliğinin azaltılmasıdır.

Doğal kaynakları korumadan amaç, atıkların ikincil hammadde olarak kullanılmasıyla, doğal kaynakların tüketim hızının azaltılmasıdır.

Enerji kazanımının gayesi, atık maddelerin enerji içeriğinin kullanılması ile yenilemez enerji kaynaklarının tüketim hızlarını azaltmak, aynı zamanda ikincil hammaddelerin üretim esnasında enerji tasarrufu sağlamaktır.

Yer tasarrufu sağlamak ise, geri kazanılabilir atıkların yeniden kullanılmasıyla, düzenli depolama sahalarının daha uzun süreli kullanımını sağlamaktır.

Geri kazanma hedefi belirlendikten sonra toplama aşamasına geçilir. Toplama işlemi düzenli ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmelidir (Karadağ, 2002).

3.3.2 Yakma

Yakma, katı atık teknolojisi bakımından bir hacim küçültme işlemidir ve % 80–90’lık bir azalma sağlanmaktadır. Çöplerin çok heterojen bir yapıya sahip olmaları ve çok değişik maddeleri ihtiva etmeleri sebebi ile yakılmaları çok ileri teknoloji gerektirmektedir. Kalorifik değerlerinin düşüklüğü, heterojen özelliği, ihtiva ettiği su dolayısıyla katı atık (ilave enerji vermeden) yanmamaktadır. Yakma teknolojisi İstanbul, İzmit ve Şanlıurfa katı atıkları için alternatif çözüm değildir.

Katı atık yakma tesisleri, teknoloji yoğun projeler oldukları için ilk yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir. Bunun yanında, katı atık yakma tesisleri için en önemli ve öncelikli araştırma ya da kriter, çöpün niteliğinin yakma işlemine uygun olup olmadığının saptanmasıdır. Çöpün yakılabilmesi için, birçok araştırma yapılmalı ve o yöredeki farklı çöp numunelerinin incelenmesi sonucunda gerekli ısı (kalorifik) değeri sağladığı kanıtlanmalıdır. Bir diğer ve önemli nokta da katı atık yakma tesisinin işletilmesi sırasında sürekli ve uygun kalitede çöpün tesise gelmesidir, sistemi sürekliliği açısından yakma tesisleri için düzgün bir atık akışı sağlanmalıdır. Yakma tesislerinden katı atıkların yakılması sonucu genelde elektrik ve ısı enerjisi elde edilmektedir. Yakma genellikle düzenli depolama için yer sıkıntısı olan ülkelerde, gerekli depo alanı ihtiyacının azaltılması için yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Yanına sonucu oluşan baca gazlarının arıtılması zorunluluğu, bu metodun en mahzurlu yanıdır. Katı atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan yaklaşık %30 civarındaki kül ve cürufun uzaklaştırılması için nihai bir düzenli bir düzenli depolamaya ihtiyaç vardır.

Hastanelerin, kliniklerin, laboratuvarların ve benzeri yerlerin hastalık bulaştırıcı enfekte, kimyasal ve radyolojik atıkları ile tehlikeli atıklarını ve de tüketicilerin, kullanılmış akü ve piller ile ilaç atıklarını, evsel atıklar ile birlikte atmaları yasaktır. Belediye ve mücavir alan sınırları içinde belediyeler, bu alanlar dışında ise mahallin en büyük mülki amiri, yukarıda belirtilen ve ihtiva ettikleri zararlı maddeler dolayısıyla sonuçlanması, değerlendirilmesi veya bertarafı özel işlemler gerektiren atıkları, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre bertaraf eder veya ettirir.

Ülkemizde yasal yöntemler arasında sayılmış olmakla beraber uygulanması uygun bulunmayan bir yöntemdir. Bunun yerine düzenli depolama ve tıbbi atıklarda sterilizasyon yöntemleri kullanılması benimsenmiştir. Katı atıkların yakılması, atıkların en az 800 ile

1200°C arasında sıcaklıkta yakılarak hijyenik olarak zararsız hale getirerek hacminin azaltılmasına, yok edilmesine ve maliyet bakımından uygunsa enerji elde edilmesine dönük bir sistemdir. Bu yöntem, atığın yanabilir madde oranı bakımından zengin olmasını gerektirir. Ülkemizde gerekli standartlara göre ısı değerinin en az 2000kcal/kg olması gerekmektedir.

Tıbbi atıkların yok edilmesi yakmanın yanı sıra buharlı sterilizasyon, yaş oksidasyon, mikrodalga dezenfeksiyonu gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Ülkemizde kullanılan yöntem yakma doğrultusundadır. İstanbul'da bir adet tıbbi atık yakma tesisi bulunmakta; İzmit'te bulunan yakına tesisinde tıbbi atıklarda işlem görmektedir. Tıbbi atıkların büyük bir kısmı evsel atıklarla beraber düzensiz depolanarak bertaraf edilmektedir.

Türkiye'de tehlikeli atık yakma tesisi ilk olarak 1996 yılında gündeme gelmiş ve İzmit ilinde 1 adet yakma tesisi yapılmıştır. Endüstriden kaynaklanan yanabilir nitelikteki ilaç ve hastane atıkları, plastik ve lastik atıklar, kozmetik atıkları, kullanılmış yağ, petro-kimya atıkları gres ve yağlı atıklar, kullanılmış plastikler, solvent, boya, boya döküntüleri, yapıştırıcı ve yapışkanlar vb. tehlikeli atıkların yakılarak bertaraf edilmesine dayanmaktadır (Kavlak, 2002).

3.3.2.1 Yakma Tesisi İle İlgili Teknik Hususlar

Katı atıkları hijyenik olarak zararsız hale getirmek, hacmini azaltmak ve kısmen enerji elde etmek maksadı ile inşa edilen yakma tesislerinin özellikleri. KAKY 'in maddesinde belirtilmiştir. Buna göre; kapasitesi 0.75 ton/saat 'den küçük olan evsel atık yakma tesislerinde baca gazı içindeki oksijen fazlalığı %17, kapasitesi 0.75 ton/saat' den büyük olan evsel atık yakma tesislerinde ise %11 olması gerekmektedir.

Katı atık yakma tesislerinde katı atık miktarlarındaki günlük ve haftalık değişimleri dengelemek ve atıkların yanma hücrelerine verilmesini sağlamak amacı ile;

- Bir ön silo inşa edilmesi,
- Bu ön silolarda vakum uygulanarak, boşaltma sırasında ortaya çıkabilecek tozun çevreye yayılmasının önlenmesi,
- Bu ön silodaki basıncın atmosfer basıncının altında tutulması,
- Emilen havanın yakma hücrelerine gönderilerek yakılması,
- Yakma hücresinin çalışmaması durumunda silodan emilen havanın bacadan atmosfere

verilmesi,

- Son atıklar ve arıtma çamurunun da tesiste yakılması halinde, bu maddelerin kapalı kaplar içinde depolanması, üstü açık olan boşaltma yerlerinde bir hava emme tertibatı veya vakum bulundurulması,
- Yakma hücresinin devreye alınabilmesi, hücredeki sıcaklığın belirli bir değerin altına düşmesi halinde ani olarak devreye girecek yakıtla yedek yakma sisteminin bulunması,
- Yakma tesislerinin bacaları ile ilgili olarak Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğindeki hususların yerine getirilmesi gerekir.

Yakma tesislerinde ise;

- Son yakma hücresinin bulunması,
- Minimum hücre sıcaklığının 800 °C olması,
- Sistemde poliklorlü aromatik hidrokarbonu çok olan atıklar yakılıyorsa, yakma hücresinin sıcaklığının 1200 °C olması,
- Yakma hücresindeki sıcaklığın devamlı ölçülmesi, kaydedilmesi ve hücredeki sıcaklığın istenen sıcaklığın altına düşmesi halinde, yedek yakma sisteminin otomatik olarak devreye girerek son yakma hücresindeki sıcaklığın artırılması,
- Atığın son yakma hücresine hücredeki sıcaklığın yedek yakma sistemi ile istenen minimum yakma sıcaklığına eriştikten sonra verilmesi,
- Yanma sonucunda çıkan cüruf içinde yanmamış atık miktarının ağırlık olarak, külün %2'sini geçmemesi ve tesiste arıtma çamuru yakılması halinde bu değerin %3'e kadar çıkabilmesi,
- Cüruf ve baca gazı partiküllerinin ayrı ayrı toplanması,
- Yakma sonucu ortaya çıkan ısı ve cürufun değerlendirilebilmesi için gereken önlemlerin alınması,
- Tesiste Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde belirtilen sınır emisyon değerlerini sağlayacak baca gazı temizleme sistemlerinin bulunması gerekir.

Belediyeler atık bertarafının yakma ile olacağı hallerde ayrı toplama ve/veya ayırma ile ilgili

plan ve projelerini yakma tesisleri ile birlikte gerçekleştirmek zorundadır. Genel olarak bir maddenin yanabilmesi için kalorifik değerinin yeterli olması ve yanmayı açıklayan havanın girişini engelliyen bir özelliğinin olmaması gerekmektedir. Katı atığın enerji gerektirmeden yanabilmesi için kalorifik değerinin $H_u > 1200 \text{ kcal/kg}$, yanabilmesi için de $H_u > 800 \text{ kcal/kg}$ olması gerektiği belirtilmiştir. İstanbul için bu değerler her halükarda $H_u < 1200 \text{ kcal/kg}$ 'dır. Demek ki kalorifik değer yönünden İstanbul katı atıklarını yakmak mümkün değildir (Kavlak, 2002).

3.3.2.2 Evsel Katı Atık Tesisinde Yakılması Yasak Olan Maddeler

Evsel katı atık, evsel arıtma çamuru ve evsel katı atık benzeri endüstriyel atıkları yakmak maksadıyla İnşa edilen yakma tesislerinde ağırlık olarak katı atık toplam miktarının %1'ini geçen organik bağlı klor veya 1 kg atıkta 50 mg'dan fazla halojenli organik madde ihtiva eden tehlikeli atıkların yakılması yasaktır (Kavlak, 2002).

3.3.2.3 Yakma Yönteminin Avantajları

- Atık hacmi %75–80, atık ağırlığı %60–70 arasında azalır, depolama alanlarının kullanım ömrü artar.
- Yanma ürünleri olan cüruf, kül, gaz, vb. biyolojik olarak ayrılmaz formdadır. Atıklar hijyenik olarak kusursuz hale getirilir.
- Alan ihtiyacı az olduğu için yerleşim yerlerinin yakınına inşa edilerek taşıma maliyeti düşer.
- Enerjiden geri kazanma olur. Yakma tesislerinden genelde elektrik ve ısı enerjisi elde edilmesi söz konusudur (Kavlak, 2002).

3.3.2.4 Yakma Yönteminin Dezavantajları

- Atılan kül ve cüruf yoğunlaşmıştır; inorganik maddeler içeren bu atıkların büyük bir özenle depolanması gerekir.
- Cürufun su ile soğutulması ve baca gazının su ile yıkanması sonucunda atık su oluşmaktadır.
- Taşıma maliyetini azaltmak amacıyla yerleşim yerlerinin yakınına kurulan tesisler, çıkan gazlar nedeniyle burada yaşayanların sağlığını tehdit etmektedir.

- Düzgün yakma olmaması halinde atılan cüruf organik madde ve hastalığa yol açan mikroplar barındırır.
- Tesisin ilk yatırımı çok pahalıdır ve nitelikli personel gerekmektedir.
- Yakma işlemi sırasında çıkan zehirli gazlar ve yakma işlemi sonrasında çıkan yüksek tehlike düzeyine sahip atıkların depolanması çok sayıda ülkede önemli toplumsal gerginliğe yol açmaktadır (Kavlak, 2002).

3.3.3 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma yöntemi prensip olarak, katı atıkların içinde bulunan organik ayrışabilir maddelerin mikroorganizmalar tarafından, ideal koşullarda (yeterli su, hava sıcaklık, tane yapısı, pH) biyokimyasal ayrıştırılması esasına dayanmaktadır. Teknik olarak bu işlem statik ve dinamik olmak üzere iki ana yöntemle yapılmaktadır. Genel anlamda uygulanan yöntem sayısız denecek kadar çoktur. İzmir'de Halkapınar-Çiğli' de bir kompostlama tesisi bulunmaktadır. Bu tesis Dono-Tamburu yöntemi çalışır dinamik yöntemdir. Tambur içinde (3,5 m çapında x 26 m uzunluğunda) 1–5 gün arasında kalan çöpler ön ayrışmaya uğrarlar ve bu arada materyalin sıcaklığı 60–70 °C'yi bulur. Bu sahada da biyolojik dezenfeksiyon olmaktadır.

Kompostlaştırma işlemi biyokimyasal bir reaksiyon olduğundan, katı atıkların bu reaksiyona elverişli olup olmadığı şu faktörlerle belirlenir:

1. Fiziksel özeliği,
2. Kimyasal bileşimi,
3. Mikroorganizma kapasitesi,
4. Mikroorganizmanın hayati faaliyetlerine tesir eden ekolojik faktörler (su, hava, sıcaklık, pH),
5. Materyalin hazırlanması ve kompostlaştırma metodu (Karar, 1994).

Düzenli depolama alanlarının ömrünü artırmak ve buralara gelecek katı atık miktarlarını azaltmak için alternatif uzaklaştırma yöntemlerinden biri de kompostlaştırmadır. Bu metod, düzenli depolamaya göre biraz daha pahalı, yakmadan ise çok daha ucuz ve düzenli depolamaya gidecek katı atık miktarının azalmasını sağlamasından dolayı ise çevre dostu bir sistemdir. Kompostlaştırma havalı ve havasız olarak yapılabilir. Günümüzde en yaygın

kompostlaştırma yöntemi havalı (aerobik) yöntem olmakla birlikte havasız (anaerobik) yöntemde düşük enerji ihtiyacı ve ilave enerji üretimi (metan gazı) gibi üstünlükleri nedeniyle yaygın ilgi görmektedir.

Bilindiği gibi kompost, katı atıkların içerisinde bulunan organik değeri yüksek malzemelerin fermantasyon sonucu toprağı ıslah edici malzeme haline, dönüştürülmesi olayıdır. Kompost, gübreden farklı olarak toprağı ıslah edici organik değeri yüksek malzemedir. İçerisine azot ve fosfor verilerek istenilen şekilde gübre elde edilir.

Kompost tesislerinin ülkemizdeki uygulamaları sınırlı sayıda olup, (Antalya, Giresun, Edirne, İzmir, Kemer, Mersin, Turgutlu, Menemen ve Yalova) şimdiye kadar beklenen başarı elde edilememiş, bu tesisler genelde çalıştırılmamıştır. Bunun için bir kompost tesisi kurmadan önce mutlak surette fayda/maliyet analizinin yapılması ve araştırılması gerekmektedir (Kavlak, 2002).

3.3.4 Depolama

Kuru arazilerde katı atıklar, hendek metodu, alan metodu, vadi dolgusu metodu ve rampa metodu olmak üzere çeşitli şekillerde depolanmaktadır.

Depolama, ev çöpleri, endüstrinin ev çöpleri benzeri katı atıkları, atık su çamuru vb. gibi katı atıkların seçilen bir yerde sürekli ve genelde son olarak bırakılmaları olarak tanımlanabilir (Kavlak, 2002).

3.3.4.1 Düzenli Depolama

Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların öncelikle geri kazanılması esastır. Geri kazanmanın ekonomik ve teknik olarak mümkün olmaması halinde, atıklar çevre sağlığının korunması, katı atık hacminin azaltılması, kısmen enerji veya kompost elde edilmesi amacıyla termik veya biyolojik işlemlere tabi tutulur. Ancak termik veya biyolojik işlemlere elverişli olmayan veya bu işlemler sonucu yan ürün olarak ortaya çıkan atıkların depolanması zorunludur. Katı atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi için uygulanan çeşitli metotlardan, yeterli arazinin olması halinde en ekonomik olanıdır. Ülkemizde katı atık bertarafında benimsenmiş olan yöntem düzenli depolamadır.

Kısaca, atıkların toprak altına gömülmesi olarak da tanımlanan düzenli depolama, atıkların araziye gelişi güzel bırakılmasından farklı olarak, katı atıkların çevre sağlığına uygun bir şekilde önceden bu amaçla hazırlanmış olan araziye dökülerek sıkıştırılması;

Günlük olarak üzerinin toprakla örtülmesi; arazi dolumu tamamlanınca üzerinin toprakla kapatılması ve çürümeye terk edilmesi; bu alanların yeşil alan yapmak gibi yollarla kullanıma açılması yöntemidir.

Evsel atıkları düzenli depolamak amacıyla inşa edilen depolara, insan ve çevre sağlığını korumak amacıyla;

- Sıvıların ve sıvı atıkların,
- Akıcılığı kayboluncaya kadar suyu alınmamış arıtma çamurlarının,
- Patlayıcı maddelerin,
- Hastane ve klinik atıklarının,
- Hayvan kavrularının,
- Depolama esnasında aşırı toz, gürültü, kirlenmeye ve kokuya sebep olabilecek atıkların,
- Radyoaktif madde ve atıkların,
- Tehlikeli atık sınıfına giren katı atıkların,
- Hafriyat topraklarının,

depolanması yasaktır. Hafriyat toprakları hariç, yukarıda belirtilen atıklar, evsel atıklardan ayrı olarak, zemin geçirimsizliği iki kat artırılmış ayrı bölmelerde depolanırlar.

Evsel katı atıkların yanında, endüstriden gelen tehlikeli atıklar da çöp depolama alanlarına gelmektedir. Zehirli, kanserojen, mütajen ve teratojen etkilere sahip tehlikeli maddeler yanında evsel atıklar son derece masum ve tehlikesizdir. Endüstriden gelen tehlikeli atıkların da sadece sıhhi depolama alanları bünyesinde ayrılmış özel yerlerine kabul edilmeleri, çevre ve halk sağlığı açısından kaçınılmayacak bir vecibedir (Kavlak, 2002).

3.3.4.2 Düzenli Depolama Tesislerinin Yer Seçimi

Düzenli depolama işlemi, depo sahası için uygun yer seçimi ile başlar. Yer seçiminde dikkat edilecek hususlar şunlardır:

“Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkları ve arıtma çamurlarını düzenli olarak depolamak amacıyla inşa edilen depo tesisleri, Bakanlık veya ilgili belediyeler tarafından

içme suyu temin edilen ve edilecek olan yüzeysel su kaynaklarının korunması ile ilgili olarak çıkarılan yönetmeliklerde, çöp dökülmeyeceği ve depolanmayacağı belirtilen koruma alanlarında kurulamaz. Depo tesisleri, en yakın yerleşim bölgesine uzaklığı 1000 metreden az olan yerlerde inşa edilemez. Taşkın riskinin yüksek olduğu yerlerde, heyelan, çığ ve erozyon bölgelerinde, içme, sulama ve kullanma suyu temin edilen yeraltı suları koruma bölgelerine katı atık depo tesislerinin yapılmasına müsaade dilemez. Bu alanlar işletmeye açıldıktan sonra iskâna açılmayacak şekilde planlanır ve etraflarına bina yapılmasına müsaade edilemez.”

Yine bu alanların; işletmeye kapatıldıktan itibaren en az 40 yıl yerleşime açılmaması sağlanmalı, havaalanına en az 3 km uzaklıkta olmalı, deprem bölgelerinde-fay hattı üzerinde inşa edilmemeli, şehircilik açısından hâkim rüzgâr yönünde inşa edilmemeli ve depolama sahası en az 10 yıllık ihtiyaca cevap verecek kapasitede olmalıdır (Kavlak, 2002).

3.3.4.3 Düzenli Depolama Tesislerinin Özellikleri

Düzenli depolama tesislerinin özellikleri KAKY ‘in 25. maddesinde şöyle belirtilmiştir. Buna göre;

- Evsel ve evsel katı atık özelliğindeki endüstriyel atıklar ile bunların atık su arıtma çamurlarını depolamak üzere inşa edilen depo tesislerinin asgari kapasiteleri, nüfusu 100.000’den küçük olan yerleşim bölgelerinde 10 yıllık depolama ihtiyacını karşılayabilecek şekilde, nüfusu 100 000’den büyük olan yerlerde 500.000 m³ olur.
- Depo tesisine ulaşım ve depo iç yollarında geçiş her türlü hava şartlarında mümkün olacak şekilde olur.
- Planlanan depo tesisi bir çit ile çevrilir.
- Depolama sahasında kirlenen araba tekerleklerinin yolları ve caddeleri kirletmemesi için, tekerlekleri temizleyecek teknik tedbirleri alınır.
- Depo tesisi girişinde, girişi kontrol altında tutmak, gelen katı atıkları muayene etmek, tartmak amacıyla bekçi kulübesi, işletme odası, kantar ve kantar binası bulunur.
- Yine bu alanlarda geri kazanılan maddelerin ayrılacağı ve depolanacağı tesisler de bulunmalıdır (Kavlak, 2002).

3.3.4.4 Depo Tabanının Teşkili ve Sızıntı Suyu Toplanması

Katı atıklarla temasa geçen bütün sıvılara sızıntı suları denilmektedir. Sızıntı suyu çoğunlukla

katı atık dolgu alanının aktif bölümüne yağın ve atık tarafından emilen yağmur sularından kaynaklanır. Atık, doyma kapasitesine ulaştığında; su beraberindeki kirleticileri taşıyarak atıktan dışarı sızar. Bir katı atık dolgu alanında sızıntı suyu oluşumu, arazideki iklim koşulları, yüzey suyu kontrolü, boşaltılan atığın nem içeriği, katı atık dolgu alanına serilen taban örtüsü ve yerleştirilen sızıntı suyu toplama sistemi gibi birçok faktöre bağlıdır.

Katı atık depo sahalarında çevre kirliliği açısından en önemli problem sızıntı suyudur. Depolama tabanında yapay yalıtımla beraber sızıntı suyunu güvenle yakalamak için de önlemler alınmalıdır. Depolanan katı atıklara nüfuz eden yağmur suları, su içeren atıklardan zorunlu olarak oluşan konsolidasyon suları yanında sızıntı suyu da oluşturur ve bunlar katı atık içindeki maddeleri kısmen deponun dışına taşırlar. Her türlü kirletici parametreyi ihtiva eden sızıntı suyu, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını kirletmektedir. Sızıntı suyunun bu olumsuz etkisini önlemek için depo sahasının tabanı geçirimsiz hale getirilir. Bu geçirimsizliği sağlamak için tabii ve suni malzemeler veya bunun her ikisi de bir arada kullanılabilir.

Düzenli depo tesisinden, depo tabanına sızan sızıntı sularının yeraltı sularına karışmasını önlemek için depo tabanı geçirimsiz hale getirilir. Depo tabanında oluşturulan bir drenaj sistemi ile sızıntı suları toplanır. Bu amaçla;

- Depo tabanı, tabii yeraltı suyunun maksimum seviyesinden en az 1 metre yüksekte olur.
- Depo tabanına; sıkıştırılmış, kalınlığı en az 60 cm. olan kil veya aynı geçirimsizliği sağlayan doğal ya da yapay malzeme serilir. Bu durumda geçirimsizlik katsayısının sahanın her yerinde 1.10^{-8} m/sn olması sağlanır.
- Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine dren boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanır.
- Toplanan sızıntı suları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde verilen deşarj limitlerini sağlayacak şekilde arıtılır.

Katı atık düzenli depolama tesisindeki sızıntı suyu miktarı; nihai üst örtü tabakasının geçirimsizlik derecesi, iklim şartları, katı atık bileşimi, depo yaşı vb. faktörlere bağlı olarak değişir. Ayrıca nihai örtü tabakasının teşkil edilip edilmediği ve geçirimsizlik derecesi de sızıntı suyu miktarını önemli oranda etkilemektedir (Kavlak, 2002).

3.3.4.5 Depo Gazının Uzaklaştırılması

Depo gazı, depo gövdesi içerisinde mikrobiyolojik ayrışma sonunda ortaya çıkan veya depolanan atığın gaz fazına geçen kısmı olarak isimlendirilir. Depo dolgusunun teşkil edilmesinden sonra gövde içine hava girişi olmadığından, ortamda daha önceden mevcut bulunan O_2 'nin bitmesinden sonra gövde içinde anaerobik reaksiyon başlar. Bu reaksiyon sonucu ortamdaki organik maddeler parçalanarak CO_2 , H_2S ve CH_4 (metan) ortaya çıkar.

Depo kütleğinde havasız kalan organik maddenin mikrobiyolojik olarak ayrışması sonucu çevreye yayılarak, patlamalara, zehirlenmelere sebep olabilecek metan gazı ağırlıklı olmak üzere karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve azot bileşikleri yatay ve düşey gaz toplama sistemi işe toplanır ve kontrollü olarak atmosfere verilir veya enerji üretmek suretiyle değerlendirilir.

Düzenli depolamadaki en önemli hususlardan biri depo gazının yanıl göçünü ve atmosfere kaçmasını önlemektir. Depo gazı ilk olarak 1950'lerde fark edilmiş, 1970'lerde yakılmış ve 1980 den beri daha çok fayda sağlanacak şekilde geri kazanılmaktadır.

Katı atık depolama tesislerinde oluşacak gazın çevreye yayılmasını önlemek ve gazı ekonomik olarak değerlendirmek üzere gaz toplama sistemleri projelendirilmelidir. İklim ve nem koşullarına bağlı olarak optimum şartlar altında ilk iki yılda gazın % 30-60'ının üretileceği, beş yılda ise gaz üretiminin % 70'inin tamamlanacağı kabul edilmektedir. Depo gazını, doğal gaz olarak satma, araçlarda yakıt olarak kullanma gibi alternatifler olmasına rağmen genellikle elektrik enerjisi üretme ya da düzenli olarak yakma yöntemleri uygulanmaktadır (Kavlak, 2002).

3.3.4.6 Arıtma Çamurunun Evsel Katı Atıklarla Birlikte Depolanması

Arıtma çamurunun depolanabilmesi için içinde bulunan su oranının %65 olması gerekir. Ancak depo yeri işletmecileri, çamurun su oranının daha fazla olması halinde, deponun stabilitesini bozmayacağı, koku problemi ortaya çıkmayacağı kanaatine varılırsa, su oranı %75'e kadar olan çamurları kabul edebilirler (Kavlak, 2002).

3.3.4.7 Depo Tesisinin Olumsuz Etkisinin Önlenmesi ve Sahasının Yeşillendirilmesi

Depolama işleminin tamamlanmasından sonra, çöp dökümüne son verilecek olan sahalar, tekniğine uygun olarak kapatılmalıdır. Bunun için önce depo sahası üst yüzeyi geçirimsiz hale getirilerek yağmur sularını depo sahası içine girmesi önlenir.

Depo tesisinde toz, koku, kâğıt ve gürültü gibi çevreyi olumsuz yönde etkileyecek etkenlere karşı tedbir alınır. Ayrıca, depo sahasında evcil ve yabani hayvanların beslenmesi yasak olup haşere ve sinek üremesini önleyecek tedbirler alınır. Depolama işleminin tamamlanmasından sonra veya şevlerde dolgu sırasında, depo şeklinin görünüm olarak çevreyi rahatsız etmemesi ve arazinin tekrar kullanılabilir hale getirilebilmesi için yeşillendirme ağaçlandırma, deponun en üstüne ve şevlere tarım toprağı verilmesi gerekir. Bu toprağın kalınlığı dikilmek istenen bitkinin kök derinliğine göre seçilir. Depo sahası üzerine düşen yağmurun kısa surede sahayı terk etmesi için en üst toprak tabakası eğiminin %3'ten büyük olması gerekir (Kavlak, 2002).

3.3.4.8 Düzenli Depolama Yönteminin Avantajları

- Uygun arazi bulunduğu takdirde ekonomik yöntemdir.
- Ön yatırımı nispeten en az olan yöntemdir.
- Nihai imha metodudur. Her türlü çöp için uygulanabilir.
- Esnek bir metottur. Katı atık miktarına göre kapasite kolaylıkla artırılabilir.
- Kullanılıp kapatılan araziden rekreasyon amacıyla istifade edilebilir (park, yeşil alan, spor tesisleri vb.) (Kavlak, 2002).

3.3.4.9 Düzenli Depolama Yönteminin Dezavantajları

- Kalabalık yörelerde, ekonomik taşıma mesafesi içinde uygun yer bulmak güçtür.
- Yerleşim yerlerine yakın depo alanları için, halkın muhalefeti ile karşılaşılabilir.
- Tamamlanmış depo alanlarında göçük ve yerel çökmeler olabileceğinden devamlı bakımı gereklidir.
- Sıvı ve gaz sızıntıları kontrol edilmezse sakıncalı durumlar ortaya çıkabilir.
- Bu yöntemle toprak ve su kaynakları bakımından atık sorunu, çöplerin belli noktalarda yoğunlaştırılmasıyla yine sürmektedir (Kavlak, 2002).

3.3.4.10 Düzensiz Depolama

Türkiye'de en yaygın şekilde kullanılan bu yöntemde, çöpler hiçbir önlem alınmadan bir alana gelişigüzel atılıp bırakılmaktadır (Kavlak, 2002).

3.3.4.11 Düzensiz Depolama Yönteminin Sakıncaları

Çağdaşıktan uzak yer seçimi doğru yapılmamış, tekniğine uygun olarak İnşa edilmemiş ve düzensiz depolama yapılan çöp döküm sahalarının meydana getirebilecekleri başlıca olumsuzluklar şunlardır:

- Yeraltı ve yerüstü su kirliliği,
- Toprak kirliliği,
- Depo gazının meydana getirdiği patlama, yangın tehlikesi ve kirlilikler,
- Görünüş kirliliği,
- Taşıyıcı ve haşere üremesi,
- Çevreye toz ve kötü koku yayılması,
- Bulaşıcı hastalıkların yayılması,

Bu alanlarda çürüme ile metan gazı (CH₄) oluşmakta bu gaz hava kirliliğine, sıkışıp hava ile temasında ise patlamalara neden olmaktadır. Yine düzensiz depolama ile oluşan çöp sızıntı suları yörenin jeolojik yapısı ile de bağıntılı olarak yeraltı sularını ve toprağı kirlletmektedir.

Katı atıkların gelişi güzel bir şekilde boş arsalarda biriktirilmesi halk sağlığı ve çevre kirliliği açısından önemli sorunlara neden olmaktadır. 28 Nisan 1993 saat 10.30'da İstanbul atıklarının önemli bir kısmının depolandığı Ümraniye-Hekimbaşı çöplüğünde yaşanan felaket bu tehlikelerin bir örneğidir (Kavlak, 2002).

3.3.4.12 Düzensiz Depolanmış Alanların (Çöplüklerin) Islahı

Bu şekilde düzensiz depolanmış çöplüklerden kaynaklanan tehlikelerin bertarafı için kullanılabilecek yöntemler şöyle özetlenebilir:

- Depolanan çöplerin düzenlenmesi ve sıkıştırılması: Gelişigüzel depolanan çöpler yerleştirilip sıkıştırılarak olabilecek kaymalar önlenir.
- Çöplüğün üstünün toprakla örtülmesi, yeşillendirilmesi: Bu uygulama, sızıntı sularının miktarını azaltacak, hayvanların beslenme ihtimalini, çöplerin uçuşmasını, yangın ve koku problemlerini ortadan kaldıracaktır.
- Oluşan gazların uzaklaştırılması: Bilindiği gibi depolanan çöplerin içinde oluşan

gazlar, patlama, parlama ve yangın çıkarma gibi tehlikelere neden olabilirler. Bu gazların uzaklaştırılabilmesi için gaz uzaklaştırma bacalarının depolanmış çöplerin içine yerleştirilmesi gerekir. Toplanan gazın elektrik, ısı üretimi gibi değerlendirilmesi gerekir. Eğer değerlendirilemiyorsa gaz yakılarak uzaklaştırılmalıdır. Bu uygulama yangın ve patlama ihtimalini ortadan kaldıracaktır.

- Depolanan çöpün içine girebilecek su miktarının azaltılması, sızıntı sularının toplanması ve kontrolsüz bir şekilde hareketine son verilmesi: Bu uygulama yeraltı ve yer üstü suları ile toprak kirlenmesini önleyecektir. Bu amaçla katı atıkların depolandığı alana civardan gelebilecek yüzeysel suların (yağmur ve yer üstü sularının) girmesini önlemek için kanallar yapılmalıdır ve toplanan sular emniyetli bir şekilde bu alandan uzaklaştırılmalıdır.

Tekniğine uygun olarak yapılan düzenli depolamada bu ve benzeri olumsuzluklar görülmeyecektir (Kavlak, 2002).

3.4 Katı Atıkların Toplanması ve Taşınması

Taşımanın katı atık yönetiminde önemli bir rolü vardır. Taşıma sisteminin kötü olması dönüştürme faaliyetlerinin etkinliğinin olumsuz yönde etkiler. Mesela, kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde mesafelerin uzamasından dolayı taşıma maliyetleri yüksek çıkmakta ve gecikmeler yaşanmaktadır. Dolayısıyla dönüştürme tek başına bir katı atık yönetim problemini oluşturmamaktadır (Landreth vd., 1997). Katı atık yönetim yaklaşımının benimsenmesine paralel olarak 1990'lı yıllarda atıkların toplanması, taşınması özelleştirilmeye başlanmıştır. Kentsel açık alan ve sokak temizliği ile çöplerin toplanması ve belirli bir noktaya taşınması, çöplerin biriktirilme biçimine ve arazi yapısına uygun araç-gereç seçimi ile işgücü planlamasına dayanan bir yönetsel aşamadır. Toplama ve taşımada rasyonalizasyonun sağlanması için hizmetin planlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Atıkların geri kazanımı, öncelikli olarak toplama ve taşıma sistemlerinin iyi organize edilmesine bağlıdır (Kavlak, 2002).

3.4.1 Katı Atıkların Toplanması

Atık üreticileri tarafından evde veya diğer çöp kaynaklarında atık meydana gelir gelmez toplanmasını ve depolanmasını kapsamaktadır. Meydana gelen çöpler, çöplerle birlikte atılan torbalarda biriktirilebileceği gibi sürekli olarak kullanılan kaplarda da (konteyner) toplanabilmektedir.

Çöplerin toplanması ister torbada ister kapta yapılsın; dönüştürüme tabi tutulacak malzemelerin değerlerini kaybetmemeleri için kuru çöplerle sulu çöplerin ayrı ayrı biriktirilmesi gerekir. Çöplerin cam, kağıt vb. gibi gruplarda toplanması dönüştürmelerini daha da kolaylaştırır (Kavlak, 2002).

3.4.2 Katı Atıkların Taşınması

Evlerde ve diğer yerleşim bölgelerinde biriktirilen katı atıkların (çöplerin) uzaklaştırılması iki değişik yöntemle yapılabilir:

1. Kapıdan almak: Çöpler belli günlerde belli saatlerde çöp kovası ya da torba usulü ile kapının önüne bırakılır ve buradan temizlik araçlarıyla toplanır. Toplama; ticari bölgelerde her gün, meskenlerden ise en az haftada iki kere yapılmalıdır. Toplama, çöplerle ilgili işlemlerin arasında en pahalısı sayılabilir. Bu nedenle bu maliyeti azaltmak için toplama süresini ve aracın kat ettiği mesafeyi en aza indirmek gerekir.
2. Konteynerlerden Almak: Çöplerin uzaklaştırılmasında kullanılan ikinci yöntem çöpleri kentin belirli noktalarında bulunan konteynerlere boşaltmaktır. Söz konusu konteynerler belirli aralıklarla temizlik işletmesi tarafından boş konteynerlerle değiştirilir veya özel araçlara boşaltılır. Yapılan araştırmalara göre bu yöntemden iyi sonuçlar alabilmek için herhangi bir evden konteynerin bulunduğu noktaya gidebilmek için 150 m.den daha uzun bir mesafe yürümek gerekmemelidir.

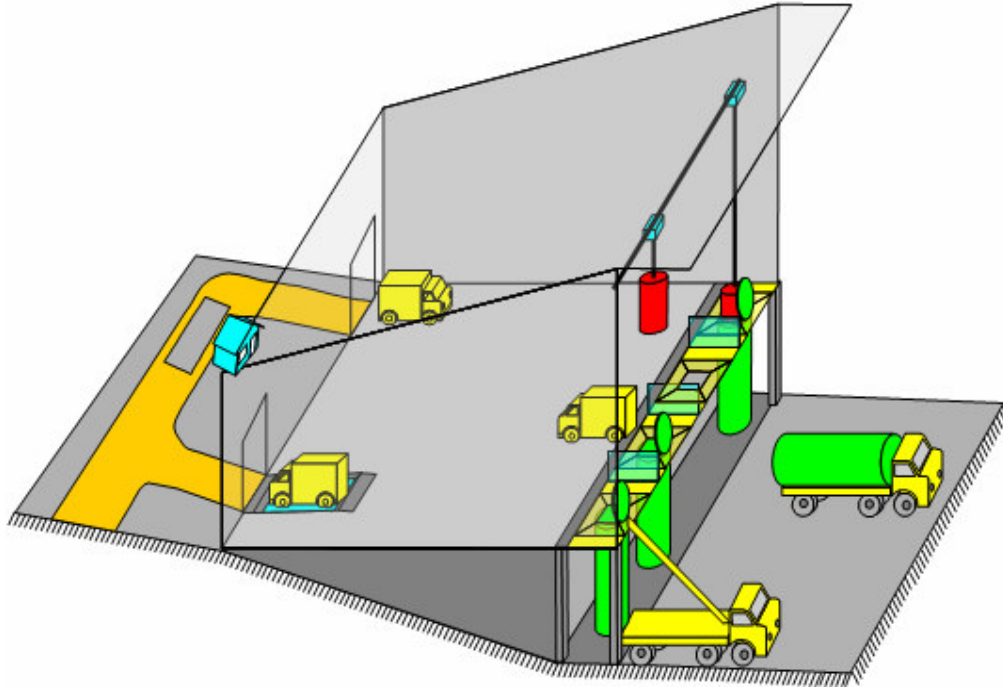
Çöp toplama yöntemleri karşılaştırıldığında konteynerli sistemin avantajı, çöpleri istenilen herhangi bir anda kaynaktan uzaklaştırabilmek ve toplama işleminin daha ucuza mal olmasıdır. Buna karşılık kapıdan alma yöntemi de atıkların yolda depolanmasına gerek olmadığı için estetik açıdan tercih edilebilir. Toplanan çöpler doğrudan doğruya imha sahasına taşınabileceği gibi bir aktarma istasyonunda gerekirse sıkıştırılıp daha büyük bir araca veya konteynere alınıp daha az sefer yaparak daha az mesafe kat ederek imha sahasına taşınması sağlanabilir (Kavlak, 2002).

3.4.3 Aktarma Merkezleri (Transfer İstasyonları)

Aktarma istasyonları çöp toplama bölgelerinin imha sahalarına uzak olmaları durumunda daha ekonomik bir çöp toplama süreci sağlamak amacıyla uygulanmaktadır. Bu uygulamanın genel prensibi, daha küçük olan çöp toplama araçları ile toplanan çöpün, aktarma istasyonlarında daha büyük ve ekonomik aktarma araçlarına uygun bir teknoloji ile aktarılması ve buralardan çöp imha tesislerine kapasitesi daha büyük olan çöp toplama-taşıma

araçları ile taşınmasıdır (Kavlak, 2002).

Şekil 3.4’te örnek bir aktarma istasyonu görülmektedir.



Şekil 3.4 Aktarma İstasyonu (İSTAÇ, 2007)

3.4.3.1 Yer Seçimi

Aktarma istasyonları için yer seçimi yapılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gereklidir. Çünkü yer seçimi hem yatırım maliyetlerini hem de işletme maliyetlerini direkt etkiler. Bu nedenle;

- Hizmet edilecek olan katı atık kaynaklarının ağırlıklı olarak bulundukları merkezlere olabildiğince yakınlık,
- Ana arter konumundaki otoyollara olduğu kadar, ikincil taşıma alternatiflerine de kolayca ulaşılabilir noktalarda olması
- Aktarma işlemlerine karşı toplumsal ve çevresel itirazların en az olacağı yerlerin seçilmesi,
- İnşaatın ve işletmenin en ekonomik olacağı yerler olması gerekmektedir (Kavlak, 2002).

3.4.3.2 Katı Atıkların Taşınmasında Dikkat Edilecek Hususlar

Katı atıkların taşınmasında dikkat edilecek hususlar şunlardır;

- Çöpler en az maliyetle taşınmalı,
- Taşınma işlemi sırasında çöpler örtülü olmalı,
- Araçlar otoyol trafiğine uygun olarak tasarlanmış olmalı,
- Araç kapasitesi izin verilen ağırlık limitleri aşılmayacak şekilde olmalı,
- Boşaltma işlemi için kullanılan metotlar basit ve güvenilir olmalıdır.

Bunların yanında transfer istasyonu kurmak, ancak toplama sisteminin reorganizasyonu ve de transfer istasyonları ile eşgüdümlü çalışması sağlanırsa istenilen başarı elde edilir. Çöp toplama-taşıma-nihai işlem topluca değerlendirilmeli ve planlı bir sistem içinde oturtularak transfer istasyonlarına işlerlik sağlanmalıdır (Kavlak, 2002).

3.4.3.3 Yararları

Yararlarını şöyle sıralayabiliriz

- Taşıma ekonomisi,
- Personel ekonomisi,
- Gerekli araç (toplama+taşıma) sayısının azalması,
- Yönetim ekonomisi,
- Daha az trafik yoğunluğuna yol açması.

Çöp üretim noktalarından çöp depolama sahasına kadar yapılacak çalışmalarda daha az personel ve araç istihdamı sağlayacağından, yönetim giderleri düşer. Çöp toplama işlemini yapan Belediyelerin araç-gereç yatırımlarını azaltır, ellerinde bulunan araç-gereçlerin ve personelin daha verimli çalışmasını sağlar. Kent ve çöp deposu arasındaki araç sefer sayısı %70–80 oranında azalır. Çöp toplayan araçların kent içindeki dolaşımının daha dar bir zaman dilimi içinde yapılmasını sağlar (Kavlak, 2002).

3.5 Katı Atıkları Ayırma

Geri kazanım amacıyla toplanan malzemelerin bu amaca hizmet edebilmeleri için, seçilen

değerlendirme yönteminin gerektirdiği şekil ve titizlikte ayrılmaları şarttır. Ayrıca, toplanan malzemenin içine karışmış durumda olan istenmeyen maddeler de bu aşamalarda elimine edilir.

Ayırma, toplamının hangi aşamasında yapıldığına bağlı olarak, aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

- Kaynakta ayırma,
- Toplama sırasında ayırma,
- Merkezde ayırma (Beyhan, 1997).

3.5.1 Kaynakta Ayırma

Merkezi teknolojik ayırma tesislerinin tam başarılı olmaması, maliyetlerin yüksek olması ve geri kazanılan maddelerin kalitelerinin düşük olması sebebi ile dünyada evsel katı atıkların kaynakta ayrı ayrı toplanması yoluna gidilmektedir. Böylece, hem çevre kirliliği doğuran atıklar sağlıklı bir şekilde geri kazanılmakta ve hem de hammadde rezervleri daha tasarruflu kullanılmış olmaktadır. Endüstrileşmiş ülkeler bu konuda çeşitli kanun ve yönetmelikler çıkararak, mümkün mertebe az çöp atma veya atılan çöpleri ayrı kaplarda toplamayı cazip hale getirmişlerdir veya mecburi kılmışlardır.

Bu yöntem daha çok, A.B.D. ve Almanya gibi katılımın ve eğitimin yüksek, tüketicinin nispeten kolay motive edildiği ve tek katlı yapılaşmanın yaygın olduğu gelişmiş yerlerde denemektedir. Ayrıca çoklu toplama (multi-collection) kumbaraları da, “getirtme” temelinde olmasına rağmen, bu kapsamda sayılabilir.

Almanya ve İsviçre’de 1980’li yıllarda kullanımı çok miktarda artan ve tabiatta parçalanmadan kalabilen pet şişelere depozito zorunluluğu getirilerek söz konusu ambalaj maddesinin kullanılması hemen hemen önlenmiştir. Ayrıca, yine Almanya’da 1991 yılı başından itibaren, toplam çöpün yaklaşık %50’sini oluşturan tüm ambalaj maddelerine de depozito ve geri alma mecburiyeti getirilmiştir. Böylece, kullan at modeli değiştirilerek, ambalajların ve kapların eskiden olduğu gibi birçok defa kullanılmasına dönülmüş olmaktadır. Örneğin temizlenip tekrar kullanılabilen şişeler, yoğurt kapları, plastik fileler ve bez torbaların kullanılması teşvik edilmektedir. Ancak, bu konuda, halkın katılımını sağlamadan, sadece yaptırımcı tedbirler olarak başarılı olmak mümkün değildir. Bu bakımdan, okullar, yazılı ve sözlü basın, afiş, pankart, kahve toplantıları, ev ziyaretleri vs. aracılığı ile

halk bilgilendirilmelidir.

Bugün dünyada en çok geri kazanmanın uygulandığı materyal kâğıt olmuştur. Ayrı toplama sistemi ile kullanılan kâğıdın en az %50'si temiz olarak geri kazanılabilmektedir. Ülkeler geri kazanma oranlarını artırabilmek için büyük çabalar sarf etmekte ve düşünceler geliştirmektedir.

ABD'de giderek büyüyen atık üretimini dizginlemek ve atıklardan yararlanmak için sırayla takip edilecek 4 aşamalı atık yönetimi düşüncesi aşağıda ifade edilmiştir:

1. Atılacak madde miktarını azaltmak için tedbirler düşünerek uygulamak: Bunun örnekleri olarak; plastik kap ve kutularda kullanılan plastik miktarını yeni dizayn şekilleri ile azaltmak, kutulara sıvı temizleyici aktif maddelerini daha yoğun olarak doldurup bunların evde seyreltilerek kullanılabilecekleri bir şekilde satılmaları vb. sayılabilir. Ayrıca, bazı meşrubat kaplarında depozito konularak geri kazanmaya yardım edilmektedir.
2. Atık karışımından geri kazanma, tekrar kullanma ve kompost yapma işlemleri mümkün mertebe uygulanması ile fayda temin edilmesi: Böylece; madde kazanma, enerji sarfından kazanma, çevre kirlenmesinden kazanma ve en önemli olanlarından birisi de giderek masraflı olan katı atık depolama için daha az atığın söz konusu olması sağlanır.
3. Mümkün olduğu yerde atıkların yakılması ile bertarafı ve sağlanan hacim azalması ile daha az depo yeri ihtiyacı temin etmek,
4. Yukarıda üç aşamada bertaraf edilemeyen atıkların depolanması (Beyhan, 1997).

3.5.2 Toplama Sırasında Ayırma

Evlerden gelen çöpten ayrı olarak özel bir kaptaki toplanan birden fazla çeşit malzeme, toplama araçlarının özel bölmelerine boşaltılırken, işçiler tarafından ayrılabilir. Toplama hızını düşüren bu yöntem, araçların özel olarak bu işe uygun dizayn edilmiş olmalarını da gerektirmektedir. Satın alma merkezlerinde yapılan sınıflandırma da bu başlık altına sokulabilir. Bu ayırma yönteminin bir avantajı, sınıflandırılmış olan malzemenin sıkıştırılması suretiyle taşıma giderlerinin minimize edilebilmesidir (Beyhan, 1997).

3.5.3 Merkezde Ayırma

Bu ayırma yöntemi birlikte toplanan geri kazanılabilecek malzemelerin getirildikleri merkezde ayrılmasıdır. Kontrollü olması açısından güvenilir ve tercih edilen bir seçenektir. Bu ayırma el ile yapılabildiği gibi, miktarının büyüklüğü ve işçi ücretlerinin yüksekliği ile orantılı olarak, mekanize ve hatta kompüterize bile olabilir. Geri kazanılabilecek malzemelerin depolama alanlarının veya genel çöp değerlendirme tesislerinin girişinde ya da içinde, genel çöpten ayıklanıp sınıflandırılmaları da bu gruba girmektedir.

Özellikle el ile yapılan ayırmalarda mamullerin üretim aşamasında renk ve sayılarla kodlanmasının işlemin doğruluk hızını artırdığı saptanmıştır.

Ayırmamanın teknolojisi de ülkenin ve bölgenin gelişmişlik düzeyi, geri kazanım toplama kapasitesi, altyapısı ve oturmuşluğu gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Dünyada çeşitli türden geri kazanım malzemeleri için elle yapılan ayırmanın yanı sıra uygulanmakta olan, ya da tasarlanan teknolojilerin bazıları aşağıda sınıflandırılmıştır.

- Hava üfleme,
- Yüzdürme,
- Optik okuyucu,
- Kimyasal reaksiyonlarla sınıflandırma,
- Elektromanyetik cihazla ayırma.

Evsel katı atıklar içinde bulunan maddelerin geri kazanılması, büyük maliyetlerle kurulan teknolojik ekipmanlarla donatılmış tesislerde pek başarılı olmamaktadır. Bu tesislerde hem maddeler tamamen geri alınamamakta ve hem de elde edilen materyalin kalitesi düşük olmaktadır. Ayrılan materyallerin temizlenmesi için yapılan yıkamalarla, ayrıca büyük bir su kirliliği potansiyeli de doğmaktadır. Aynı zamanda bu tesislerde çalışanların çalışma ortamındaki hastalık yapıcı unsurlarla karşı karşıya gelmeleri de söz konusudur (Beyhan, 1997).

3.6 İstanbul'da Katı Atık Yönetimi

Türkiye'deki nüfusun 1/5'i İstanbul'da yaşamaktadır. Endüstriyel tesislerin burada yoğunlaşması kente büyük bir göç akımına sebep olmuştur. Nüfusun hızla artması katı atık bertarafında en önemli problemlerden biri olmuştur (Ebin, 2004).

İstanbul'da katı atıklar 1953 yılına kadar denize dökülmüştür. Daha sonraları Levent-Sanayi Mahallesi, Seyrantepe, Ümraniye, Mustafa Kemal Mahallesi gibi şehre yakın yerlerde düzensiz olarak depolanmıştır. Bu bölgeler yakın yerlerin zamanla gecekondulaşması üzerine buralar terk edilerek, Habibler, Ümraniye-Hekimbaşı, Yakacık, Aydınlı, Halkalı, Şişli-Feriköy ve son olarak da Kemerburgaz-Hasdal bölgelerine çöpler kontrolsüz olarak depolanmıştır. Kontrolsüz depolama sonucu 1993 yılında Ümraniye-Hekimbaşı bölgesinde meydana gelen felaketle can ve mal kaybı olmuştur (Karadağ, 2002).

3.6.1 Katı Atık Miktar ve Özellikleri

İstanbul'un bir günlük ortalama çöp üretimi 10.000 ton civarındadır. İSTAÇ verilerine göre bulunan bu miktara, arayıcıların çöplüklerden topladıkları “eski eşya” ve sanayide kullanılabilir “hurda” gibi katı atıklar ile boş alanlara kaçak dökülen inşaat artığı ve moloz eklendiğinde; İstanbul'un kişi başına çöp üretim miktarının yaklaşık bir kilogram olduğu görülür (İSTAÇ, 2007).

İstanbul'da oluşan katı atıklar evsel, endüstriyel ve ticari kökenlidir. Önümüzdeki yıllarda arıtma tesislerinden oluşan arıtma çamurları da dahil edilebilir. 2020 yılında oluşacak çamur miktarı yaklaşık olarak 1400 ton/gün olarak tahmin edilmektedir (Karadağ, 2002). İstanbul'da çıkan çöpün miktarı gibi içeriği de mevsimlere ve bölgelere göre değişmektedir. İstanbul için katı atık karakterizasyonunun mevsimsel ortalamaları Çizelge 3.2'de verildiği gibidir.

Çizelge 3.2 İstanbul için katı atık karakterizasyonu mevsimsel ortalamaları (İSTAÇ, 2007)

	Anadolu	Avrupa	Ortalama*	Ort. Miktar**
Malzeme	%	%	%	(ton)
Kağıt	6,03	10,20	8,11	974
Karton	4,21	4,93	4,57	548
Renkli Cam	2,27	3,01	2,64	317
Renksiz Cam	3,21	3,25	3,23	388
Pet	1,01	1,72	1,36	164
Poşet	8,37	8,94	8,66	1039
Plastik	2,54	3,40	2,97	357
Çuval	0,27	0,25	0,26	31
Demir	0,79	0,92	0,85	103
Alüminyum	0,41	0,88	0,65	78
Diğer Metal	0,06	0,06	0,06	7
Org. Mad.	56,33	50,23	53,28	6394
Çocuk Bezi	4,13	3,96	4,05	486
Odun(tahta)	0,31	0,41	0,36	43
Elk. Alet	0,06	0,10	0,08	10
Pil-Akü	0,02	0,00	0,01	1
Tekstil	3,53	3,68	3,61	433
Tetrapak	0,74	0,67	0,70	84
Diğer Yanan	2,03	1,69	1,86	223
Kül	3,10	1,63	2,37	284
Taş	0,57	0,06	0,31	38
Toplam	100,00	100,00	100,00	12000
* Anadolu ve Avrupa yakasına ait toplam ortalama atık karakterizasyon yüzdeleri				
** Günlük atık miktarı 12000 ton alınmıştır.				

3.6.2 Katı Atık Yönetiminde İdari Yapı

İstanbul'da oluşan evsel atıklardan toplanılması ilçe ve belde belediyelerin sorumluluğundadır. İlçe belediyeleri ayrıca sokakların süpürülmesi işlemini de yapmaktadırlar. İlçe belediyeleri topladıkları atıkları aktarma istasyonları veya düzenli deposuna taşıyarak görevlerinin tamamlamaktadırlar.

Her belediyede katı atık hizmetlerinin uygulanmasından sorumlu Temizlik İşleri Müdürlüğü bulunmaktadır. Ayrıca bütün belediyelerde Temizlik İşleri Müdürlüğü'nün bağlı olduğu bir Belediye Başkan Yardımcısı vardır. Katı atıkların belediyeler tarafından toplandığı durumlarda, atıkların toplanılmasında müdürlüğe bağlı temizlik işçileri çalışmakta, programın belirlenmesi ve denetlenmesi Temizlik İşleri Müdürü, Müdür Yardımcısı veya görevli memurlarca yapılmaktadır. Özel sektör eliyle yapılan durumlarda müdürlüklerde işçi kadrosu bulunmamakta, müdürlük personeli programın belirlenmesi ve uygulanmasında görev yapmaktadırlar. Müdürlükçe belirlenen atık toplama programı geçmiş yıllara ait deneyimlerden yararlanılarak hazırlanmaktadır.

Geri kazanım çalışmaları ile ilgili olarak belediyelerde Çevre Müdürlüğü ilgilenmektedir. Geri kazanım çalışmalarının maliyetinin pahalı olması sebebiyle ilçe belediyeleri geri kazanım çalışmalarını ya gönüllü kuruluş ÇEVKO ya da Büyükşehir Belediyesi ile işbirliği yaparak gerçekleştirmektedirler. Bu çalışmalar sadece belediye binaları içerisinde atık kâğıtların toplanılması şeklinde veya ilçe sınırları içerisinde pilot bölgeler seçilerek yürütülmektedir. İlçe belediyeleri temizlik müdürleri ile yapılan görüşmelerde çoğunlukla yapılan geri kazanım çalışmaları konusunda bir bilgileri olmadığı, bu konuyla ilgili olarak Çevre Müdürlüğü'nün ilgilendiğini belirtmişlerdir. Buna göre aslında beraber yürütülmesi gereken atık toplama ve geri kazanım çalışması iki ayrı birim tarafından birbirinden bağımsız yürütülmektedir.

Evsel atıkların aktarma istasyonlarına getirilmesiyle birlikte Büyükşehir Belediyesi'nin görevi başlamaktadır. Kuruluş amacı atıkların taşınması, depolanması ve katı atıkların değerlendirilmesi olan İSTAÇ A.Ş. İstanbul Büyükşehir Belediyesi bünyesindeki Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı'na bağlı olarak çalışmaktadır. Daire Başkanlığı ayrıca kampanyalar düzenleyerek geri kazanım çalışmalarını da yürütmektedir. Ayrıca Büyükşehir Belediyesi bünyesindeki İşletmeler Müdürlüğü ana arterlerin ve E-5 karayolunun temizliğinden sorumludur (Karadağ, 2002).

3.6.3 Katı Atıkların Toplanması

İstanbul'da günde yaklaşık 10.000–14.000 ton katı atık oluşmaktadır (İSTAÇ, 2007). Oluşan evsel atıklar kaynaklarda (ev, işyeri vb.) biriktirilip geçici olarak depolandıktan sonra apartman önlerindeki veya mahalledeki merkezi noktalardaki konteynerlerde toplanmaktadır. Ayrıca bazı ilçelerde mahallelerin çoğunda konteynerler bulunmamakta, atıklar evlerin önünde veya sokakların belli merkezlerde geçici olarak zeminde biriktirilmektedir. Atıklar konteynerlere veya sokaklara genellikle belediyelerce bildirilen günlerde değil de gelişi güzel bir şekilde bırakılmaktadır. Genel olarak İstanbul da atıkların kaynağında sınıflandırılması yapılmamakta ve her türlü atık (organik, cam, kağıt) karışık olarak biriktirilmektedir. Atıklar toplama gününe kadar beklerken sokak hayvanları veya gezici toplayıcılar tarafından defalarca karıştırılmakta, poşetleri parçalanmaktadır. Ayrıca bekleme sürecinde oluşan atık sular genellikle etrafa dağılmaktadır. Dağılan atıklar ve atık sular estetik kirliliğe sebep olmakta haşaratlar için yuva görevi görmekte sağlık açısından tehlike oluşturmaktadır. Katı atık yönetmeliği'ne göre evsel atıkların olduğu kaynaklardan toplanması ilçe ve belde belediyeleri tarafından yapılmaktadır. Belediyeler mahallelerden atıkların hangi sıklıkla toplanacağını vatandaşlara muhtarlıklar veya ilan (bez afiş vb.) yoluyla duyurmaktalar.

Yoğunluğa bağlı olarak ana arterlerde günde en az 1 kere çöp toplanılmaktadır. Atıkların toplama işlemi İstanbul genelinde akşam saatlerinde trafiğin yoğun olmadığı saatlerde tek vardiya yapılmaktadır. Bunun yanı sıra gece ve gündüz iki vardiya veya üç vardiyalı olarak da toplama işlemi yapılmaktadır.

Fabrikalarda oluşan evsel atıklar ücret karşılığı ilçe belediyeleri tarafından veya fabrikaların kendi imkânlarıyla toplanmaktadır. İlçe ve belde belediyeleri topladıkları atıkları ya aktarma istasyonlarına ya da düzenli depo sahalarına yakın olanlar ise doğrudan depo sahalarına taşımaktalar.

Belediyeler atıkları kendi imkânlarıyla, özel sektör vasıtasıyla veya her ikisinin birlikte olduğu karma yöntemle toplamaktadırlar. Ayrıca bazı belediyeler toplama işlemini kendi kurdukları firmalar (Belediye İktisadi Teşekkülleri) kanalıyla gerçekleştirmektedirler. Özelleştirmede çoğunlukla tüm toplama işi tek bir firmaya verildiği gibi bazı belediyeler sorumluluk sahalarını bölgelere ayırarak aynı işi birden fazla firma ile gerçekleştirmektedirler. Özellikle 90'lı yıllarda temizlik işçilerinin grevleri sonrası çoğu belediye atık toplama ve taşıma işleminde özelleştirmeyi tercih etmişlerdir.

Atıkların özel sektör eliyle toplanmasında toplama işleminin güzergâhının ve periyodunun belirlenmesi belediyelerce yapılmaktadır. Özel sektör sadece belediyelerce belirlenen programı uygulamaktadırlar. Atık toplama programının denetim ve kontrolü yine belediyelerce yapılmaktadır. Belediyeler genellikle atıkların toplanması, taşınması ve sokaklarının süpürülmesini beraber ihale etmektedirler. Atıkların toplanmasında çalışacak işçi sayısı, araç sayısı, toplamının nasıl yapılacağı, süpürmede kullanılacak araç ve gereç sayısı belirlendikten sonra maliyet hesabı yapılır. Maliyet hesabında özel sektör tarafından çalıştırılacak işçilerin ücret ve sigorta harcamaları asgari ücret üzerinden belirlenir. Belediyelerce yapılan toplama işleminde maliyetin önemli bir kısmı işçi gideri oluşmaktadır. Özelleştirme ile belediyeler önemli bir oran tutan işçi maliyetinden kurtularak maliyet azaltılmasına gitmektedirler.

Kullanılacak araç ve gereçlerin maliyeti çoğunlukla Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları baz alınarak hesaplanır. Bunun yanı sıra Ticaret Odası'nın birim fiyatlarını baz alan belediye olduğu gibi serbest piyasa fiyatlarını da baz alan belediyeler bulunmaktadır. Maliyet hesabına kar payı da eklenerek keşif bedeli hesaplanır. Keşif bedeli ve ihale şartnamesi hazırlanarak ilan edilir. Atık toplama işi genellikle her yılın son ayında ihaleye çıkartılır. İhaleye katılan firmalardan en çok azaltma yapan firmanın teklifi ihale bedeli olarak belirlenir. Özel firmanın

çalışması Temizlik İşleri Müdürlüğü tarafından denetlenirken, yapılan işin ücreti genellikle her ayın sonunda Hesap İşleri Müdürlüğü tarafından ödenmektedir.

Belediyeler ihaleyi kazanan firmaların belirli sayıda araç ve gereci bulundurmasını istemektedirler. Gerekli araçların tamamı firma tarafından temin edilemezse belediyelerin ellerinde bulunan araçları ücret karşılığı kiralamaktadırlar. İhaleyi alan firma kendisinin veya belediyeden kiraladığı araçların her türlü bakım ve onarım masraflarını kendisi karşılamaktadır. Çalışma esnasında firma temizlik işçileri belediyenin belirlediği renk ve desendeki işçi elbiselerini giymek zorundadırlar. Böylece vatandaşlar tarafından şikâyet konusu edilen her türlü aksamalar belediyeler tarafından sahiplenilmektedir. Belediyenin kendi tespiti veya vatandaş şikâyeti ile belirlenen her türlü aksaklıklar sonucu firmalara ihale şartnamesinde belirlenen fiyatlar üzerinden ceza işlemi yapılmaktadır (Karadağ, 2002).

3.6.4 Aktarma İstasyonları

Belediyelerce yürütülen çöp organizasyon maliyetinin önemli bir kısmını çöplerin toplanması ve taşınması teşkil etmekte ve bunlar toplam bertaraf maliyetinin %70-90'ını oluşturmaktadır. Bu bakımdan, çöp toplama ve taşıma maliyetindeki tasarruf (minimizasyon), çöp bertaraf sisteminin toplam maliyetini etkilemektedir (İSTAÇ, 2007).

İstanbul'da Büyükşehir Belediyesi'ne ait 6 adet Katı Atık Aktarma Merkezi bulunmaktadır. Bunlardan üç tanesi (Yenibosna, Şişli/Baruthane, Halkalı) Avrupa Yakası'nda, üç tanesi de (Hekimbaşı, Tuzla/Aydınlı, Küçükbakkalköy) Anadolu yakasında yer almaktadır.

Hacmi ortalama %30 küçülen katı atıklar; kapalı, su sızdırmayan ve kokuyu dışarıya vermeyen 32,5 m³ lük araçlarla (silo) taşınarak çevre kirliliğinin önüne geçilmiş, taşıma işleri daha az sayıda araçla yapılarak yakıt, işgücü ve zaman tasarrufu sağlanmış, ilçelerden 1400 sefer yapılarak aktarma merkezlerine getirilen katı atıklar, düzenli depolama alanlarına 600 seferle taşınarak kent trafiğinin yükü azaltılmıştır. 2005 yılı Ocak ayında sisteme sokulan yeni tip semitreylerle taşıma sayesinde 72 m³ katı atık tek seferde düzenli depolama alanına taşınmakta, bu sayede mevcut aktarma merkezlerinin katı atık kabul kapasiteleri artmakta, trafikteki araç sayısında ciddi sayıda azalma olmaktadır. 2006 yılının ilk 9 ayında yaklaşık 15.000 ton/gün atık ortalama 600 seferde düzenli depolama alanlarına taşınmıştır. 600 seferde toplam 60.000 km yol kat edildiği düşünüldüğünde, katı atığı hayatımızdan çıkarmak için silo ve semitreylerler her gün bir buçuk Dünya Turu yapmaktadırlar[1].

İstanbul için, değişik sistemler içinde, seriliği, mekanik aksamının az olması, fazla çöp

nakline imkan vermesi gibi nedenlerden dolayı düşey sıkıştırma sistemli aktarma istasyonları tercih edilmiştir. İstanbul'da bu sistemle çalışan İstanbul Büyükşehir belediyesine ait 6 çöp aktarma istasyonundan inşaatı bittiği halde henüz faaliyete geçmeyen, 700 ton/gün kapasiteli Küçükbakkalköy aktarma istasyonu dışında faaliyette olan diğer beş istasyonun kapasiteleri ve diğer özellikleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir (İSTAÇ, 2007).

Çizelge 3.3 İstanbul çöp aktarma istasyonlarının kapasiteleri ve özellikleri (İSTAÇ, 2007)

İstasyon Planlanan Kapasite (ton/gün)	Baruthane 700 (max. 1400)	Yenibosna 1500 (max. 2500)	Halkalı 1500 (max. 2500)	Aydınlı 1500 (max. 2500)	Hekimbaşı 1500 (max. 2500)	Toplam 6700 (max.)
Fiili Kapasite (ton/gün)	1750	2100	1700	1000	1650	8200
Peron Sayısı	5	10	10	10	10	45
Döküm Yapan Araç Sefer Sayısı	320	420	293	178	275	1486
Silo Sayısı	75	80	70	57	75	357
Taşıyıcı Araç Sayısı	21	31	21	19	22	114



Şekil 3.5 İstanbul çöp aktarma istasyonlarının konumları (İSTAÇ, 2007)

İstasyonlara gelen çöp araçlarının normal işletme esnasında girişi ile çıkışı arasındaki süre, yaklaşık 10 dakikadır. Her istasyonun girişi noktasında bulunan kontrol kapısında giriş-çıkış yapan bütün araçlar bilgisayarlar vasıtasıyla kayıt altına alınmakla ve bu bilgiler İSTAÇ genel merkeze aktararak değerlendirilmektedir. Ayrıca bu bilgileri ilçe belediyeleri de kullanabilmektedir. Çöp aktarma istasyonlarına İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nce izin verilen evsel atıklar kabul edilmektedir. Zararlı ve tehlikeli atıklar, açık araçlar vb. kabul edilmemektedir. İlçe belediyelerince toplanarak aktarma istasyonlarına getirilen çöpler burada 32 m³'lük silolara aktarılmakta ve hareketli (yatayda ve düşeyde) kompaktörlerle sıkıştırılmaktadır. Çöp aktarma merkezlerinin kurulacağı yerlerin seçiminde, çevresindeki ilçe belediyelerinin en kısa yoldan ulaşabilmesi dikkate alınmıştır. Her ilçe belediyesi, topladığı çöpü kendisine en yakın aktarma istasyonuna getirmekte, çok daha uzun mesafeleri kat etme külfetinden kurtularak büyük oranlarda yakıt tasarrufu yapmakta, zaman kazanmakta, aynı zamanda günde 1500 sefer yapan ilçe belediyelerine ait arabalarının getirdiği çöpler aktarma istasyonlarında düzenli depolama alanlarına giden İSTAÇ'ın büyük araçları ile 400 sefere inmektedir. Böylece trafik yükünde büyük bir azalma meydana gelmektedir (İSTAÇ, 2007).

Aktarma istasyonlarından transfer edilen katı atık miktarlarının aylara göre dağılımı Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 İstanbul çöp aktarma istasyonlarından transfer edilen katı atık miktarlarının aylara göre dağılımı (İSTAÇ, 2007)

YIL	AKTARMA İSTASYONLARI
1995	751.563
1996	1.750.007
1997	2.300.808
1998	2.630.210
1999	2.891.875
2000	2.988.031
2001	2.842.498
2002	2.939.357
2003	3.547.967
2004	3.479.686
2005	3.982.218
2006	4.418.910
TOPLAM	34.523.129

3.6.5 Düzenli Depolama

İstanbul'da 1953 yılına kadar çöpler denize dökülmüştür. Daha sonra ise Levent-Sanayi Mahallesi, Seyrantepe, Ümraniye-Mustafa Kemal Mahallesi gibi şehre yakın yerlere vahşi

döküm şeklinde dökülmüştür. Bu bölgelerin gecekondularla dolması üzerine çöp döküm alanı olarak Habibler, Ümraniye-Hekimbaşı, Yakacık, Aydınli, Halkalı, Şişli-Feriköy ve son olarak da Kemberburgaz-Hasdal kullanılmıştır. Çöplerin kontrolsüz bir şekilde dökülmesi anlamına gelen vahşi döküm uygulamasının sonuçları şu şekildedir:

- Çöpler etrafa dağılarak ve geniş bir alanı kirleterek görüntü ve çevre kirliliği oluşturmuştur.
- Çöp sahasında rüzgarında etkisiyle toz bulutları oluşmakta ve oluşan gazlarla beraber hava kirliliğine sebebiyet vermiştir.
- Çöplerden oluşan metan gazı toplanmadığından patlama riskini oluşturmuş ve çöplüklerde sürekli yangınlar oluşmuştur.
- Çöplerden çıkan kontrolsüz gazlar çevredeki bitki ve diğer canlılara etki etmiştir.
- Oluşan çöp sızıntı suları, yeraltı ve yer üstü sularına karışarak bu suları kirletmiştir.
- Çöpler fare, sinek ve diğer zararlılar için barınma ve üreme yeri olmuştur.
- Vahşi çöp sahalarında büyük boyutlu şev kaymaları olmuştur.

Bütün bu olumsuzluklar sonucunda Aralık 1995 tarihinde, insan ve çevre sağlığını tehdit eden vahşi çöp depolama alanları kaldırılmaya, yerlerine sıhhi ve düzenli depolama alanları kurulmaya başlanmıştır. Aynı yıl içinde Avrupa yakasında Kemberburgaz/Odayeri ve Anadolu yakasında Şile/Kömürcüoda mevkilerinde 2 adet sıhhi depolama alanı açılmıştır. Her iki saha da 25 yıllık çöp kapasitesini karşılayacak şekilde planlanmıştır. İstanbul'daki düzenli depolama sahaları, ilgili yönetmeliklerde belirtilen kriterler dikkate alınarak kademe kademe inşa edilmiştir (İSTAÇ, 2007).

Depolama sahalarında depolanan katı atık miktarlarının yıllara göre dağılımı Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Depolama sahalarında depolanan katı atık miktarlarının yıllara göre dağılımı
(İSTAÇ, 2007)

YIL	DEPOLAMA SAHALARI
1995	752.559
1996	1.751.065
1997	2.300.930
1998	2.661.410
1999	3.185.393
2000	3.319.889
2001	3.218.407
2002	3.313.768
2003	3.552.324
2004	4.162.429
2005	4.604.258
2006	5.090.669
TOPLAM	37.913.101

3.6.6 Kompostlaştırma ve Geri Kazanım

Kompostlaştırma, katı atık içerisindeki organik maddelerin, fermentasyon alanlarında mikroorganizmalar vasıtasıyla yeterli oksijenle reaksiyona girerek çözülmesi ve bu esnada karbondioksit, su ve ısıнын oluşturulması suretiyle oluşur. Kompostun zemin ve toprağa faydaları şu şekildedir:

- Boşluk hacmini artırır,
- Havalandırma sağlar,
- Kolay işlenmesini sağlar,
- Su tutma kabiliyetini artırır,
- Organik madde değerini artırır,
- Besin maddelerinin daha iyi kullanılmasını sağlar (İSTAÇ, 2007).

İstanbul'da Kemerburgaz/Işıklı Köyü mevkiinde kurulan, günde 1000 ton çöpü işleyerek 250 ton kompost (toprak zenginleştirici) elde etmesi hedeflenen tesis, 32.000 m² büyüklüğünde kapalı bir alanı kapsamaktadır. Atık bölümüne gelen katı atıklar, iki aşamalı bir işlemde geçmektedir. Geri kazanım aşamasında, atıkların içindeki alüminyum, metal, plastik ve kağıt gibi maddeler ayrıştırılmakta, ikinci aşamada ise geri kalan organik maddelerden sıcaklık, su

ve nem muhtevası ile özel olarak oluşturulan ortamda fermentasyon yoluyla kompost elde edilmektedir. Bu şekilde üretilen kompostun park, bahçe ve yeşil alanlarda kullanılması planlanmaktadır[1].

Sonuç olarak kompost ve geri kazanım tesisinde günde ortalama 700 ton malzeme işlenerek bunun 400 tonu fermentasyon ünitesine gönderilmekte ve ortalama 200 ton kompost ürünü elde edilmektedir, son eleğe tabi tutulduktan sonra 100 ton kompost, 100 ton da kompost atığı ürün olarak kullanıma sunulmaktadır. Geri kazanım miktarı ise 20 ton olmaktadır (İSTAÇ, 2007).

İstanbul atıklarının yaklaşık %30–40 kadarı geri kazanılabilir atıklardan oluşmaktadır. İstanbul'daki geri kazanım maddelerinin en az %50'sinin gezici toplayıcılar tarafından toplandığı tahmin edilmektedir. Artan ekonomik darboğaz ile birlikte bunların sayısında artış olmaktadır. Gezici toplayıcılar geri kazanıma sağladıkları fayda yanında konteynerleri karıştırmaları sonucu çöp torbalarını parçalayarak atıkların dağılmasına sebep olmaktadırlar. Düzensiz olarak çalışan bu insanların iyi bir organizasyon ile daha düzenli ve verimli çalışmaları sağlanabilir. Var olan çalışmalar içerisinde İstanbul için en uygun geri kazanım çalışması kaynağında ayırımdır. Bunun yanı sıra diğer atıklarla birlikte uzaklaştırılan maddelerin geri kazanımı için Büyükşehir Belediyesi'nin koordinasyonunda ilçe belediyelerin kendileri veya sokak toplayıcılar ile işbirliği yaparak toplanması daha uygundur (Karadağ, 2002).

4. BULANIK MANTIK ve BULANIK LİNEER PROGRAMLAMA

4.1 Bulanık Mantık

Her insan günlük hayatında kesin olarak bilinemeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşır. Bu durumların örgün (sistemik) bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Şimdiye kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve modellemelerinde bu varsayım, kabul ve kavramlara kesinlik kazandırmak için değişik çalışmalarda bulunulmuştur. Hâlbuki büyük ölçeklerden küçük ölçeklere doğru geçildikçe incelenen olayların kesinlikten uzaklaşarak belirsizlikler içeren yönere doğru gitmeleri söz konusudur. Mesela, çok uzakta bulunan bir cisme bakıldığında bunun nokta şeklinde algılanması onun boyutsuz ve şekilsiz olduğu sonucuna varmamıza sebep olur. Bu cisim bize yaklaştıkça bir boyutludan önce tepsi gibi daha sonra da küre gibi sanki üç boyutlu hale dönüşür. Böylece boyutlar arasında kesin bir geçişten ziyade tedricen bir değişimin olduğuna akıl ile varılabilir.

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik ve kesin düşünce ve kararlar verilemeyişten kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncelerinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işlemezler ve çalışmaları için sayısal bilgiler gereklidir. Gerçek bir olayın tam olarak kavranılması insan bilgisinin yetersizliği sonucunda tam anlamı ile mümkün olamadığından insan, düşünce sisteminde ve zihninde bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumlarda bulunur. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünme ve oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh tarafından gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelemeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceği ifade edilmiştir. Çünkü çok fazla olan bilgi kaynaklarının tümünü insan aynı anda ve etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan kesin sonuçlar çıkaramaz. Burada bilgi kaynaklarının temel ve kesin bilgilere ifade olarak, özellikle sözel olan bilgileri de ihtiva ettiği vurgulanmalıdır. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre bu ifadelerin kesin olması beklenemez (Şen, 2004).

Bir sistem hakkında ne kadar fazla öğrenerek bilgi sahibi olursak, onu o kadar daha iyi anlayabiliriz ve onun hakkındaki karmaşıklıklar da o derece azalır, fakat tamamen yok olmaz.

İncelenen sistemlerin karmaşıklığı, az veya yeterli miktarda veri bulunmazsa bulanıklık, o kadar etkili olacaktır. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir.

1965 yılında Lütü (Lotfi) Asker Zade (Zadeh) tarafından ortaya atılan bulanık küme, mantık ve sistem kavramları bu araştırmacının uzun yıllar boyunca kontrol altında çalışması; istediği kontrolü elde edebilmesi için fazlaca doğrusal olmayan denklemlerin işin içine girmesi; yöntemin karmaşılaşması ve çözümün zorlaşması neticesinde ortaya çıkmıştır. Bulanık kavramlarının ortaya atılması ile beraber literatürde bazı hoşnutsuzluklarda olmuştur. Bunlar arasında bazı araştırmacılar bulanıklık fikrini benimseyerek bu konuda çalışmayı teşvik etmişler, ama büyük bir çoğunlukta karşı görüşte olmuşlardır. Bunlar “fuzzification” yani bulanıklaştırmanın kesin olan bilimsel ilkelere uymadığını hatta bilime karşı geldiğini ileriye sürmüştür. Özellikle, ihtimaller teorisi ve istatistik gibi zaten belirsizliklerle uğraşan bilim dalları bulunduğundan, bu konularda çalışan araştırmacılar, bulanık sistemlere açık bir biçimde karşı çıkmışlardır. Bulanık yöntemlerin yapacağı her türlü hesaplamanın, ihtimal ve istatistik hesaplamalarla yapılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Hatta bu yöntemlerin bulanık sistemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir. İlk çıktığı zamanlarda, bulanık sistemlerin doğrudan uygulaması olmadığından, yapılan tartışmalar daha ziyade felsefik seviyede kalmış ve bunun sonucunda kuvvetli ve teorik temelleri olan ihtimaller teorisi ve istatistik yöntemleri ağır basmıştır. Ancak burada gözden kaçırılan basit bir nokta, sözel bilgilerin bulunması halinde istatistiğin fazlaca işe yaramadığıdır. Her ne kadar Bayesian teorisi gibi istatistik yöntem ile sözel bazı ifadelerin hesaplamalarda kullanılması mümkün ise de, bu yöntemlerin işleyişlerinde bazı temel kabuller (normal olarak dağılmış olmak, doğrusal olmak gibi) pratikte gerçekleşmemektedir. Bu sebeplerden, bulanık (fuzzy) sistemler dünyadaki hemen her araştırma merkezinde fazlaca rağbet görmemiştir. Özellikle de, Batı’da bu kavramlar nerede ise tamamen ihmal edilmiş, hoş karşılanmamıştır (Şen, 2004).

Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat kazanması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile olmuştur. Bu araştırmacılar ilk defa bir buhar makinesi kontrolünün bulanık sistem ile modellemesini başarmıştır. Bu ön çalışmadan, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ama sonuçlarının da ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır.

Daha sonraki yıllarda bulanık sistem uygulaması bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolü için yapılıncaya, artık bulanık kavramlar dünyanın birçok yerinde yavaş yavaş

kullanılmaya başlanmıştır. Bu faaliyet, Batı’da çok yavaş olurken, Doğu’da ve özellikle Japonya, Singapur, Kore ve Malezya’da kendisini fazlaca göstermiştir. Müteakip yıllarda, bilhassa 1980’lerden sonra bulanık sistemin elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda bulanık mantık kullanımında fazlasıyla artış olmuştur. Son yıllarda, birçok mühendislik dallarında, veri tabanlarının sözcükleştirilmesinde ve birçok konularda kullanılır hale gelmiştir (Şen, 2004).

Genel olarak mühendislikte kontrol problemlerinde kullanılan bulanık mantık, tedarik zinciri değerlendirme aralığı problemlerinin de çözümünde oldukça kullanışlıdır (Shore vd., 2003).

4.1.1 Belirsizlik ve Kesin Olmayış

Mantık, sistem ve küme vb. için bulanıklık, belirsizliğin bir ifadesi olarak karşımıza çıkar. Geçmişte, belirsizliklerin işlenmesi ve anlamlı sonuçlara varılabilmesi için ihtimaller teorisi kullanılmıştır. Matematik ve mühendislikte bu teori belirsizlik durumlarında istatistik yöntemlerle beraber kullanılır. Bu nedenle de, bütün belirsizliklerin rasgele karakterde olduğu kavramı yaygınlaşmıştır. Rasgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması ve gerekli öngörülerin ve tahminlerin kesin bir doğrulukta önceden yapılamamasıdır. Ancak, bilinen belirsizliklerin hepsi rasgele karakterde değildir. Günlük hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çoğunun rasgele olmadığı kolayca anlaşılabilir. Rasgele karakterde olmayan olayların, örneğin, sözel belirsizlikler halinde inceleme ve sonuç çıkarma işlemlerinde ihtimaller hesabı ve istatistik gibi sayısal belirsizlikleri gerektiren yöntemler kullanılmaz.

Etrafımızda ilgi çeken birçok sorunu, sayısal bilgilerden ziyade, çok kere görüş, eğer yargısı, takdir ve düşüncelerimizi sözel olarak ifade ederek inceler ve yorumlarız. Bu ifadelerin anlamlı olmaları ve başkalarına iletebilmesi için mutlaka her insanın en az bir tane dile ihtiyacı vardır. Dil ne kadar kesin olmayan bir kelime ve cümleleri ihtiva etse bile, insanın iletişim kurmasında ve bilgi akışında en etkin olan bir vasıta. Dildeki belirsizliklere rağmen, insanoğlu onunla birbirini kolayca anlayabilmektedir. Örneğin, “hava sıcak” denildiğinde herkes, kesin olarak hava kelimesinin anlamını anlamaktadır. Ancak, “sıcak” kelimesinin ifade ettiği anlam izafi olarak birbirinden farklı olabilir. Kutuplarda bulunan bir kişinin sıcak için 15 dereceyi anlamasına karşılık, ekvator civarındaki bir kişi için bu 35 dereceyi bulabilir. Arada birçok kişinin görüşü olarak başka dereceler de bulunur. Böylece sıcak kelimesinin altında insanların da ima ettiği sayısal anlayışın bir sonucu olarak belirsiz bir durum vardır. Bu rasgele değildir, ancak belirsizdir ve bu şekilde kelimelerin ima etikleri belirsizliklere fuzzy (bulanıklık) denir. Burada dikkat edilmesi gereken sıcak kelimesinin ne

kadar fazla bir sayısal dereceler topluluğunu temsil ettiğidir, bu topluluklara bulanık küme adı verilir. Bazı insanların sıcaklığı 15 derece, bazılarının ise 35 derece gibi oldukça farklı sayısal biçimde algılamasına karşılık bu insanlar arasında ihtilaf bulunmaz. Ancak Aristo mantığında kesin olarak sıcak veya soğuktan biri vardır. Böylece, bulanık mantığın sayılardan ziyade sözel kelimeleri esas aldığı anlaşılmış olur (Şen, 2004).

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine ihtiyaç gösteren hallerdir. Bulanık mantıktan, karşılaşılan her türlü sorunun karmaşık da olsa çözülebileceği anlamı çıkarılmamalıdır.

Mühendislik modellerinde, kesinliğin kazanılmasına uğraşılması durumunda maliyetlerin artması ve zamanın uzaması söz konusudur. Ancak olayın bulanık ile incelenmesinde araştırmacı veya mühendisin her şeyden önce yapacağı çıkarımların belirli tolerans sınırları içinde kalmasına önceden karar vermesi gerekir (Şen, 2004).

4.1.2 Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri

Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışlagelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1'e, ait olmamaları durumunda ise 0'a eşit var sayılmıştır. İkisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. Hâlbuki bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Böylece daha şimdiden bulanık kümelerdeki öğelerin üyelik derecelerinin kesintisiz olarak 0 ile 1 arasında değer aldığından söz edebiliriz. Aslında Zadeh küme öğelerinin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini ileriye sürerek kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip ve doğal hayatla uyumlu olan bulanık kümeler kavramının özellikle 1980 yılı sonrasındaki teknolojik ve bilimsel çalışmalarda etkisi büyük olmuştur. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık söz için üç temel özelliği sağlaması tanım olarak gerekmektedir. Bunlar şöyle sıralanabilir (Şen, 2004):

1. Bulanık kümenin normal olmasıdır ki, bunun için en azından o kümede bulunan öğelerden bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip bulunması gerekliliğidir.
2. Bulanık kümenin monoton olması istenir ki, bunun anlamı üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.

3. Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki, buna da bulanık kümenin simetri özelliği adı verilir.

Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak şekilde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır.

Yukarıda açıklananlardan sonra, bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlamasının gerekmediği şimdiden akılda tutulmalıdır (Şen, 2004).

4.1.3 Bulanık Sistem

İngilizcede “fuzzy” kelimesine karşı gelen Türkçedeki “bulanık” kelimesinin genel olarak puslu, dumanlı, kesinlikle ayırt edilemeyen, kesin olmayan, belirsiz, kafa karıştıran gibi bir dizi anlamı vardır. Bulanıklığın anlamı, bir araştırmacının incelediği konunun kendi tarafından tam kesinlikle bilinmemesi durumunda sahip olduğu eksik ve belirsiz bilgilerin tümüdür. Böylece araştırmacı, klasik analitik yöntemler ile dinamik ve korunum ilkelerinin elde ettiği denklemleri, verilerinde ve bilgilerinde belirsizlik yani bulanıklık bulunduğu için doğrudan kullanılamaz. Araştırmacının incelediği olay veya mekanizma sadece kesin kurallı, çıkarımlarında kabul ve varsayımlar olan denklemler yerine, onların tamamlayıcısı olarak mevcut onunla ilgili sözel ve oldukça belirsiz bilgiler de göz önünde tutularak modellenebilir. Bulanık ilkelerin yardımı ile olayların incelenmesinde veri ve bilgi bakımından bir bulanıklık söz konusu ise de, bulanık yöntemlerin işleyişi tamamen belirgindir. Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır. Bunlar şöyle ifade edilebilir:

1. Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olması dolayısıyla bu olayların belirgin denklemlerle tanımlanarak, kesin bir şekilde kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun doğal sonucu olarak araştırmacı, kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere başvurmayı her zaman tercih eder. O halde, yapılan bütün çalışmalarda çözümler bir dereceye kadar yaklaşıktır. Aksi takdirde, çok sayıda doğrusal olmayan denklemlerin aynı zamanlı olarak çözülmesi gerekir ki, bunun günümüz bilgilerine göre belirgin olmayan kaotik çözümlere yol açacağı bilinmektedir.
2. Mühendislikte bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder. Birçok gerçek sistem doğrusal olmamasına, nonlineer olmasına rağmen bunların

klasik yöntemlerle incelenmesinde doğrusallığı kabul etmek için her türlü gayret sarf edilir. Örneğin, mukavemet hesaplarında malzemenin gerilme altında şekil değiştirmesinin doğal olduğu, Hooke kanunu ile kesin bir ifadeyle kavuşturulmuştur. Hâlbuki malzemenin her zaman bu şekilde davranması beklenemez ve bu sebeple küçük de olsa bazı sapmaların olması muhtemeldir. Zaten bunun doğal sonucu olarak, mukavemet boyutlandırmalarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklük hesaplara ithal edilerek, olabilecek belirsizlikler yine belirgin bir şekilde göz önünde tutulmuştur. Emniyet katsayısının kullanılması, bir bakıma, belirsizliklerin arka kapıdan çözümün içine katı bir şekilde sokulmasıdır. Hâlbuki gerçek malzemenin davranışlarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklüğe gerek kalmadan boyutlandırma yapılması için belirsizlik ilkelerine gerek duyulur (Şen, 2004).

Bulanık sistemlerle ilgili örneklerden yaygın olanı, bir kişinin araba sürmesini öğrenmesinde ortaya çıkan sözel bilgilerdir. Sürücü adayına hız şu kadar km.ye varınca gaza şu kadar miktar bas denilecek yerde, eğitim sırasında

“**EĞER** hız düşük **İSE** gaza fazlaca bas”

veya

“**EĞER** hız yüksek **İSE** gaza az bas”

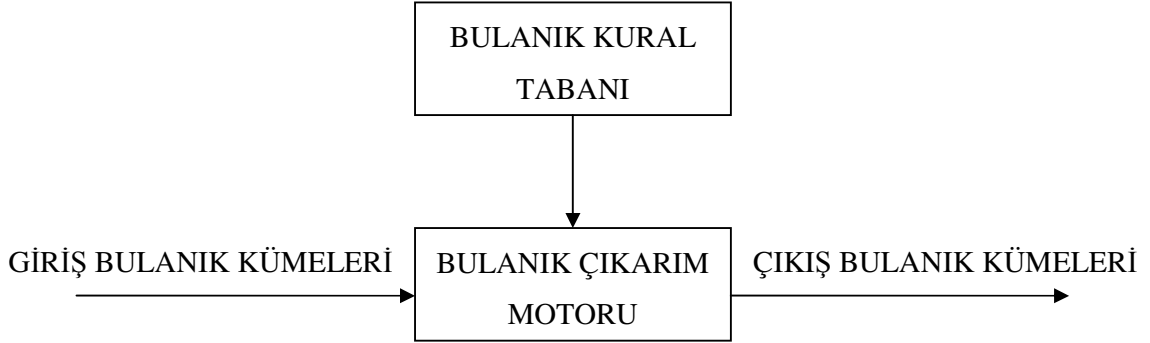
Gibi kurallar söylenir. Bu kurallardaki düşük, fazlaca, yüksek ve az kelimeleri kişilerde ister istemez belirli bir aralıkta sayısal değerleri ima eder. İşte bu ima edilen değerler topluluğuna o kelimeyi temsil eden küme denir. Bu kümenin her ögesi aynı derecede önemli değildir. **EĞER-İSE** şeklinde kuralların **EĞER** ile **İSE** kelimeleri arasında kalan kısımlara **öncül kısım** ve **İSE** kelimesinden sonra olan kısma da **soncul kısım** veya **kural çıkarımı** adı verilir. Genel olarak, öncül kısımda olayla ilgili koşulları içeren deyişler vardır. Soncul kısım ise daha ziyade kontrolle ilgilidir (Şen, 2004).

Şimdiye kadar öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 4.1’de verilen üç ayrı birimden ibarettir.



Şekil 4.1 Klasik sistem (Şen, 2004)

Bunlar; giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı denilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Buradaki birimlerin hepsinde sayısal veri, çıkış veya işlemler yapılmaktadır. Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak Şekil 4.2’de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 4.2 Genel bulanık sistem (Şen, 2004)

Burada bulunan birimlerin her birinin farklı, fakat birbiri ile ilişkili olabilen aşağıdaki görevleri vardır (Şen, 2004).

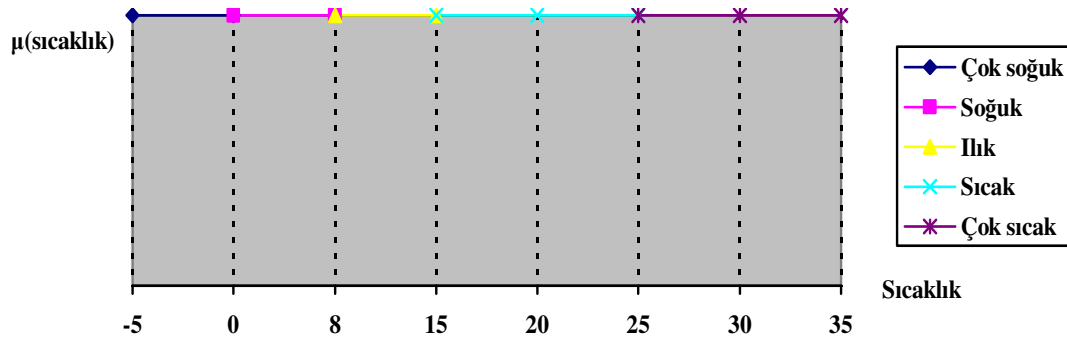
1. **Genel bilgi tabanı birimi:** İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.
2. **Bulanık kural tabanı birimi:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan, mantıksal **EĞER-İSE** türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm bulanık küme bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural bir veya daha fazla girdi uzayını bir çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.
3. **Bulanık çıkarım motoru birimi:** bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak, sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.
4. **Çıktı birimi:** Bilgi ve bulanık kural tabanlarının, bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

Şekil 4.2 genel bir bulanık sistemi temsil eder. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta genel olarak veri tabanındaki bilgilerin ve çıktıların bulanık değerler olmasıdır. Yani Şekil 4.2’deki sistemde, her birim tamamen bulanık kümelerden oluşmaktadır (Şen, 2004).

4.1.4 Üyelik Fonksiyonları

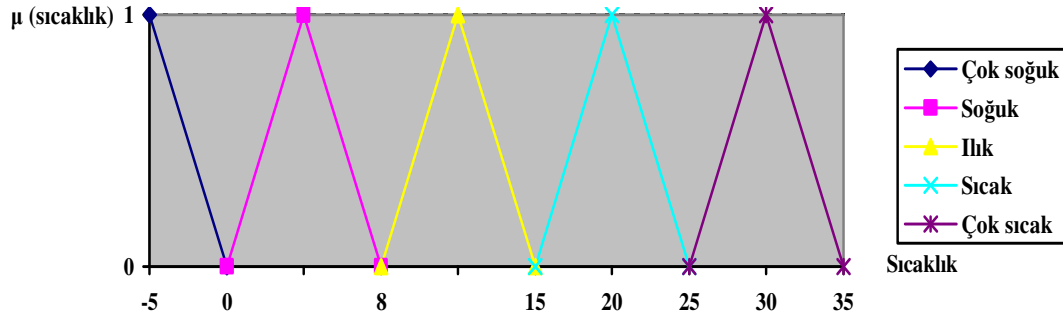
Üyelik fonksiyonu sayısal bir aralığın, bir kelime ile ifade edilen bir küme olan üyeliğini ifade eder. Göz önünde tutulan bir bulanık küme veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir.

Mesela, İstanbul’da sıcaklık derecesinin değişim aralığının aşağı yukarı -5 dereceden +35 dereceye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak, günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Mesela, “çok soğuk”, “ılık”, “sıcak”, “aşırı sıcak” gibi. Mesela çok soğukun -5 derece ile 0 derece, soğukun 0 derece ile 8 derece, ılık 8 derece ile 15 derece, sıcak 15 derece ile 25 derece, çok sıcak 25 dereceden başladığı söylenebilir. Burada dikkat edilirse aralık tahminlerinde bulunulmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Bitişik dikdörtgen gösterim (Şen, 2004)

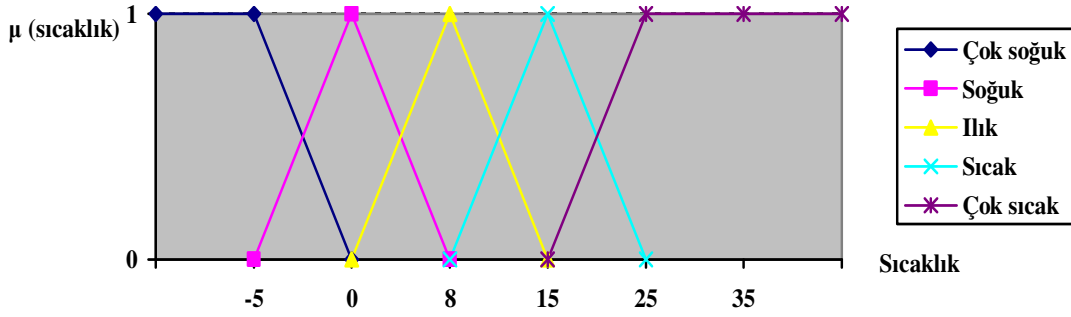
Bu aralıkların sınırlarında yine Aristo mantığına göre katı kararlar alınmalıdır. Örneğin, 7.9 derecenin soğuk, 8.1 derecenin ise ılık olduğuna karar verilir. Bu şekilde gösterim bakımından önemli bir nokta, her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin, sadece o aralıkta 1’e, diğer aralıklarda ise 0’a eşit olduğudur. Bu nedenle her sıcaklık alt kelimesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1’e eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir (Şen, 2004).



Şekil 4.4 Bitişik üçgen gösterim (Şen, 2004)

Şekil 4.4'de yukarıdaki tartışmanın bir doğal sonucu olarak en basit üçgen üyelik fonksiyonları bitişik olarak alınmıştır. Bu üçgenlerin de sıcaklık alt kümelerini tam yansıtmadığı açıktır. Çünkü burada da sınırlardaki sıcaklık değerlerinin üyelik dereceleri sıfır olarak düşünülmüştür. Ayrıca, bu sınır değerleri ne alttaki ne de üstteki sıcaklık alt kümelerine dâhildir. Böylece, sınır değerler için tam anlamı ile bir belirsizlik vardır. Diğer taraftan, bu şekildeki alt aralıklar halen Aristo mantığına göre işlem görür. Çünkü bir alt aralığa düşen sıcaklık değeri, sadece o alt aralığa aittir. Fakat Şekil 4.3'den farklı olarak üyelik derecesi 1'e eşit değildir.

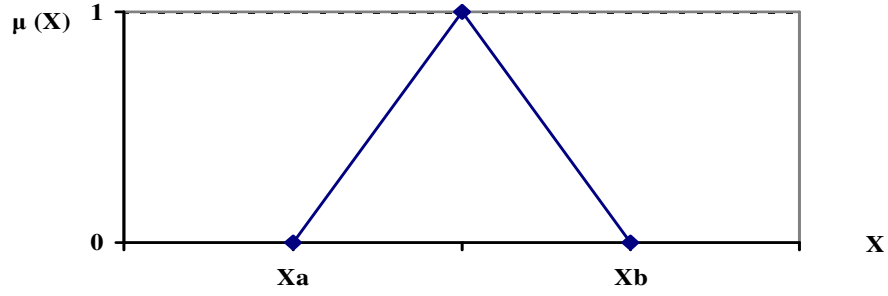
Biraz daha makul düşünen birisi, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceğini söylerse, daha mantıklı, günlük hayatta geçerli ve uzlaştırmacı çözümlere gitmiş olur. Çünkü herkesin ılık sınırlarının +8 ile +15 derecede sıfır üyelik derecelerine sahip olacağını kabul etmesini savunmak mümkün değildir. Halbuki günlük hayatta sınıra yakın olan değerlerin hangi aralığa düşeceği oldukça müphem ve şüpheli, yani bulanıktır. Böylece, sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile sonuçta Şekil 4.5'de verilen üyelik fonksiyonlarına varılır (Şen, 2004).



Şekil 4.5 Örtüşmeli üçgen gösterim (Şen, 2004)

Yukarıda söylenenlerden sonra ilk ve son alt aralıktaki sıcaklık durumlarının “çok çok soğuğa” veya “çok çok sıcağa” doğru giderken başka alt aralıklar olmadığından, üyelik derecelerinin 1’e eşit kalmasının makul olacağı anlaşılr. Bunun doğal bir sonucu olarak da, ilk ve son üyelik fonksiyonlarının üçgen değil de yamuk şeklinde olacağı sonucuna varılır. Böylece, her alt aralığa girişimli olarak bir üyelik fonksiyonu şekli tayin edilmiştir.

Diğer taraftan, sorun her alt aralığa, örneğin “ılık” aralığına düşen sıcaklık derecelerinin hepsinin aynı dönemde olup olmayacağıdır. Tabii olarak, ılık aralığının alt ve üst uçlarına yaklaştıkça onun komşusu olan altta soğuk, üstte ise sıcak alt kümelerine doğru geçişler beklendiği için, o geçiş bölgelerine rastlayan kısımların tam anlamıyla ılık vasfına sahip olacağı söylenemez. Böylece her bir aralığa düşen sıcaklık derecelerinin, o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında önemlerini ortaya kıyasla göreceli olarak kaybedeceği sonucuna, buradan da eğer bir alt aralıkta önem derecesi diye bir değer düşünülecek olursa bunun en büyük değerlerinin o alt aralığın ortalarında, en düşük değerlerinin ise uçlarda olacağını söyleyebiliriz. Bu düşünceler bizi Şekil 4.6’da gösterilen bir geometrik gösterime sürükler. Genel olarak, her alt aralığın ayrık üyelik fonksiyonu bu şekilde gösterildiği gibi olur. Bu fonksiyonların simetrik olması gerekmez. Böylece X_a ve X_b gibi alt ve üst sınırlara sahip X değişkeninin bu aralıktaki her değerine ayrı bir üyelik derecesi, $\mu(x)$, atanmış olur. Bu aralıktaki tüm X değerleri, o X değişkeninin bir alt kümesini teşkil eder (Şen, 2004).



Şekil 4.6 Bulanık küme (Şen, 2004)

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Bunun en önemli özellikleri, alt küme sınırlarındaki değerlerini orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalıklı ve sürekli değiştiği sonucuna varılır. İşte, 0 ile 1 arasındaki değişimin, her bir öğe için değerine üyelik derecesi (μ), bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilir. Böylece, üyelik fonksiyonu şemsiyesi altında toplanan öğeler önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahiptir (Şen, 2004).

X Evrensel bir küme olsun. A kümesini tanımlayan üyelik fonksiyonu

$$\mu_A : x \rightarrow [0,1] \quad (4.1)$$

Şeklinde tanımlanır. Buna bağlı olarak da bulanık A kümesinin tanımı

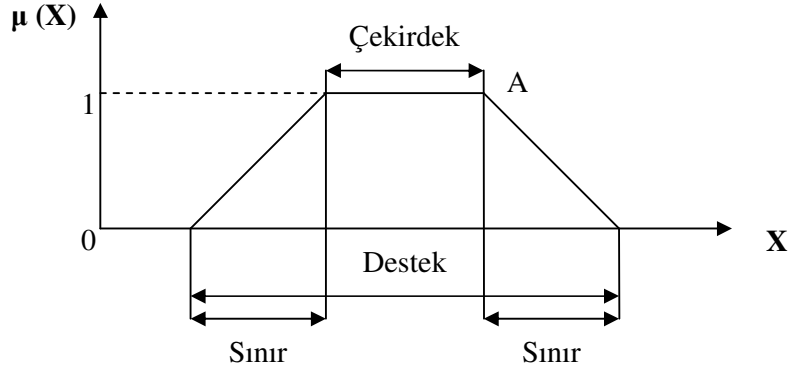
$$A = \{(x, \mu_A(x) \mid x \in X)\} \quad (4.2)$$

Şeklindedir.

Matematik kurallarına uygun olarak düzgün şekilli üyelik fonksiyonları, Şekil 4.6'da gösterilen üçgenden başka, yamuk veya çan eğrisi şeklinde de olabilir. Pratik uygulamalarda bunlardan en fazla üçgen olanı kullanılır (Şen, 2004).

4.1.4.1 Üyelik Fonksiyonunun Kısımları

Herhangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun çekirdeği (Şekil 4.7), A kümesi içinde üyelik derecesi 1'e eşit olan elemanların kümesidir.



Şekil 4.7 Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınır kısımları (Öndemir, 2004)

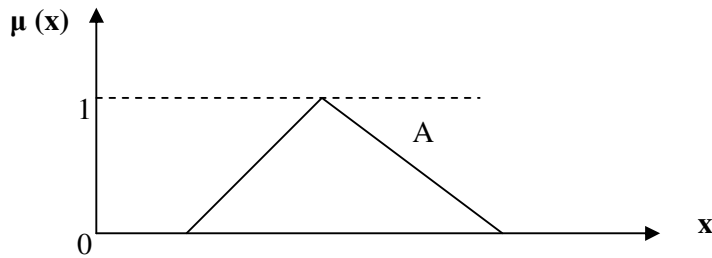
Herhangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun destek kısmı (Şekil 4.7), A kümesi içindeki sıfır olmayan üyelik değerini karakterize eden evrensel küme olarak tanımlanır ve

$$\text{Supp } A = \{ x \in X \mid \mu_A(x) > 0 \} \quad (4.3)$$

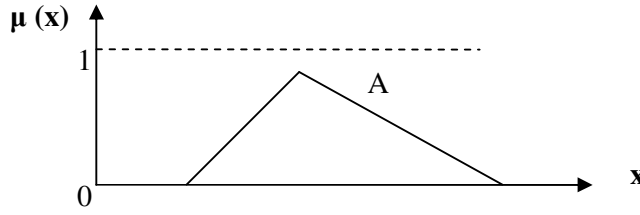
ile gösterilir.

Herhangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunu sınırları (Şekil 4.7), A kümesi içindeki sıfır ve tam üye olmayan değerler ile karakterize edilen evrensel küme olarak tanımlanır. Bu küme içindeki X elemanlarının üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındadır.

Normal bulanık küme üyelik fonksiyonu üyelik değeri 1 olan en az bir tane x elemanına sahiptir (Şekil 4.8).

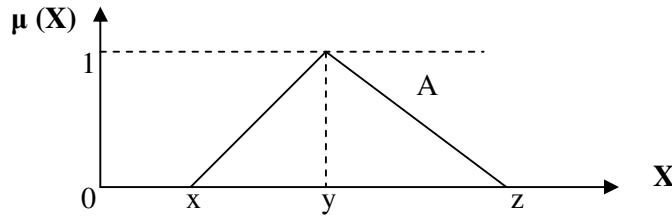


Şekil 4.8 Normal bulanık küme (Öndemir, 2004)



Şekil 4.9 Subnormal bulanık küme (Öndemir, 2004)

A bulanık kümesinin yüksekliği üyelik fonksiyonunun maksimum değeridir. $\text{Max} \{ \mu_A(x) \}$ ile gösterilir. Eğer bu değer 1'den küçük ise bu bulanık küme subnormal bulanık kümedir (Şekil 4.9).



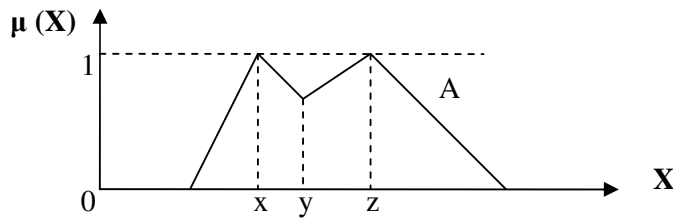
Şekil 4.10 Konveks normal bulanık küme (Öndemir, 2004)

Konveks bulanık küme, üyelik fonksiyonu monoton şekilde artan veya azalan, ya da önce monoton bir şekilde artan değerler ile monoton bir şekilde azalan kümeler olarak açıklanır. Bir başka deyişle, eğer, herhangi $x < y < z$ elemanları için;

$$\mu_A(y) \geq \text{Min} [\mu_A(x), \mu_A(z)] \quad (4.4)$$

denklemini sağlanıyorsa bu bulanık küme, A, konveks bulanık kümedir (Şekil 4.10).

Her hangi iki konveks kümenin kesişimi de konveks bulanık kümedir. Üyelik fonksiyonunda üyelik değerleri 0.5 olan noktalar fonksiyonun geçiş (cros-over) noktaları olarak tanımlanır.



Şekil 4.11 Nonkonveks normal bulanık küme (Öndemir, 2004)

Eğer A tek noktada konveks normal bir bulanık küme olarak tanımlanırsa, A bir bulanık sayıyı ifade eden bir küme olur (Öndemir, 2004).

4.1.4.2 Üyelik Fonksiyonlarının (Bulanık Kümelerin) Temel Özellikleri

Bulanık kümeler, bir değer ve bu değerün üyelik derecesinden oluşan sayı çiftlerinde oluşurlar. Bu çiftler üzerinde işlem yaparken, bazı bulanık küme özellikleri kullanılır. Bulanık küme işlemlerinin klasik kümelerdekinden farkı ise, üyelik fonksiyonlarının bahsedilen bulanık küme özellikleriyle işleme sokulmasıdır (Öndemir, 2004).

Daha önce de anlatıldığı gibi, bir üyelik fonksiyonu; belirli bir aralıktaki sayıların ya da değerlerin, genellikle bulanık bir küme ile ifade edilen bir kümeye üye olma durumlarını tarif eder. Bu üyelik durumunun bir fonksiyonla ifade edilmesinin nedeni, her hangi bir elemanın bir kümeye “tam olarak” ait olmak zorunda olmamasıdır. Klasik kümelerde böyle bir şey söz konusu değildir. Yani, bir bulanık kümenin elemanlarının üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değerler alabilirken, klasik kümenin elemanları 0 ya da 1 üyelik derecelerinden yalnız birine sahip olabilirler.

Bulanık kümelerinde, klasik kümelerdekine benzer özellikleri vardır. Bu özellikler aşağıda açıklanmıştır (Öndemir, 2004):

1. Birleşme özelliği:

$A \cup B$ kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_{A \cup B}(x)$, $x \in X$ 'in her değeri için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (4.5)$$

Örneğin; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümelerin birleşimi olan “uzun boylular VEYA şişmanlar” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle üyedir (Öndemir, 2004).

2. Kesişme özelliği:

$A \cap B$ kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_{A \cap B}(x)$, $x \in X$ 'in her değeri için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (4.6)$$

Birleşme özelliği için verilen örnek kesişme özelliği için şu şekilde düzenlenebilir; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle

üye olan bir kişi, bu kümelerin kesişimi olan “uzun boylular VE şişmanlar” kümesine 0.3 üyelik derecesiyle üyedir (Öndemir, 2004).

3. Evrik alma özelliği:

Bulanık A kümesinin evriği $x \in X$ ’in her değeri için $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu türünden aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (4.7)$$

Örneğin; “şişmanlar” kümesine 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümenin evriği olan “şişman olmayanlar” kümesine 0.7 üyelik derecesiyle üyedir (Öndemir, 2004).

4.1.4.3 Üyelik Fonksiyonu Formları ve Sınırları

Normal ve konveks üyelik fonksiyonu formları yaygın olanlardır. Bununla birlikte bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonu üzerindeki bazı işlemler subnormal ve nonkonveks fonksiyonlar ile sonuçlanabilir.

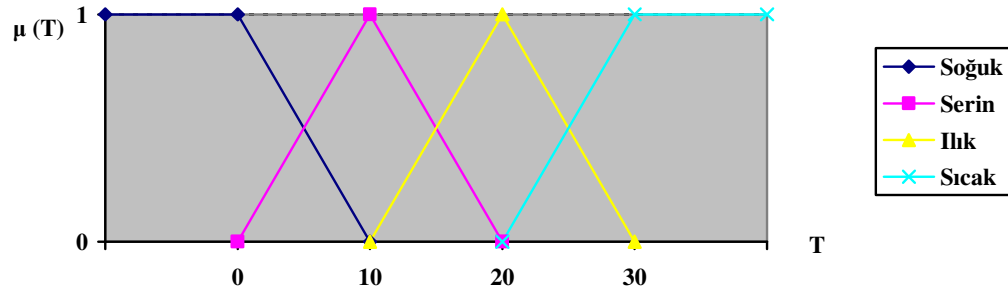
Üyelik fonksiyonları simetrik ve asimetrik olabilirler. Bu fonksiyonlar tek boyutlu kümelerde tanımlandığı gibi çok boyutlu kümelerde de tanımlanabilirler. İki boyutlu durumlarda da, tek boyutlu durumlarda olduğu gibi, bu eğriler yüzeyleri, üç ve daha fazlası için ise hiper yüzeyleri gösterirler. Bu hiper yüzeyler veya eğriler, n boyutlu uzay parametreleri ile [0,1] Aralığındaki üyelik değerleri arasındaki kombinasyonlardan oluşan basit biçimlerdir. Yine, bu üyelik değeri n boyutlu uzaydaki parametrelerin spesifik kombinasyonlarının n boyutlu bir evrensel kümede tanımlanan, belli bir bulanık küme içinde olan üyelik derecelerini gösterir. N boyutlu kümeler için hiper yüzeyler, birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonlarına benzerdir. Fakat üyelik fonksiyonunun çizimi belli bir kümedeki üyelik içindir, frekansla veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile ilişkili değildir (Ross, 1995).

4.1.4.4 Üyelik Derecesinin Belirlenmesi

İhtimaller hesabından bilineceği gibi rasgele bir değişkene değişik ihtimal yoğunluk fonksiyonları uydurulabileceği düşüncesine benzer olarak, bulanık kümelere daha da fazla şekilde üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından bile kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile, ilk yaklaşım olarak bu esaslar göre davranmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan

diğer yöntemlerin tümü oldukça fazladır. Başlıcaları; a) sezgi, b) çıkarım, c) mertebelenme, d) açılı bulanık kümeler, e) yapay sinir ağları, f) genetik algoritmalar, g) çıkarımcı muhakeme gibi değişik yaklaşımlardır (Şen, 2004).

Bunlardan sezgi fazlaca yöntembilim bilgisi gerektirmemektedir. Zaten bu bölümün başlarında üyelik derecesi ve fonksiyonlarının sezgi ile elde edilmesi konusunda açıklamalar yapılmıştır. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışları önemli rol oynar. Buna en basit misal herkesin, hemen her gün karşı karşıya kalarak görüş ileriye sürdüğü sıcaklık kelimesinin belirttiği alt kümeleri düşünebiliriz en azından soğuk, serin, ılık ve sıcak gibi dört tane alt küme belirlenebilir. Bu alt kümelerin her biri belirli bir geometrik şekil ile Şekil 4.12’de görüldüğü gibi temsil edilebilir.



Şekil 4.12 Sıcaklık bulanık alt kümeleri (Şen, 2004)

Bu geometrik şekillerin konumları doğal olarak, o yörede yaşayan kişilere göre değişir. Örneğin, kutuplarda yaşayan insanların soğuk kavramı ile tropikal bölgelerde yaşayanlarınkı birbirinden oldukça farklıdır.

Çıkarım ile bulanık küme üyelik fonksiyonlarının bulunması için mutlaka incelenen olay hakkında bazı temel bilgilere sahip bulunmak gerekir. Burada, literatürde sıkça bilinen bir misal üzerinde durularak izah yapılacaktır. Bir üçgenin A, B ve C iç açılarının toplamının 180 derecedir. İşte bu bilgiden çıkarıma gidilebilir. Üçgenler yaklaşıklıkla eşkenar (E), ikizkenar (İ), dik açılı (D), dik açılı ve eşkenar (DE), ve diğerleri (Dİ) gibi alt kümeler ayrılabilir. Bunların her biri, üçgenler kümesinin bulanık alt kümelerini temsil eder. sıra bu alt kümelerin her birine birer üyelik fonksiyonunun atanmasına geldiğinde, bilinen bilgilerden yararlanılarak bazı üyelik fonksiyonu çıkarımlarının yapılmasına gidilebilir. Mesela, bulanık bir ikizkenar üçgende $A \geq B \geq C \geq 0$ olmak üzere $A=B$ veya $B=C$ olması durumunda üyelik değerinin $\mu_I(x) = 1$ olacağı düşünülerek üyelik fonksiyonunun

$$\mu_I(A,B,C) = 1 - (1/60) \text{ Min } (A-B, B-C) \quad (4.8)$$

olduğu bulunur. $A = 120^\circ$, $B = 60^\circ$ ve $C = 0$ ise $\mu_I(x) = 0$ olur. Hâlbuki bulanık bir dik üçgen için üyelik fonksiyonu

$$\mu_D(A,B,C) = 1 - (1/90) |A - 90^\circ| \quad (4.9)$$

şeklinde ifade edilir. Mesela, $A = 90^\circ$ için dik üçgenin üyelik derecesi $\mu_D(x) = 1$, $A = 180^\circ$ için ise $\mu_D(x) = 0$ 'dır. Diğer taraftan yaklaşık ikizkenar ve dik üçgen için, bulanık eşkenar üçgen ile bulanık dik üçgenlerin birleşimi olarak yukarıdaki iki üyelik fonksiyonundan en küçükleme (Min) ve en büyükleme (Max) işlemleri ile

$$\mu_{I \cup D}(A,B,C) = \text{Min } [\mu_I(A,B,C), \mu_D(A,B,C)] \quad (4.10)$$

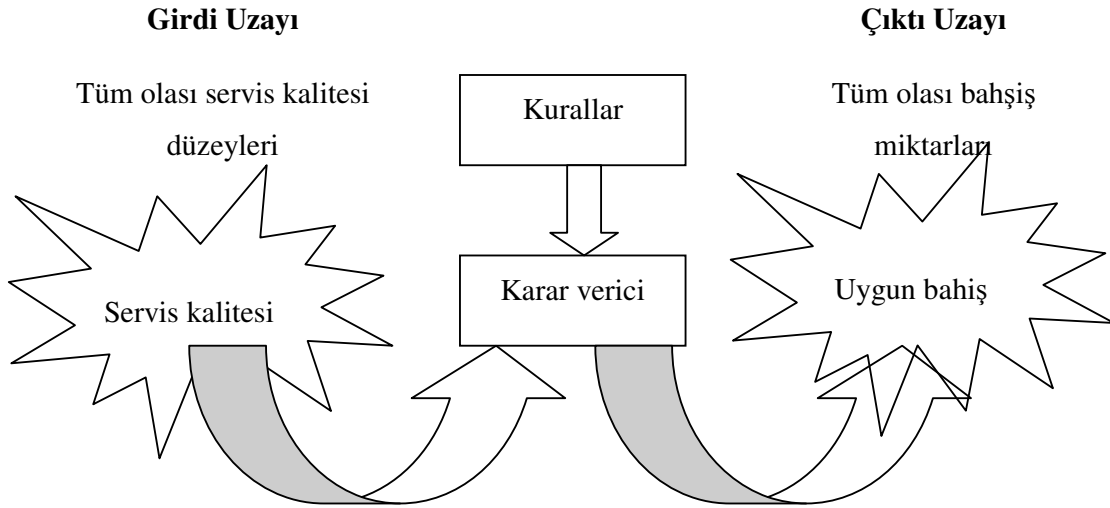
şeklinde ifade edilebilir.

Üyelik fonksiyonu tayininde mertebelendirme yöntemi de kullanılır. Burada bir bulanık değişken hakkında anketler, soruşturmalar veya seçimler yapılarak üyelik derecelerinin tayinine çalışılır. Her zaman, verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır ve bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler yapılır (Şen, 2004).

4.1.5 Bulanık Kümelerde Kural Tabanı ve Çıkarım Süreci

Bulanık sistem teorisinin önemli bir katkısı bilgi tabanını doğrusal olmayan haritaya dönüştürme için sistematik bir metodoloji sağlamasıdır.

Yukarıda da kısaca bahsedildiği gibi; bulanık mantık, bir girdi uzayını, kural tabanı ve çıkarım motoru vasıtasıyla bir çıktı uzayına ulaştırır. Örnek olarak; bir restorandaki “servis kalitesine” göre “uygun bahşiş miktarı” kararı alınması verilebilir. (Şekil 4.13). İnsanlar bahşiş verecekleri zaman servisi çeşitli kriterlere göre ölçüp, bir bahşiş fonksiyonuna sokmazlar. Yapılan şey basittir. “EĞER servis kalitesi ‘çok iyi’ İSE ‘çok’ bahşiş ver” gibi birkaç tane kuralla konu açıklığa kavuşmuş olur. Bulanık mantık temelde problemlere getirdiği bu kolay çözüm nedeniyle tercih edilir (Öndemir, 2004).



Şekil 4.13 Bir girdi altkümesinin bir çıktı altkümesine gitmesi (Öndemir, 2004)

Yukarıdaki kurala bakıldığında daha önceden karar vericinin aklında tanımlanan, servis kalitesi değişkenine ait dilsel bulanık kümeler olduğu görülür. Bu kümeler “Çok iyi”, “Orta”, “Zayıf” olsun, benzer şekilde bahşış miktarı için bulanık kümeler ise “Az”, “Orta” ve “Çok” olsun. Karar vericinin servis için “Çok iyi” ifadesini kullanması, herhangi bir kuralı belirli bir çıktı kümesine götürmez. Zira alınan servis kalitesinin “Çok iyi” kümesindeki üyelik derecesi uygun bahşış miktarının “Çok” kümesindeki üyeliğini verecektir. Dolayısıyla üyelik derecesinin hesaplanmasını sağlayacak bir kesin (crisp) veya bulanık (fuzzy) girdiye ihtiyaç vardır. Böyle bir girdi sağlamak için servis kalitesinin 1–10 arasında puanlandığı varsayılabilir. Bir kabul de çıktı uzayı için yapılmalıdır. Bahşış miktarının en küçük değeri %0 ve en büyük değeri %25 olsun (Öndemir, 2004).

Yukarıdaki kabuller ışığında çıktı (bahşış miktarı) şu adımlar izlenerek oluşturulur:

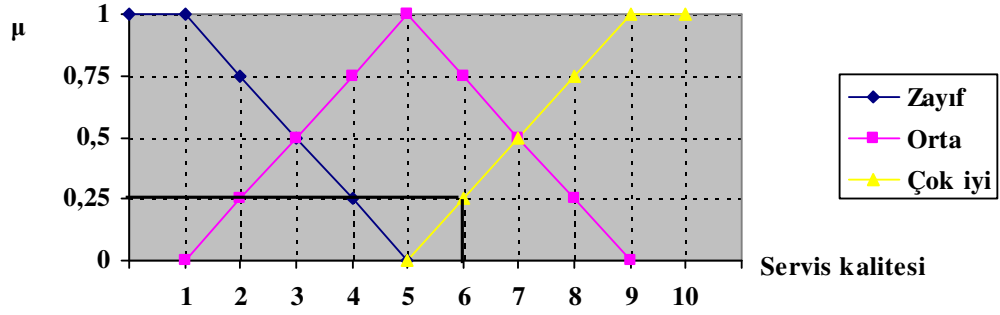
1. Kesin (crisp) girdinin bulanıklaştırılması (Fuzzification)
2. Kural tabanı vasıtasıyla çıkarım (Inference)
3. Çıktının durulaştırılması (Defuzzification)

4.1.5.1 Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Bulanıklaştırma, kesin olarak ifade edilen bir girdinin, bulanık bir küme içerisindeki üyeliğinin bulunmasıdır. Bu yolla, kesin olarak ifade edilen bir sayı bir bulanık kümenin belli bir oranda elemanı olur.

Servis kalitesine verilen 6 puanı, 0.25 üyelik derecesi ile “Çok iyi” kümesine üyedir (Şekil

4.14).



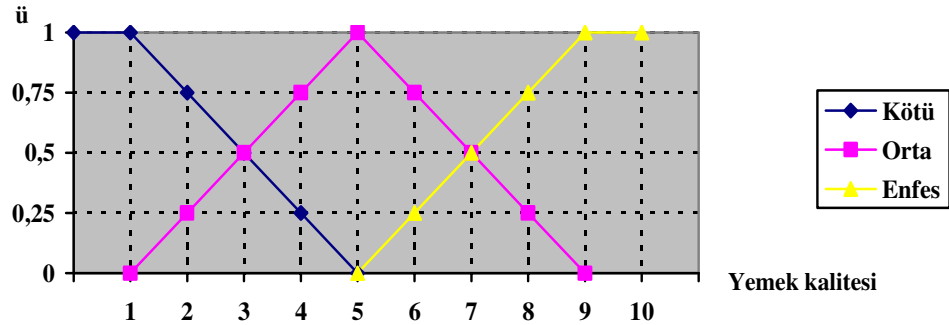
Şekil 4.14 Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu (Öndemir, 2004)

Bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen değer 0.25'tir ve çıkarım için bu değer kullanılacaktır.

Bahşış örneğine, üyelik fonksiyonu Şekil 4.15'de gösterildiği gibi olan yemek kalitesi değişkeni eklensin. Kural tabanı da düzenlenerek aşağıdaki şekle getirilebilir;

EĞER servis kalitesi 'çok iyi' VEYA yemek kalitesi 'enfes' İSE 'çok' bahşış ver.

Yemek kalitesine verilen 8 puanı, 0.75 üyelik derecesi ile "Enfes" kümesine üyedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu (Öndemir, 2004)

Bulanık kümelerde birleşim işleminin "veya" operatörüyle ifade edilebildiği ve bu ifadenin de matematiksel olarak "max" ile gösterildiği daha önce anlatılmıştı.

Öyleyse, kural tabanının öncül kısmı (EĞER ile İSE arasındaki kısım) olan, "servis kalitesi

‘çok iyi (Çİ)’ VEYA yemek kalitesi ‘enfes (EN)’” ifadesi matematiksel olarak aşağıdaki gibi çözülür.

$$\mu_{\text{Çİ} \cup \text{EN}} = \text{Max} \{ \mu_{\text{Çİ}}(6), \mu_{\text{EN}}(8) \} = \text{Max} \{ 0.25, 0.75 \} = 0.75 \quad (4.11)$$

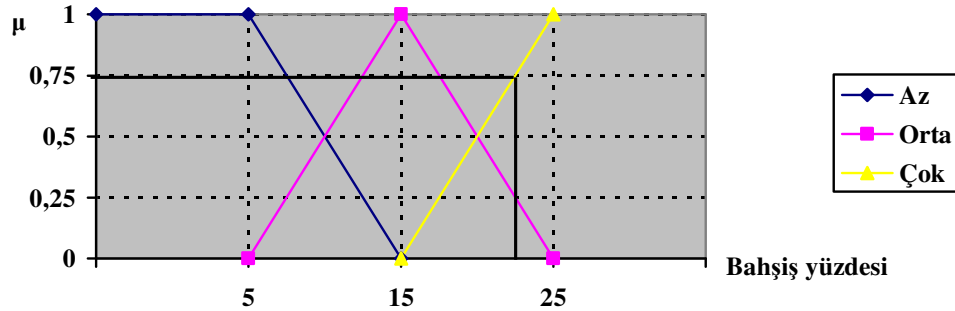
Bu işlem sonucunda elde edilen 0.75 değeri, kural tabanının soncul (İSE’den sonraki) kısmında verilen uzayı daraltan bir çıkarımda rol oynar.

Bulanıklaştırmanın girdisi her zaman kesin (crisp) olmayabilir. Girdinin bulanık (fuzzy) bir küme olduğu durumlarda, bulanıklaştırma işlemi, iki bulanık kümenin kesiştirilmesiyle yapılır. Daha sonraki işlemler tamamıyla aynıdır (Öndemir, 2004).

4.1.5.2 Çıkarım (Inference)

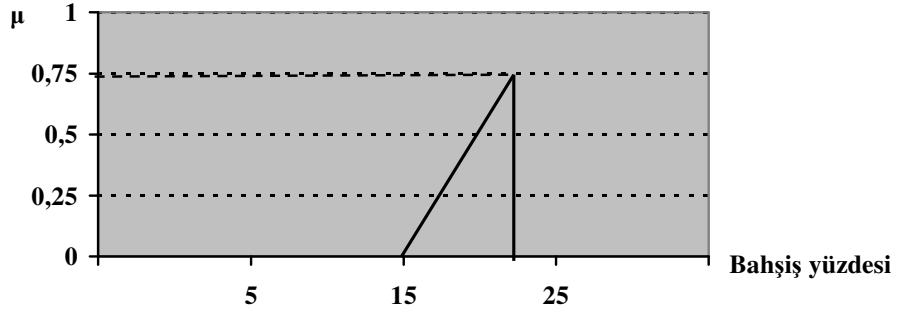
Çıkarım, bulanık bir girdi kümesinin kural tabanında belirtilen bulanık bir çıktı kümesine gitmesidir. Çıkarım sırasında kural tabanının öncül kısmında (Antecedent) bulanıklaştırma ile elde edilen üyelik değeri, soncul kısımdaki (Consequent) bulanık kümeye yansıtılır ve bir çıktı bulanık kümesi elde edilir.

Çıkarım kısmında bahşiş miktarının da üyelik fonksiyonuna (Şekil 4.16) ihtiyaç vardır.



Şekil 4.16 Bahşiş miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu (Öndemir, 2004)

Aynı örnek devam ettirilirse, bulanıklaştırma sonucunda elde edilen 0.75 değerinin, kural tabanında belirtilen “çok” bahşiş kümesine uygulanması gerekir. Değerin kümeye uygulanması, bahşiş uzayını daraltmaya uğratacak ve uygun bahşiş miktarının bulanık kümesini verecektir (Şekil 4.17). Kural sayısının birden fazla olması durumunda, her bir kuraldan elde edilen çıktıların bileşkesi, çıktı bulanık kümesini verir. Kesin bir çıktı değeri (uygun bahşiş oranı) ise durulaştırma işleminden sonra elde edilir (Öndemir, 2004).



Şekil 4.17 Bulanık çıkarım kümesi (Öndemir, 2004)

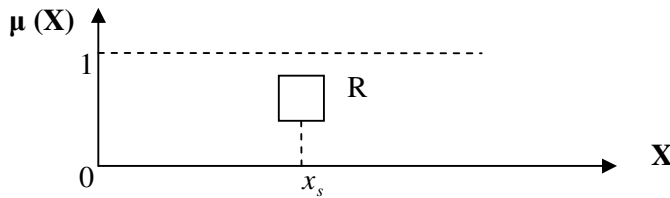
4.1.5.3 Durulaştırma (Defuzzification)

Bulanık çıkarım kümesinden yola çıkarak kesin bir sayı elde etme işlemine durulaştırma denir. Durulaştırma işlemi için birçok metot mevcuttur. Ancak bu metotlardan yedi tanesi son yıllarda araştırmacılar tarafından sıklıkla önerilmektedir. Bu çalışmada, uygulamalarda sıkça kullanılan bu metotlardan en çok kullanılan üç tanesi özetlenmiştir (Öndemir, 2004).

1. Ağırlık merkezi (Centroid) yöntemi:

Durulaştırma işlemleri arasında en yaygın kullanıma sahip olan yöntem ağırlık merkezi (centroid) yöntemidir. Bu yöntemde bulanık çıktı kümesi (R)'nin ağırlık merkezinin iz düşümünde bulunan x_s değeri, kuralın kesin (crisp) çıktısı olarak kabul edilir. Anlatılanların matematiksel olarak ifadesi (4.12)'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 6.18'de verilmiştir:

$$x_s = \frac{\int \mu_R(x) \cdot x \cdot d_x}{\int \mu_R(x) \cdot d_x} \quad (4.12)$$



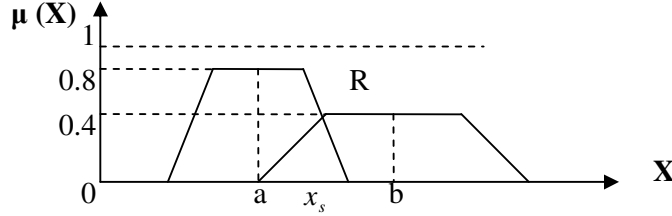
Şekil 4.18 Ağırlık merkezi yöntemiyle durulaştırma (Öndemir, 2004)

2. Ağırlıklı ortalama yöntemi:

Bu yöntem üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu durumlarda kullanılır. Matematiksel

ifadesi (4.13)'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 4.19'da verilmiştir:

$$x_s = \frac{\sum \mu_R(\bar{x}) \cdot \bar{x}}{\sum \mu_R(\bar{x})} \quad (4.13)$$



Şekil 4.19 Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma (Öndemir, 2004)

3. En büyük üyelik derecesi:

Bu yönteme göre çıktının kesin değeri, en büyük üyeliğin olduğu noktadır. Tepesi sivri olmayan kümelerde ise, en yüksek üyeliğe sahip olan düzlüğün orta noktasının iz düşümü çıktının kesin değerini verir (Öndemir, 2004).

4.2 Bulanık Lineer Programlama

1965 ' de Lütü A. Zadeh tarafından bulanık(fuzzy) küme teorisinin ortaya atılmasından sonra; bulanık küme teorisi, yöneylem araştırması, yönetim bilimi, yapay zeka-uzman sistemler, kontrol teorisi ve özellikle teknolojiye uygulanmaya başlamıştır (Mete, 2001).

Matematiksel programlamada, bir gerçek problem matematiksel modellerle ifade edilir. Eğer bir model, sınırlamaları olmayan bir gerçek probleme yaklaşırsa, model karmaşık bir model olur ve çözümü güçleşir ve çelişkili sonuçlar ortaya çıkar. Bununla birlikte, gerçek problemler doğal dille ifade edilebilen kısıtlama ve amaçlar içerirler. Örneğin, belirsizlik ifade edilirken, “yaklaşık A lira kazanmak isteriz” veya “B civarında veya daha az yatırım yapmak isteriz” ifadeleri bir çeşit belirsizlik içerir. Bulanık matematiksel programlama, bu tür belirsizlikleri bulanık kümelerdeki terimlerle ifade eder ve bizim kavrayışımıza yakın hale getirir (Mete, 2001).

Klasik matematiksel programlama problemlerinde, kısıtlamalara bağlı olan maksimize olmuş bir amaç fonksiyonunun çözümünü buluruz. Gerçek problemlerde, nesnelerdeki kısıtlamalar ve objektif fonksiyonları esnek olarak ele alırız. Örneğin, bir şirket yatırım probleminde, yatırım plan aşamaları için kullanılabilir para miktarını saptamak belirsizdir. Bununla beraber memnuniyet için standartları izlemek, birçok şirket için daha iyidir, yani belli bir seviyeye

kadarki kar, maksimum şirket karından daha kabul edilebilirdir. Bu memnuniyet derecesi için standartları izleyen amaç kümelerini ele alan bir yaklaşım, reel problemlere, maksimize olmuş amaç fonksiyondan daha yakındır (Mete, 2001).

Bulanık küme teorisi, ilk kez 1976 yılında H.-J. Zimmermann tarafından geleneksel LP problemlerine uygulanmıştır (Gonce, 2005). Zimmermann LP' yi bulanık hedefler ve sınırlar ile beraber ele aldı (Tabuk, 2006). Bu uygulama Bellman ve Zadeh' in bulanık karar tanımından yola çıkılarak lineer üyelik fonksiyonları sayesinde yapılmış ve ilgili bulanık LP problemine eşdeğer olan bir LP probleminin varlığı ispatlanmıştır. Bundan sonra bulanık LP, birçok yönde çeşitli başarılı uygulamalar ile geliştirilmiş ve bugünlerde de bulanıklık altında çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü için önemli bir hale gelmiştir (Gonce, 2005).

Bulanık (fuzzy) lineer programlama, klasik lineer programlamanın yetersiz kaldığı durumlardan dolayı ortaya çıkmıştır (Mete, 2001).

4.2.1 Bulanık Kaynaklı ve Bulanık Amaçlı Lineer Programlama Problemi

Aşağıdaki iki problem birbirine eşittir (Taştan,2003):

$$\begin{aligned} \max z &= cx \\ (Ax)_s &\leq \tilde{b}_s, s = 1, 2, \dots, m \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.14.a)$$

Ve

$$\begin{aligned} \max z &= cx \\ (Ax)_s &\leq b_s, s = 1, 2, \dots, m \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.14.b)$$

4.2.1.1 Zimmermann'ın Yaklaşımı - Simetrik Model

Bu yaklaşımda, b_0 amacı ve ona karşılık gelen bulanık amacın toleransı p_0 başlangıçta verilmekte ve aynı zamanda bulanık kaynaklar için de b_s ve ona karşılık gelen toleranslar $\forall s$ için p_s ' de verilmektedir. Daha sonra, bulanık amaç ve bulanık kısıtlar ve onlara karşılık gelen bölgeler, $\forall s$ için, $[b_s, b_s + p_s]$ aralığında tanımlanmaktadır (Taştan, 2003). Buradan, denklem (4.14)'ü göz önünde bulundurarak x 'i bulmak için:

$$\begin{aligned} cx &\geq b_0 \\ (Ax)_s &\leq b_s, \forall s, \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.15)$$

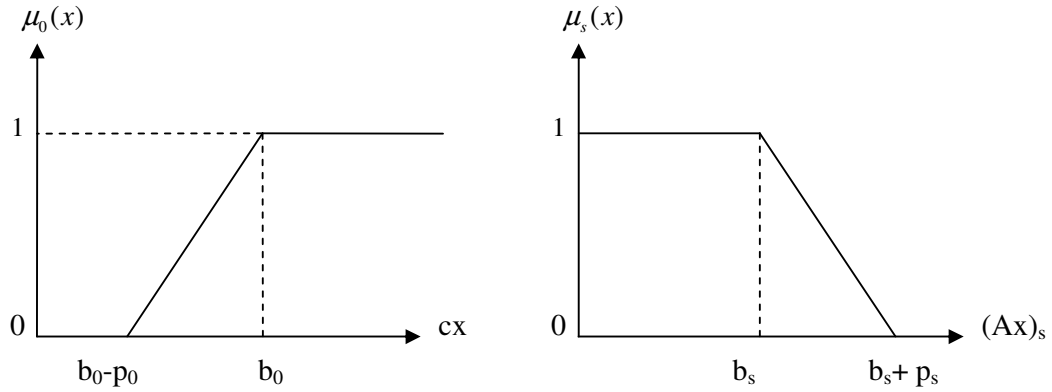
şeklinde düşünülür (Taştan, 2003).

Bulanık küme teorisinde; bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlar, onlara karşılık gelen üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. Burada bulanık amacın μ_0 üyelik fonksiyonunu, azalmayan sürekli lineer fonksiyon ve kısıtların, $\forall i$ için, μ_i üyelik fonksiyonlarının, artmayan sürekli lineer fonksiyon:

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & cx \geq b_0 \\ 1 - (b_0 - cx)p_0 & b_0 - p_0 \leq cx \leq b_0 \\ 0 & cx < b_0 - p_0 \end{cases} \quad (4.16)$$

$$\mu_s(x) = \begin{cases} 1 & (Ax)_s < b_s \\ 1 - [(Ax)_s - b_s]/p_s & b_s \leq (Ax)_s \leq b_s + p_s \\ 0 & (Ax)_s > b_s + p_s, \forall_s \end{cases} \quad (4.17)$$

şeklinde olduğu varsayalım. (Şekil 4.20.)



Şekil 4.20 Bulanık amaç kısıtı $cx \geq \tilde{b}_0$ ve s. bulanık kısıtı $(Ax)_s \leq \tilde{b}_s$ için üyelik fonksiyonları (Taştan, 2003)

Zimmermann denklem (4.15)' i çözmek için, Bellman ve Zadeh'in max-min operatörlerini kullandı. Böylece optimal çözüm:

$$\max \mu_D = \max \{ \min [\mu_0(x), \mu_1(x), \dots, \mu_m(x)] \} \quad (4.18)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada μ_D karar uzayı olan D'nin üyelik fonksiyonudur ve $\mu_D = \min(\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_m)$ 'dir.

Eğer $\alpha = \mu_D$ ise denklem (4.18) ile denklem (4.15) denk olacaktır:

$$\begin{aligned}
& \max \alpha \\
& \mu_0(x) = 1 - (b_0 - cx) / p_0 \geq \alpha \\
& \mu_s(x) = 1 - [(Ax)_s - b_s] / p_s \geq \alpha, s = 1, \dots, m \\
& \mu_s(x), \forall_s \text{ ve } \alpha \in [0, 1]
\end{aligned} \tag{4.19}$$

veya

$$\begin{aligned}
& \max \alpha \\
& cx \geq b_0 - (1 - \alpha) p_0 \\
& (Ax)_s \leq b_s + (1 - \alpha) p_s, \forall_s \\
& x \geq 0 \text{ ve } \alpha \in [0, 1]
\end{aligned} \tag{4.20}$$

Burada $\forall_s$ için; c, A, b_0, p_0, b_s ve p_s başlangıç olarak verilmiştir.

Açıkça görülüyor ki denklem (4.20) kesin bir lineer programlama problemidir. Tek bir optimal çözüm elde edilebilir. Bu yaklaşımın bulanık kaynaklı ve bulanık amaçlı bir LP problemi için ilk pratik metot olarak bilindiğinin belirtilmesi gerekir (Taştan, 2003).

5. KATI ATIK YÖNETİMİNE BULANIK MODEL ONERİSİ VE ÇÖZÜMÜ

Yaşamımızda oluşan katı atıkların bertarafı çok sayıda süreçten sonra gerçekleşmektedir. Bu süreçler sonucunda atıklar ya sisteme geri kazanılmakta veya bertaraf edilmektedir. Atıkların topluma verdiği rahatsızlıktan ve özellikle belediyelere ve ilgili makamlara verdiği maddi külfetten ötürü çok sayıda çalışmaya konu olmuştur.

Çalışmalarda atık yönetimine ilişkin maliyetler ortaya konularak bu maliyetlerin minimizasyonu üzerinde durulmuştur. Jiu-Bing Sheu (2005), “Çok Kaynaklı Zararlı Atıkların Koordineli Ters Lojistik Sisteminin Bölgesel Yönetimi” isimli çalışmasında zararlı atıkların taşınması sırasında ortaya çıkan maliyetlerin ve risklerin incelemesinde bulunmuştur. Ioannis Giannikos (1996), “İşleme Merkezlerinin Yerleştirilmesi Ve Zararlı Atıkların Rotalanmasına Çok Amaçlı Bir Model” isimli çalışmasında rotalama ve işlemede oluşacak toplam risk ve maliyetlerin minimizasyonu üzerine lineer bir model geliştirmiştir. Türkiye’de de bu konuyla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Alumur S. (2005), “Zararlı Atık Yerleştirme-Rotalama Problemine Yeni Bir Model” isimli çalışmasında atıkların bertarafında kurulacak tesisin yeri, kullanılacak teknolojinin çeşidi tespit edilerek, toplama, taşıma, işleme ve yok etme işlemlerini içeren birçok amaçlı bir model önermiştir. Çalışmasında toplam maliyet ve taşıma risklerini göz önünde bulundurmıştır.

Klasik karar teorisinde bir karar; karar alternatiflerinin (karar uzayı) bir kümesi; doğa durumlarının bir kümesi (durum uzayı kümesi); kararın her bir ikincisini atayan ve bir sonuç belirten bağıntı ve son olarak sonuçları çekiciliklerine göre sıraya koyan fayda fonksiyonu ile tanımlanabilir. Belirlilik altında karar verirken karar verici, hangi durumu beklediğini bilir ve verilen geçerli durum üzerinden en yüksek faydalı karar alternatifini seçer. Risk altında karar verirken karar verici hangi durumun gerçekleşeceğini bilmez, sadece durumların olasılık fonksiyonunu bilir. Dolayısıyla bu kez karar verme daha zor bir hal alır (Çitli, 2006).

1970’te Bellman ve Zadeh, bir kararın klasik modelini göz önüne almışlar ve bulanık çerçevede karar vermek için bulanık karar teorisindeki yazarların çoğu için bir hareket noktası olarak görev yapan bir model önermişlerdir. Amaç fonksiyonu gibi kısıtlarında bulanık olduğu durumlarda belirlilik altında karar verme durumunu incelemişler ve şunları ileri sürmüşlerdir: bulanık amaç fonksiyonu ve kısıtlar kendi üyelik fonksiyonları ile karakterize edilebilirler. Amaç fonksiyonu ve aynı zamanda kısıtları sağlamayı (optimize etmeyi) istediğimizde, bulanık çerçevede bir karar, bulanık olmayan çerçevede karara benzer şekilde; amaç fonksiyonu ve kısıtları aynı zamanda sağlayan seçeneklerin seçimi olarak tanımlanır.

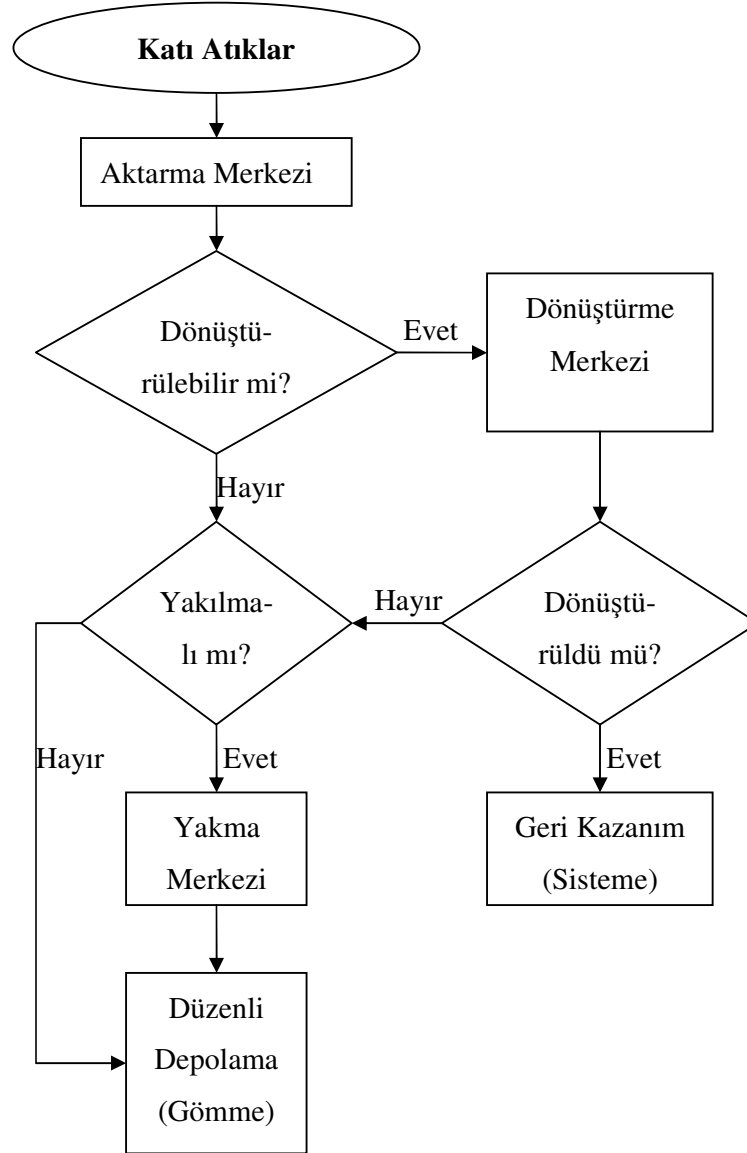
Yukarıdaki tanıma bağlı kalınır ve kısıtların etkileşimli olmadığı kabul edilirse, mantıksal ve kesişim işlemine karşılık gelir. Bu nedenle bulanık çerçevede bir karar, bulanık kısıtların ve bulanık amaç fonksiyonunun kesişimi olarak incelenebilir (Çitli, 2006).

Gerçek dünyanın yorumlanmasında bulanık karar teorileri kullanıla gelmiştir. Önerdiğimiz lineer modelin gerçek dünya ile uyuşmasını sağlamak amacıyla amaç fonksiyonunu ve kısıtları bulanık sayılardan oluşan değerler olarak ele aldık.

Bir şehirde oluşan katı atıkların miktarı literatür taramamızda da belirttiğimiz gibi dönemden döneme, mevsimden mevsime hatta aydan aya değişmektedir. Bu gerçeği göz önünde bulundurunca sistemden toplanacak olan atıkların tam miktarı kestirilememektedir. Buna bağlı olarak ortaya çıkacak olan maliyet de tam olarak belirlenememektedir. Ancak bu değerlerin belli bir aralıkta değişebileceğini düşünebiliriz. Böyle durumlar için bulanık mantık uygulamak çözüme gitmek için en mantıklı yol olarak görülmektedir. Bütün bunların üstesinden gelmek için yapacağımız lineer modeli bulanıklaştırarak sorunun üstesinden gelebiliriz. Bulanık model 5.1’de anlatılmıştır.

5.1 Model

Katı atıkları dönüştürülebilenler (tekrar kullanılabilenler, işlemlere tabi tutulup geri kazanımı sağlananlar), yakılabilenler veya yakılması gerekenler (tıbbi atıklar veya zararlı atıklar) ve herhangi bir işleme tabi tutulmadan düzenli depolama alanlarına gömülenler (organik atıklar vb.) olarak ayırabiliriz. Katı atıkların bertarafına ilişkin akış diyagramı Şekil 5.1 deki gibidir.



Şekil 5.1 Katı atık bertarafı için akış diyagramı

Çalışmada, üç tip atık bulunmaktadır. Atıkları T1, T2 ve T3 (T1:Atık Tipi1, T2: Atık Tipi2, T3: Atık Tipi3) şeklinde gösterdik. T1 no.lu atık dönüştürülebilir atık tipini temsil etmekte, T2 no.lu atık yakılması gereken tıbbi atıkları ve zararlı atıkları göstermekte ve T3 no.lu atık ise doğrudan gömülmesi gereken atıkları göstermektedir. Atık sistemimizde üç aktarma merkezi (atıkların sistemden toplanarak yakmaya veya gömülmeye gönderilmek üzere geçici olarak depolandığı merkez), 2 dönüştürme merkezi (atıkların sisteme hammadde veya kompost şeklinde geri kazandırılabilirdiği merkez), 2 yakma merkezi (atıkların yakılarak kül

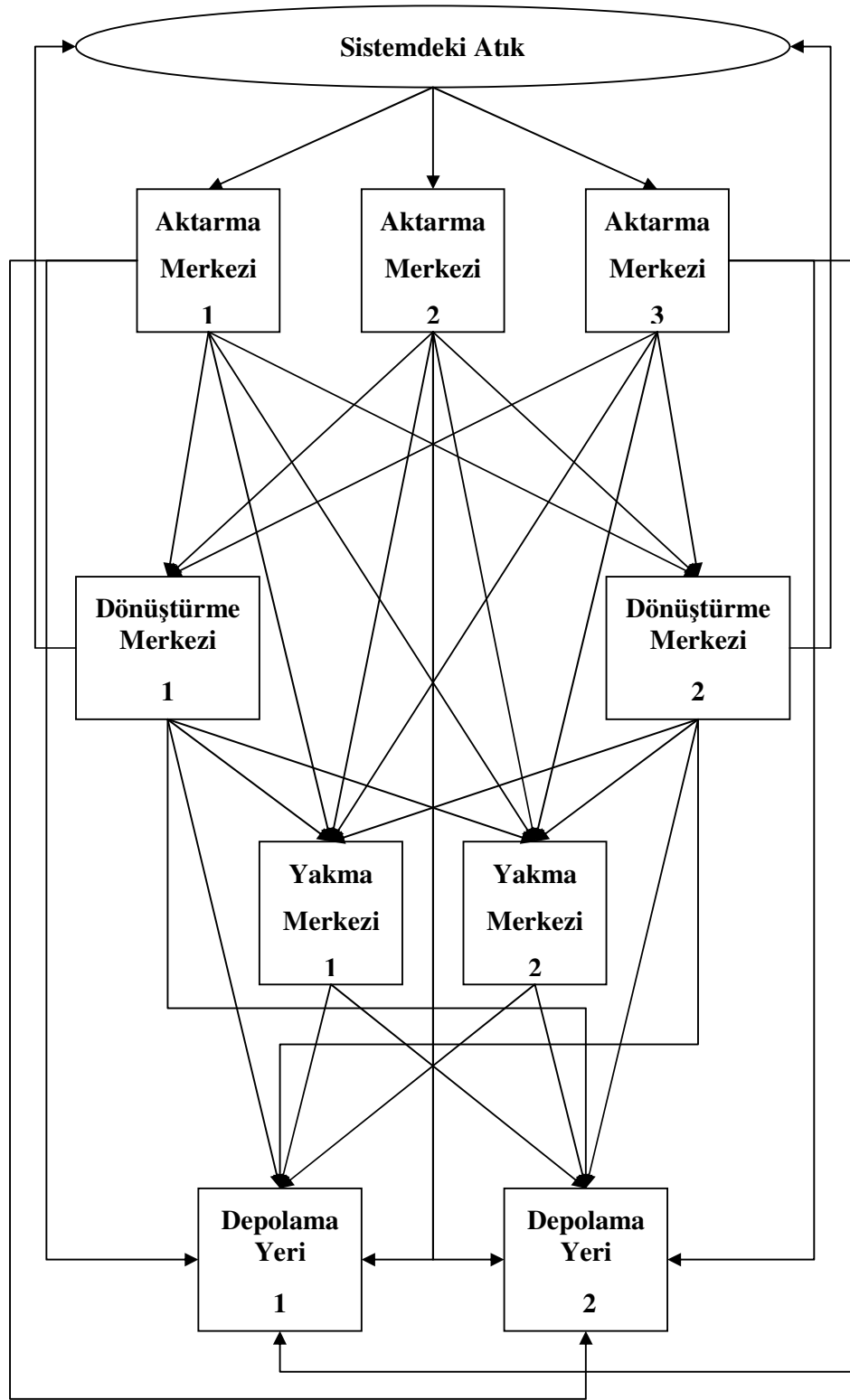
veya cüruf haline getirildiği merkez) ve 2 atıkların düzenli olarak depolanacağı (gömüleceği) depolama merkezinden oluşmaktadır.

Atıklar, şekil 5.1’de de görüldüğü gibi öncelikle tipi belirlenmekte. Birinci adımda atığın dönüştürülebilir olup olmaması araştırılmaktadır. Dönüştürülebilir atıklar dönüştürme merkezlerine gönderilmektedir. Dönüştürülemeyen atıkların yakılarak mı gömülerek mi bertaraf edilmesine karar verilmektedir. Yakılacak atıklar yakma merkezlerine, gömülecek atıklar da düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir. Dönüştürme merkezlerine gönderilen atıklardan dönüştürülmesi imkânsız olan atıklar çıkmakta veya yararlı kısmı alındıktan sonra yakılması gereken veya gömülmesi gereken bir miktar arta kalmaktadır. Bu arta kalan atıklar için tekrar karar verilmesi gerekmektedir. Yakılarak mı yoksa gömülerek mi bertaraf edilmelidir. Şeklinde ki sorudan sonra arta kalan atıklar ya yakma merkezlerine yada düzenli depolama merkezlerine gönderilmektedir. Ayrıca yakma merkezlerine gönderilen atıklardan, yakıldıktan sonra arta kalan kül ve cüruf kısımların gömülmesi için düzenli depolama sahalarına gönderilmektedirler.

Şekil 5.2 de atık tiplerinin sistemdeki akışı gösterilmektedir. Bu akışa göre atık tipi 1 (T1) bütün atıklar gibi öncelikle aktarma merkezlerinde toplanmaktadır. Sistemden aktarma merkezlerine toplanan T1 dönüştürme merkezlerine gönderilmektedir. Dönüştürme merkezlerine gönderilen atıkların %20 si tekrar sisteme geri kazandırılmakta, %40’lık kısmı yakılmak üzere yakma merkezlerine ve geri kalan %40’lık kısım ise gömülmek üzere düzenli depolama merkezlerine gönderilmektedir. Yakma merkezlerine gönderilen atıklar yakıldıktan sonra ortaya çıkan %40’lık kül ve cüruflar gömülmek üzere düzenli depolama merkezlerine gönderilmektedir.

Atık tipi 2 (T2) aktarma merkezlerine toplandıktan sonra yakılmak üzere yakma merkezlerine gönderilen atık tipidir. Yakma merkezlerine gelen atık tipi 2 yakma işlemi sonucunda %60’lık bir yanma meydana gelmektedir. Yakılamayan veya kül veya cüruf haline gelen %40’lık kısım ise gömülmek üzere düzenli depolama merkezlerine gönderilmektedir.

Atık tipi 3 (T3) aktarma merkezlerine toplandıktan sonra gömülmek üzere doğrudan düzenli depolama merkezlerine gönderilmektedir.



Şekil 5.2 Atık tiplerine göre atıkların sistemdeki akışı

Atıkların bertarafı süresince çeşitli maliyetler oluşmaktadır. Bu maliyetler; toplama işlemi, taşıma işlemi, dönüştürme işlemi, yakma işlemi, düzenli depolama işlemi ve sistemdeki atıkların toplanmasını sağlamak için atanan büyük bir sayı değeri olan ve atıkları sistemde bırakma maliyetleridir. Bu maliyetlerin yanında dönüştürme işlemi sonucunda sisteme tekrar geri kazanımı sağlanan atıklardan elde edilen karlar da maliyetlerden düşmektedir. Maliyetler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de listelenmiştir.

Çizelge 5.1 Atık taşıma maliyetleri

Taşıma Maliyetleri				
Maliyet Simgesi	Taşınan Atık Çeşidi (n)	Taşındığı Merkez (i)	Gideceği Merkez (j)	Maliyeti (\$/Ton)
C_1^{ij}	T1	Sistem	Aktarma 1	20
	T1	Sistem	Aktarma 2	22
	T1	Sistem	Aktarma 3	24
C_1^{ij}	T2	Sistem	Aktarma 1	20
	T2	Sistem	Aktarma 2	22
	T2	Sistem	Aktarma 3	24
C_1^{ij}	T3	Sistem	Aktarma 1	20
	T3	Sistem	Aktarma 2	22
	T3	Sistem	Aktarma 3	24
C_2^{ij}	T1	Aktarma 1	Dönüştürme 1	12
	T1	Aktarma 1	Dönüştürme 2	14
	T1	Aktarma 2	Dönüştürme 1	10
	T1	Aktarma 2	Dönüştürme 2	12
	T1	Aktarma 3	Dönüştürme 1	10
	T1	Aktarma 3	Dönüştürme 2	18
C_5^{ij}	T1	Dönüştürme 1	Yakma 1	6
	T1	Dönüştürme 1	Yakma 2	8
	T1	Dönüştürme 2	Yakma 1	10
	T1	Dönüştürme 2	Yakma 2	8
C_6^{ij}	T1	Dönüştürme 1	Düzenli Depolama 1	12
	T1	Dönüştürme 1	Düzenli Depolama 2	14

	T1	Dönüştürme 2	Düzenli Depolama 1	10
	T1	Dönüştürme 2	Düzenli Depolama 2	8
C_3^{ij}	T2	Aktarma 1	Yakma 1	16
	T2	Aktarma 1	Yakma 2	18
	T2	Aktarma 2	Yakma 1	16
	T2	Aktarma 2	Yakma 2	14
	T2	Aktarma 3	Yakma 1	20
	T2	Aktarma 3	Yakma 2	18
C_7^{ij}	T1	Yakma 1	Düzenli Depolama 1	6
	T1	Yakma 1	Düzenli Depolama 2	8
	T1	Yakma 2	Düzenli Depolama 1	6
	T1	Yakma 2	Düzenli Depolama 2	4
C_8^{ij}	T2	Yakma 1	Düzenli Depolama 1	6
	T2	Yakma 1	Düzenli Depolama 2	8
	T2	Yakma 2	Düzenli Depolama 1	6
	T2	Yakma 2	Düzenli Depolama 2	4
C_4^{ij}	T3	Aktarma 1	Düzenli Depolama 1	18
	T3	Aktarma 1	Düzenli Depolama 2	19
	T3	Aktarma 2	Düzenli Depolama 1	16
	T3	Aktarma 2	Düzenli Depolama 2	14
	T3	Aktarma 3	Düzenli Depolama 1	12
	T3	Aktarma 3	Düzenli Depolama 2	10

Çizelge 5.2 Modeldeki taşıma dışındaki maliyetler

Diğer Maliyetler			
Maliyet Simgesi	Atık Çeşidi	İşlem	Maliyeti (\$/Ton)
C_9	T1	Dönüştürme	10
C_{11}	T1	Yakma	6
$C_{13} = C_{14}$	T1	Gömme	2

C_l	T1	Toplamama (Sistemde Bırakma)	100
C_{16}	T1	Satış	100
C_{10}	T2	Yakma	8
C_{15}	T2	Gömme	2
C_l	T2	Toplamama (Sistemde Bırakma)	100
C_{12}	T3	Gömme	2
C_l	T3	Toplamama (Sistemde Bırakma)	100

Çizelge 5.3 Tesislerin modeldeki kodu

Tesisin Adı	Kodu
Sistem	0
Aktarma 1	1
Aktarma 2	2
Aktarma 3	3
Dönüştürme 1	4
Dönüştürme 2	5
Yakma 1	6
Yakma 2	7
Düzenli Depolama 1	8
Düzenli Depolama 2	9

Amaç:

$$\begin{aligned}
 \tilde{Z}(x, y) = & \sum_{n=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{t=1}^3 C_1^{0j} X_n^{0j}(t) \quad (1) \quad + \quad \sum_{i=1}^3 \sum_{j=4}^5 \sum_{t=1}^3 C_2^{ij} X_1^{ij}(t) \quad (2) \quad + \\
 & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=6}^7 \sum_{t=1}^3 C_3^{ij} X_2^{ij}(t) \quad (3) \quad + \quad \sum_{i=1}^3 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_4^{ij} X_3^{ij}(t) \quad (4) \quad + \quad \sum_{i=4}^5 \sum_{j=6}^7 \sum_{t=1}^3 C_5^{ij} X_1^{ij}(t) \quad (5) \quad + \\
 & \sum_{i=4}^5 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_6^{ij} X_1^{ij}(t) \quad (6) \quad + \quad \sum_{i=6}^7 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_7^{ij} X_1^{ij}(t) \quad (7) \quad + \quad \sum_{i=6}^7 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_8^{ij} X_2^{ij}(t) \quad (8) \quad + \\
 & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=4}^5 \sum_{t=1}^3 C_9 X_1^{ij}(t) \quad (9) \quad + \quad \sum_{i=1}^3 \sum_{j=6}^7 \sum_{t=1}^3 C_{10} X_2^{ij}(t) \quad (10) \quad + \quad \sum_{i=4}^5 \sum_{j=6}^7 \sum_{t=1}^3 C_{11} X_1^{ij}(t) \quad (11) \quad + \\
 & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_{12} X_3^{ij}(t) \quad (12) \quad + \quad \sum_{i=4}^5 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_{13} X_1^{ij}(t) \quad (13) \quad + \quad \sum_{i=6}^7 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_{14} X_1^{ij}(t) \quad (14) \quad + \\
 & \sum_{i=6}^7 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_{15} X_2^{ij}(t) \quad (15) + \quad \sum_{n=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{t=1}^3 C_l Y_n^{0j}(t) \quad (16) \quad - \quad \sum_{i=1}^3 \sum_{j=4}^5 \sum_{t=1}^3 C_{16} X_1^{ij}(t) \quad (17) \\
 & \leq \sim Z^0,
 \end{aligned}$$

(1)= T1, T2 ve T3 ü sistemden aktarma merkezlerine toplama maliyeti,

(2)= Aktarma merkezlerinden dönüştürme merkezlerine taşınan T1'i taşıma maliyeti,

(3)= Aktarma merkezlerinden yakma merkezlerine taşınan T2'i taşıma maliyeti,

(4)= Aktarma merkezlerinden düzenli depolama merkezlerine taşınan T3'ü taşıma maliyeti,

(5)= Dönüştürme merkezlerinden yakma merkezlerine taşınan T1'i taşıma maliyeti,

(6)= Dönüştürme merkezlerinden düzenli depolama merkezlerine taşınan T1'i taşıma maliyeti,

(7)= Yakma merkezlerinden düzenli depolama merkezlerine taşınan T1'i taşıma maliyeti,

(8)= Yakma merkezlerinden düzenli depolama merkezlerine taşınan T2'i taşıma maliyeti,

(9)= Dönüştürme merkezlerinde işlenen T1 maliyeti,

(10)= Yakma merkezlerinde T2'yi yakma maliyeti,

(11)= Yakma merkezlerinde T1'i yakma maliyeti,

(12)= Düzenli depolama merkezlerinde T3'ü gömme maliyeti,

(13)= Dönüştürme merkezlerinden gelen ve düzenli depolama merkezlerinde gömülen T1'in maliyeti,

(14)= Yakma merkezlerinden gelen ve düzenli depolama merkezlerinde gömülen T1'in maliyeti,

(15)= Yakma merkezlerinden gelen ve düzenli depolama merkezlerinde gömülen T2'nin maliyeti,

(16)=Sistemden toplanmayıp bir sonraki döneme devreden T1, T2 ve T3'ün oluşturduğu risk maliyeti,

(17)= Geri kazanılan T1'in satışından elde edilen kar.

Kısıtlar:

$$\tilde{g}_1(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(1) \geq \sim b_1, \quad (18)$$

$$\tilde{g}_2(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(2) \geq \sim b_2, \quad (19)$$

$$\tilde{g}_3(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(3) \geq \sim b_3, \quad (20)$$

$$\tilde{g}_4(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(1) \geq \sim b_4, \quad (21)$$

$$\tilde{g}_5(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(2) \geq \sim b_5, \quad (22)$$

$$\tilde{g}_6(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(3) \geq \sim b_6, \quad (23)$$

$$\tilde{g}_7(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(1) \geq \sim b_7, \quad (24)$$

$$\tilde{g}_8(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(2) \geq \sim b_8, \quad (25)$$

$$\tilde{g}_9(x, y) = \sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(3) \geq \sim b_9, \quad (26)$$

(18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25) ve (26) no.lu eşitsizlikler, her dönemde her tip atıktan toplanması gereken en az atık miktarını göstermektedir.

$$g_{10}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{1j}(1) + Y_1^{01}(1) - X_1^{01}(1) - Y_1^{01}(0) = b_{10}, \quad (27)$$

$$g_{11}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{1j}(2) + Y_1^{01}(2) - X_1^{01}(2) - Y_1^{01}(1) = b_{11}, \quad (28)$$

$$g_{12}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{1j}(3) + Y_1^{01}(3) - X_1^{01}(3) - Y_1^{01}(2) = b_{12}, \quad (29)$$

(27), (28) ve (29) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 1'e gelen ve aktarma merkezi 1'den gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{13}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{2j}(1) + Y_1^{02}(1) - X_1^{02}(1) - Y_1^{01}(0) = b_{13}, \quad (30)$$

$$g_{14}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{2j}(2) + Y_1^{02}(2) - X_1^{02}(2) - Y_1^{01}(1) = b_{14}, \quad (31)$$

$$g_{15}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{2j}(3) + Y_1^{02}(3) - X_1^{02}(3) - Y_1^{01}(2) = b_{15}, \quad (32)$$

(30), (31) ve (32) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 2'e gelen ve aktarma merkezi 2'den gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{16}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{3j}(1) + Y_1^{03}(1) - X_1^{03}(1) - Y_1^{03}(0) = b_{16}, \quad (33)$$

$$g_{17}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{3j}(2) + Y_1^{03}(2) - X_1^{03}(2) - Y_1^{03}(1) = b_{17}, \quad (34)$$

$$g_{18}(x, y) = \sum_{j=4}^5 X_1^{3j}(3) + Y_1^{03}(3) - X_1^{03}(3) - Y_1^{03}(2) = b_{18}, \quad (35)$$

(33), (34) ve (35) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 3'e gelen ve aktarma merkezi 3'ten gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{19}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{1j}(1) + Y_2^{01}(1) - X_2^{01}(1) - Y_2^{01}(0) = b_{19}, \quad (36)$$

$$g_{20}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{1j}(2) + Y_2^{01}(2) - X_2^{01}(2) - Y_2^{01}(1) = b_{20}, \quad (37)$$

$$g_{21}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{1j}(3) + Y_2^{01}(3) - X_2^{01}(3) - Y_2^{01}(2) = b_{21}, \quad (38)$$

(36), (37) ve (38) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 1'e gelen ve aktarma merkezi 1'den gönderilen T2'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{22}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{2j}(1) + Y_2^{02}(1) - X_2^{02}(1) - Y_2^{02}(0) = b_{22}, \quad (39)$$

$$g_{23}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{2j}(2) + Y_2^{02}(2) - X_2^{02}(2) - Y_2^{02}(1) = b_{23}, \quad (40)$$

$$g_{24}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{2j}(3) + Y_2^{02}(3) - X_2^{02}(3) - Y_2^{02}(2) = b_{24}, \quad (41)$$

(39), (40) ve (41) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 2'e gelen ve aktarma merkezi 2'den gönderilen T2'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{25}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{3j}(1) + Y_2^{03}(1) - X_2^{03}(1) - Y_2^{03}(0) = b_{25}, \quad (42)$$

$$g_{26}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{3j}(2) + Y_2^{03}(2) - X_2^{03}(2) - Y_2^{03}(1) = b_{26}, \quad (43)$$

$$g_{27}(x, y) = \sum_{j=6}^7 X_2^{3j}(3) + Y_2^{03}(3) - X_2^{03}(3) - Y_2^{03}(2) = b_{27}, \quad (44)$$

(42), (43) ve (44) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 3'e gelen ve aktarma merkezi 3'ten gönderilen T2'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{28}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{1j}(1) + Y_3^{01}(1) - X_3^{01}(1) - Y_3^{01}(0) = b_{28}, \quad (45)$$

$$g_{29}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{1j}(2) + Y_3^{01}(2) - X_3^{01}(2) - Y_3^{01}(1) = b_{29}, \quad (46)$$

$$g_{30}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{1j}(3) + Y_3^{01}(3) - X_3^{01}(3) - Y_3^{01}(2) = b_{30}, \quad (47)$$

(45), (46) ve (47) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 1'e gelen ve aktarma merkezi 1'den gönderilen T3'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{31}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{2j}(1) + Y_3^{02}(1) - X_3^{02}(1) - Y_3^{02}(0) = b_{31}, \quad (48)$$

$$g_{32}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{2j}(2) + Y_3^{02}(2) - X_3^{02}(2) - Y_3^{02}(1) = b_{32}, \quad (49)$$

$$g_{33}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{2j}(3) + Y_3^{02}(3) - X_3^{02}(3) - Y_3^{02}(2) = b_{33}, \quad (50)$$

(48), (49) ve (50) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 2'e gelen ve aktarma merkezi 2'den gönderilen T3'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{34}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{3j}(1) + Y_3^{03}(1) - X_3^{03}(1) - Y_3^{03}(0) = b_{34}, \quad (51)$$

$$g_{35}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{3j}(2) + Y_3^{03}(2) - X_3^{03}(2) - Y_3^{03}(1) = b_{35}, \quad (52)$$

$$g_{36}(x, y) = \sum_{j=8}^9 X_3^{3j}(3) + Y_3^{03}(3) - X_3^{03}(3) - Y_3^{03}(2) = b_{36}, \quad (53)$$

(51), (52) ve (53) no.lu eşitsizlikler, aktarma merkezi 3'e gelen ve aktarma merkezi 3'ten gönderilen T3'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{37}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i4}(1) - \sum_{j=6}^7 X_1^{4j}(1) = b_{37}, \quad (54)$$

$$g_{38}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i4}(2) - \sum_{j=6}^7 X_1^{4j}(2) = b_{38}, \quad (55)$$

$$g_{39}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i4}(3) - \sum_{j=6}^7 X_1^{4j}(3) = b_{39}, \quad (56)$$

(54), (55) ve (56) no.lu eşitsizlikler, dönüştürme merkezi 1'e gelen ve yakma merkezlerine gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{40}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i4}(1) - \sum_{j=8}^9 X_1^{4j}(1) = b_{40}, \quad (57)$$

$$g_{41}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i4}(2) - \sum_{j=8}^9 X_1^{4j}(2) = b_{41}, \quad (58)$$

$$g_{42}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i4}(3) - \sum_{j=8}^9 X_1^{4j}(3) = b_{42}, \quad (59)$$

(57), (58) ve (59) no.lu eşitsizlikler, dönüştürme merkezi 1'e gelen ve düzenli depolama merkezlerine gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{43}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i5}(1) - \sum_{j=6}^7 X_1^{5j}(1) = b_{43}, \quad (60)$$

$$g_{44}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i5}(2) - \sum_{j=6}^7 X_1^{5j}(2) = b_{44}, \quad (61)$$

$$g_{45}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i5}(3) - \sum_{j=6}^7 X_1^{5j}(3) = b_{45}, \quad (62)$$

(60), (61) ve (62) no.lu eşitsizlikler, dönüştürme merkezi 2'e gelen ve yakma merkezlerine gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{46}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i5}(1) - \sum_{j=8}^9 X_1^{5j}(1) = b_{46}, \quad (63)$$

$$g_{47}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i5}(2) - \sum_{j=8}^9 X_1^{5j}(2) = b_{47}, \quad (64)$$

$$g_{48}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_1^{i5}(3) - \sum_{j=8}^9 X_1^{5j}(3) = b_{48}, \quad (65)$$

(63), (64) ve (65) no.lu eşitsizlikler, dönüştürme merkezi 2'e gelen ve düzenli depolama merkezlerine gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{49}(x, y) = \sum_{i=4}^5 0.4 X_1^{i6}(1) - \sum_{j=8}^9 X_1^{6j}(1) = b_{49}, \quad (66)$$

$$g_{50}(x, y) = \sum_{i=4}^5 0.4 X_1^{i6}(2) - \sum_{j=8}^9 X_1^{6j}(2) = b_{50}, \quad (67)$$

$$g_{51}(x, y) = \sum_{i=4}^5 0.4 X_1^{i6}(3) - \sum_{j=8}^9 X_1^{6j}(3) = b_{51}, \quad (68)$$

(66), (67) ve (68) no.lu eşitsizlikler, yakma merkezi 1'e gelen ve düzenli depolama merkezlerine gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{52}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_2^{i6}(1) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(1) = b_{52}, \quad (69)$$

$$g_{53}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_2^{i6}(2) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(2) = b_{53}, \quad (70)$$

$$g_{54}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_2^{i6}(3) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(3) = b_{54}, \quad (71)$$

(69), (70) ve (71) no.lu eşitsizlikler, yakma merkezi 1'e gelen ve düzenli depolama merkezlerine gönderilen T2'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{55}(x, y) = \sum_{i=4}^5 0.4 X_1^{i7}(1) - \sum_{j=8}^9 X_1^{7j}(1) = b_{55}, \quad (72)$$

$$g_{56}(x, y) = \sum_{i=4}^5 0.4 X_1^{i7}(2) - \sum_{j=8}^9 X_1^{7j}(2) = b_{56}, \quad (73)$$

$$g_{57}(x, y) = \sum_{i=4}^5 0.4 X_1^{i7}(3) - \sum_{j=8}^9 X_1^{7j}(3) = b_{57}, \quad (74)$$

(72), (73) ve (74) no.lu eşitsizlikler, yakma merkezi 2'e gelen ve düzenli depolama merkezlerine gönderilen T1'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{58}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_2^{i7}(1) - \sum_{j=8}^9 X_2^{7j}(1) = b_{58}, \quad (75)$$

$$g_{59}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_2^{i6}(2) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(2) = b_{59}, \quad (76)$$

$$g_{60}(x, y) = \sum_{i=1}^3 0.4 X_2^{i6}(3) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(3) = b_{60}, \quad (77)$$

(75), (76) ve (77) no.lu eşitsizlikler, yakma merkezi 2'e gelen ve düzenli depolama merkezlerine gönderilen T2'in eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{61}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_1^{i4}(1) \leq b_{61}, \quad (78)$$

$$g_{62}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_1^{i4}(2) \leq b_{62}, \quad (79)$$

$$g_{63}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_1^{i4}(3) \leq b_{63}, \quad (80)$$

(78), (79) ve (80) no.lu eşitsizlikler, dönüştürme merkezi 1'in kapasite kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{64}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_1^{i5}(1) \leq b_{64}, \quad (81)$$

$$g_{65}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_1^{i5}(2) \leq b_{65}, \quad (82)$$

$$g_{66}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_1^{i5}(3) \leq b_{66}, \quad (83)$$

(81), (82) ve (83) no.lu eşitsizlikler, dönüştürme merkezi 2'in kapasite kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{67}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_2^{i6}(1) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i6}(1) \leq b_{67}, \quad (84)$$

$$g_{68}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_2^{i6}(2) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i6}(2) \leq b_{68}, \quad (85)$$

$$g_{69}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_2^{i6}(3) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i6}(3) \leq b_{69}, \quad (86)$$

(84), (85) ve (86) no.lu eşitsizlikler, yakma merkezi 1'in kapasite kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{70}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_2^{i7}(1) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i7}(1) \leq b_{70}, \quad (87)$$

$$g_{71}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_2^{i7}(2) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i7}(2) \leq b_{71}, \quad (88)$$

$$g_{72}(x, y) = \sum_{i=1}^3 X_2^{i7}(3) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i7}(3) \leq b_{72}, \quad (89)$$

(87), (88) ve (89) no.lu eşitsizlikler, yakma merkezi 2'in kapasite kısıtlarını göstermektedir.

$$g_{73}(x, y) = \sum_{i=4}^7 X_1^{i8}(1) + \sum_{i=6}^7 X_2^{i8}(1) + \sum_{i=1}^3 X_3^{i8}(1) - \sum_{i=4}^7 X_1^{i9}(1) - \sum_{i=6}^7 X_2^{i9}(1) - \sum_{i=1}^3 X_3^{i9}(1) = b_{73}, \quad (90)$$

$$g_{74}(x, y) = \sum_{i=4}^7 X_1^{i8}(2) + \sum_{i=6}^7 X_2^{i8}(2) + \sum_{i=1}^3 X_3^{i8}(2) - \sum_{i=4}^7 X_1^{i9}(2) - \sum_{i=6}^7 X_2^{i9}(2) - \sum_{i=1}^3 X_3^{i9}(2) = b_{74}, \quad (91)$$

$$g_{75}(x, y) = \sum_{i=4}^7 X_1^{i8}(3) + \sum_{i=6}^7 X_2^{i8}(3) + \sum_{i=1}^3 X_3^{i8}(3) - \sum_{i=4}^7 X_1^{i9}(3) - \sum_{i=6}^7 X_2^{i9}(3) - \sum_{i=1}^3 X_3^{i9}(3) = b_{75}, \quad (92)$$

(90), (91) ve (92) no.lu eşitsizlikler, düzenli depolama merkezlerine gönderilen atıkların eşitlenmesi kısıtlarını göstermektedir.

$$X_n^{ij}(t) \geq 0,$$

$$Y_n^{ij}(t) \geq 0,$$

$$i = 0, 1, \dots, 7,$$

$$j = 1, 2, \dots, 9,$$

$$n = 1, 2, 3,$$

$$t = 1, 2, 3$$

$$l = 1.$$

Modelde ki “~” işareti bulanık kısıt ve amaçları göstermektedir. “≤~” işareti “≤” işaretinin bulanık halini ve “≥~” işareti ise “≥” işaretinin bulanık halini göstermektedir. “Z⁰” işareti karar vericinin ulaşmak istediği değeri göstermektedir (A.Amid, 2005).

Amacın lineer üyeliği aşağıdaki gibidir:

$$\mu_Z(x, y) = \begin{cases} 1 & Z \leq Z^- \\ \frac{Z^+ - Z}{Z^+ - Z^-} & Z^- \leq Z \leq Z^+ \\ 0 & Z \geq Z^+ \end{cases}$$

Kısıtlar için üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\mu_{gr}(x, y) = \begin{cases} 1 & g_r(x, y) \leq b_r \\ \frac{1 - g_r(x, y) - b_r}{d_r} & b_r \leq g_r(x, y) \leq b_r + d_r \\ 0 & g_r(x, y) \geq b_r + d_r \end{cases}$$

d_r , r ' inci kısıtın tolerans sınırını göstermekte ve karar verici tarafından belirlenmektedir. Kısaca tolerans aralığını göstermektedir (A.Amid, 2005).

Problemin çözümü için aşağıdaki katı model önerilmektedir (A.Amid, 2005).

$\max \lambda$

s.t.:

$\lambda \leq \mu_Z(x, y), \Rightarrow$ Bulanık amaç fonksiyonu

$\gamma \leq \mu_{gr}(x, y), r = 1, 2, \dots, 9 \Rightarrow$ Bulanık kısıtlar

$g_p(x, y) = b_p, p = 10, \dots, 60 \text{ ve } 73, 74, 75 \Rightarrow$ Deterministik kısıtlar

$g_p(x, y) \leq b_p, p = 61, \dots, 72 \Rightarrow$ Deterministik kısıtlar

$X_n^{ij}(t) \geq 0,$

$Y_n^{ij}(t) \geq 0$

$i = 0, 1, \dots, 7,$

$j = 1, 2, \dots, 9,$

$n = 1, 2, 3,$

$t = 1, 2, 3,$

$\lambda \in [0, 1]$

$\mu_Z(x, y)$ Ve $\mu_{gr}(x, y)$ sırasıyla amaç fonksiyonunun ve kısıtların çözümdeki üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Bulanık olarak çözülen bu çözümde bütün amaç fonksiyonu ve kısıtlar arasındaki ilişkiler tamamıyla simetriktir (Zimmermann, 1978). Bir başka deyişle, bu bulanık çözümde bulanık amaçlar ve bulanık kısıtlar arasında hiçbir farklılık yoktur (A. Amid, 2005)

Bu çalışmada her bulanık fonksiyonun üyeliği ağırlıklandırılmıştır. Bu yeni ağırlıklandırılmayla yeni bir lineer fonksiyon ortaya çıkmaktadır. Modelimizi A. Amid, 2005, tarafından kullanılan bulanık modele göre düzenledik:

$$\begin{aligned}
& \max \omega \lambda + \sum_{r=1}^9 \beta_r \gamma_r \\
& s.t.: \\
& \lambda \leq \mu_Z(x, y), \\
& \gamma_r \leq \mu_{g_r}(x, y), r = 1, 2, \dots, 9, \\
& g_p(x, y) = b_p, p = 10, \dots, 60, \text{ ve } 73, 74, 75 \\
& g_p(x, y) \leq b_p, p = 61, \dots, 72 \\
& \lambda, \gamma_r \in [0, 1], r = 1, 2, \dots, 9, \\
& \omega + \sum_{r=1}^9 \beta_r = 1, \\
& \omega, \beta_r \geq 0, \\
& X_n^{ij}(t) \geq 0, \\
& Y_n^{ij}(t) \geq 0, \\
& i = 0, 1, \dots, 7, \\
& j = 1, 2, \dots, 9, \\
& n = 1, 2, 3, \\
& t = 1, 2, 3,
\end{aligned}$$

5.2 Sayısal Model

Ulaşılmak istenen amaç ve sistemden toplanacak olan atık miktarları çizelge 5.4' teki gibidir. Bu değerler karar vericiler tarafından verilmiş olan tolerans aralıklarını göstermektedir.

Çizelge 5.4 Ulaşılmak istenen amaç değeri ve sistemden toplanacak olan atık miktarlarının tolerans aralıkları

	$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Z (maliyet)	---	1560000	1800000
D1	3450	3500	3600
D2	3900	4000	4050
D3	4450	4500	4600
D4	3950	4000	4050
D5	4400	4500	4650
D6	3900	4000	4100
D7	4900	5000	5100
D8	4900	5000	5100
D9	5850	6000	6150

Daha sonra açıklanmak üzere 5 ayrı durum göz önünde bulundurularak model ayrı ayrı çözülmektedir. Aşağıdaki sayısal model Durum 1 'e göre düzenlenmiştir.

$$\max 0,1\lambda + 0,1\sum_{r=1}^9 \gamma_r$$

$$\begin{aligned} \lambda \leq & [1800000 - \sum_{n=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{t=1}^3 C_1^{0j} X_n^{0j}(t) + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=4}^5 \sum_{t=1}^3 C_2^{ij} X_1^{ij}(t) + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=6}^7 \sum_{t=1}^3 C_3^{ij} X_2^{ij}(t) + \\ & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_4^{ij} X_3^{ij}(t) + \sum_{i=4}^5 \sum_{j=6}^7 \sum_{t=1}^3 C_5^{ij} X_1^{ij}(t) + \sum_{i=4}^5 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_6^{ij} X_1^{ij}(t) + \\ & \sum_{i=6}^7 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_7^{ij} X_1^{ij}(t) + \sum_{i=6}^7 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_8^{ij} X_2^{ij}(t) + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=4}^5 \sum_{t=1}^3 C_9 X_1^{ij}(t) + \\ & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=6}^7 \sum_{t=1}^3 C_{10} X_2^{ij}(t) + \sum_{i=4}^5 \sum_{j=6}^7 \sum_{t=1}^3 C_{11} X_1^{ij}(t) + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_{12} X_3^{ij}(t) + \\ & \sum_{i=4}^5 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_{13} X_1^{ij}(t) + \sum_{i=6}^7 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_{14} X_1^{ij}(t) + \sum_{i=6}^7 \sum_{j=8}^9 \sum_{t=1}^3 C_{15} X_2^{ij}(t) + \\ & \sum_{j=1}^3 \sum_{t=1}^3 \sum_{n=1}^3 C_l Y_n^{0j}(t) - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=4}^5 \sum_{t=1}^3 C_{16} X_1^{ij}(t)] / 240000 \end{aligned}$$

$$\gamma_1 \leq \frac{3600 - \sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(1)}{100},$$

$$\gamma_1 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(1) - 3450}{50},$$

$$\gamma_2 \leq \frac{4050 - \sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(2)}{50},$$

$$\gamma_2 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(2) - 3900}{100},$$

$$\gamma_3 \leq \frac{4600 - \sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(3)}{100},$$

$$\gamma_3 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_1^{0j}(3) - 4450}{50},$$

$$\gamma_4 \leq \frac{4050 - \sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(1)}{50},$$

$$\gamma_4 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(1) - 3950}{50},$$

$$\gamma_5 \leq \frac{4650 - \sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(2)}{150},$$

$$\gamma_5 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(2) - 4400}{100},$$

$$\gamma_6 \leq \frac{4100 - \sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(3)}{100},$$

$$\gamma_6 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_2^{0j}(3) - 3900}{100},$$

$$\gamma_7 \leq \frac{5100 - \sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(1)}{100},$$

$$\gamma_7 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(1) - 4900}{100},$$

$$\gamma_8 \leq \frac{5100 - \sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(2)}{100},$$

$$\gamma_8 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(2) - 4900}{100},$$

$$\gamma_9 \leq \frac{6150 - \sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(3)}{150},$$

$$\gamma_9 \leq \frac{\sum_{j=1}^3 X_3^{0j}(3) - 5850}{150},$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{1j}(1) + Y_1^{01}(1) - X_1^{01}(1) - Y_1^{01}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{1j}(2) + Y_1^{01}(2) - X_1^{01}(2) - Y_1^{01}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{1j}(3) + Y_1^{01}(3) - X_1^{01}(3) - Y_1^{01}(2) = 0,$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{2j}(1) + Y_1^{02}(1) - X_1^{02}(1) - Y_1^{01}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{2j}(2) + Y_1^{02}(2) - X_1^{02}(2) - Y_1^{01}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{2j}(3) + Y_1^{02}(3) - X_1^{02}(3) - Y_1^{01}(2) = 0,$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{3j}(1) + Y_1^{03}(1) - X_1^{03}(1) - Y_1^{03}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{3j}(2) + Y_1^{03}(2) - X_1^{03}(2) - Y_1^{03}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=4}^5 X_1^{3j}(3) + Y_1^{03}(3) - X_1^{03}(3) - Y_1^{03}(2) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{1j}(1) + Y_2^{01}(1) - X_2^{01}(1) - Y_2^{01}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{1j}(2) + Y_2^{01}(2) - X_2^{01}(2) - Y_2^{01}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{1j}(3) + Y_2^{01}(3) - X_2^{01}(3) - Y_2^{01}(2) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{2j}(1) + Y_2^{02}(1) - X_2^{02}(1) - Y_2^{02}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{2j}(2) + Y_2^{02}(2) - X_2^{02}(2) - Y_2^{02}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{2j}(3) + Y_2^{02}(3) - X_2^{02}(3) - Y_2^{02}(2) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{3j}(1) + Y_2^{03}(1) - X_2^{03}(1) - Y_2^{03}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{3j}(2) + Y_2^{03}(2) - X_2^{03}(2) - Y_2^{03}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=6}^7 X_2^{3j}(3) + Y_2^{03}(3) - X_2^{03}(3) - Y_2^{03}(2) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{1j}(1) + Y_3^{01}(1) - X_3^{01}(1) - Y_3^{01}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{1j}(2) + Y_3^{01}(2) - X_3^{01}(2) - Y_3^{01}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{1j}(3) + Y_3^{01}(3) - X_3^{01}(3) - Y_3^{01}(2) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{2j}(1) + Y_3^{02}(1) - X_3^{02}(1) - Y_3^{02}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{2j}(2) + Y_3^{02}(2) - X_3^{02}(2) - Y_3^{02}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{2j}(3) + Y_3^{02}(3) - X_3^{02}(3) - Y_3^{02}(2) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{3j}(1) + Y_3^{03}(1) - X_3^{03}(1) - Y_3^{03}(0) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{3j}(2) + Y_3^{03}(2) - X_3^{03}(2) - Y_3^{03}(1) = 0,$$

$$\sum_{j=8}^9 X_3^{3j}(3) + Y_3^{03}(3) - X_3^{03}(3) - Y_3^{03}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i4}(1) - \sum_{j=6}^7 X_1^{4j}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i4}(2) - \sum_{j=6}^7 X_1^{4j}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i4}(3) - \sum_{j=6}^7 X_1^{4j}(3) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i4}(1) - \sum_{j=8}^9 X_1^{4j}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i4}(2) - \sum_{j=8}^9 X_1^{4j}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i4}(3) - \sum_{j=8}^9 X_1^{4j}(3) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i5}(1) - \sum_{j=6}^7 X_1^{5j}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i5}(2) - \sum_{j=6}^7 X_1^{5j}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i5}(3) - \sum_{j=6}^7 X_1^{5j}(3) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i5}(1) - \sum_{j=8}^9 X_1^{5j}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i5}(2) - \sum_{j=8}^9 X_1^{5j}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_1^{i5}(3) - \sum_{j=8}^9 X_1^{5j}(3) = 0,$$

$$\sum_{i=4}^5 0.4X_1^{i6}(1) - \sum_{j=8}^9 X_1^{6j}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=4}^5 0.4X_1^{i6}(2) - \sum_{j=8}^9 X_1^{6j}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=4}^5 0.4X_1^{i6}(3) - \sum_{j=8}^9 X_1^{6j}(3) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_2^{i6}(1) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_2^{i6}(2) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_2^{i6}(3) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(3) = 0,$$

$$\sum_{i=4}^5 0.4X_1^{i7}(1) - \sum_{j=8}^9 X_1^{7j}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=4}^5 0.4X_1^{i7}(2) - \sum_{j=8}^9 X_1^{7j}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=4}^5 0.4X_1^{i7}(3) - \sum_{j=8}^9 X_1^{7j}(3) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_2^{i7}(1) - \sum_{j=8}^9 X_2^{7j}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_2^{i6}(2) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 0.4X_2^{i6}(3) - \sum_{j=8}^9 X_2^{6j}(3) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_1^{i4}(1) \leq 2000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_1^{i4}(2) \leq 2000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_1^{i4}(3) \leq 2000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_1^{i5}(1) \leq 2000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_1^{i4}(2) \leq 2000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_1^{i4}(3) \leq 2000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_2^{i6}(1) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i6}(1) \leq 3000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_2^{i6}(2) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i6}(2) \leq 3000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_2^{i6}(3) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i6}(3) \leq 3000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_2^{i7}(1) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i7}(1) \leq 3000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_2^{i7}(2) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i7}(2) \leq 3000,$$

$$\sum_{i=1}^3 X_2^{i7}(3) + \sum_{i=4}^5 X_1^{i7}(3) \leq 3000,$$

$$\sum_{i=4}^7 X_1^{i8}(1) + \sum_{i=6}^7 X_2^{i8}(1) + \sum_{i=1}^3 X_3^{i8}(1) - \sum_{i=4}^7 X_1^{i9}(1) - \sum_{i=6}^7 X_2^{i9}(1) - \sum_{i=1}^3 X_3^{i9}(1) = 0,$$

$$\sum_{i=4}^7 X_1^{i8}(2) + \sum_{i=6}^7 X_2^{i8}(2) + \sum_{i=1}^3 X_3^{i8}(2) - \sum_{i=4}^7 X_1^{i9}(2) - \sum_{i=6}^7 X_2^{i9}(2) - \sum_{i=1}^3 X_3^{i9}(2) = 0,$$

$$\sum_{i=4}^7 X_1^{i8}(3) + \sum_{i=6}^7 X_2^{i8}(3) + \sum_{i=1}^3 X_3^{i8}(3) - \sum_{i=4}^7 X_1^{i9}(3) - \sum_{i=6}^7 X_2^{i9}(3) - \sum_{i=1}^3 X_3^{i9}(3) = 0,$$

$$\begin{aligned}
X_n^{ij}(t) &\geq 0, \\
Y_n^{ij}(t) &\geq 0, \\
i &= 0, 1, \dots, 7, \\
j &= 1, 2, \dots, 9, \\
n &= 1, 2, 3, \\
t &= 1, 2, 3, \\
r &= 1, 2, \dots, 9.
\end{aligned}$$

5.3 Çözüm ve Değerlendirme

Ek 1 de bulanık amaç fonksiyonunun ve her bir bulanık kısıtın üyelik fonksiyonlarının aldığı tolerans değerleri gösterilmiştir. Ek 2 'de ise problemin farklı 5 durum için de çözümü sonucunda değişkenlerin optimal durumdaki aldığı değerler gösterilmiştir.

Λ 'nın katsayısı olan ω amaç fonksiyonunun önemini ve $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$, ve β_9 ise bulanık kısıtların önemini göstermektedir. Kullandığımız bu yöntem Zimmermann'ın ağırlıklandırma yöntemidir. Ağırlıkların değeri amaca ve kısıtlara verilen önemi göstermektedir. Bu önem derecelerinin değişmesiyle bulunan amaç değeri ve atık miktarları (değişkenler) değişmektedir. Bulanık lineer model, bir lineer programlama yazılımı olan WINQSB ile çözülmüştür. Beş ayrı durum incelenmiştir. Ağırlıkların değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar çizelge 5.5 ve çizelge 5.6 da verilmiştir. Çizelge 5.5 te değişen ağırlıklarla elde edilen $\lambda, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6, \gamma_7, \gamma_8$, ve γ_9 değerleri ve çizelge 5.6 ise işlenmeyip bir sonraki döneme devreden atık miktarlar gösterilmektedir. Çizelge 5.5 'teki maliyet değerleri tolerans aralığı miktarının λ (optimal durumdaki aldığı değer) ile çarpılarak amaç kısıdımızın aldığı değerden çıkarılmasıyla elde edilmiştir.

Çizelge 5.5 Değişen ağırlıklarla elde edilen optimal sonuçların λ , γ_1 , γ_2 , γ_3 , γ_4 , γ_5 , γ_6 , γ_7 , γ_8 , ve γ_9 ve maliyet değerleri.

	Durum1	Durum2	Durum3	Durum4	Durum5
	$\omega = 0.1,$ $\beta_r = 0.1,$ $r = 1, 2, \dots, 9.$	$\omega = 0.55,$ $\beta_r = 0.05,$ $r = 1, 2, \dots, 9.$	$\omega = 0.73,$ $\beta_r = 0.03,$ $r = 1, 2, \dots, 9.$	$\omega = 0.91,$ $\beta_r = 0.01,$ $r = 1, 2, \dots, 9.$	$\omega = 1.00,$ $\beta_r = 0.00,$ $r = 1, 2, \dots, 9.$
λ	0,7288	0,7288	0,79	0,9023	0,9189
γ_1	1	1	1	1	0
γ_2	1	1	1	0	0
γ_3	1	1	1	0	0
γ_4	1	1	1	1	0
γ_5	1	1	0	0	0
γ_6	1	1	1	0	0
γ_7	1	1	1	0	0
γ_8	1	1	1	0	0
γ_9	1	1	1	0	0
Maliyet(\$)	1.625.088	1.625.088	1.610.400	1.583.448	1.579.464
Sistemde oluşan atık miktarı(ton)	40.000	40.000	39.900	39.350	39.250
\$/ton	40,62	40,62	40,36	40,24	40,24

Amaç değerinin (λ) katsayısı olan ω 'nın değeri artırıldıkça yani lineer programdaki önemi artırıldıkça optimal sonuçtaki λ değeri artış göstermekte ve toplam maliyet değeri düşmektedir. Birinci durumda ω ve β_r ($r=1, 2 \dots 9$) 0,1 değerini aldıklarında maliyet 1.625.088,00 çıkmaktadır. İkinci durumda ω 0.55 olunca maliyet değeri birinci durumdaki değeri olarak 1.625.088,00 olmaktadır. Üçüncü durumda ω , 0.73 değerini alınca maliyet değeri azalarak 1.610.400,00 çıkmaktadır. Dördüncü durumda ω değeri 0.91 olunca amaç değeri daha da azalarak 1.583.448,00 değerini almaktadır. Son durumda (5) ω değeri alabileceği maksimum değerini olarak 1.00 alınca optimal maliyet değeri 1.579.464,00 olmaktadır.

Çizelge 5.5' de görüldüğü üzere bir başka sonuç ise, durum 1 den durum 5' e doğru gidildikçe sistemden toplanan atık miktarının azalma göstermektedir. Toplanan atık miktarının azalması

maliyetlerin düşmesini doğallaştırıyorsa da bu tek başına bir değerlendirme olamaz. Bu yüzden ton başına maliyetler çizelge 5.5 te gösterildiği üzere durum 1 den durum 5' e gidildikçe az da olsa azalma göstermektedir.

Çizelge 5.6 İşlenmeyip bir sonraki döneme devreden atık miktarları

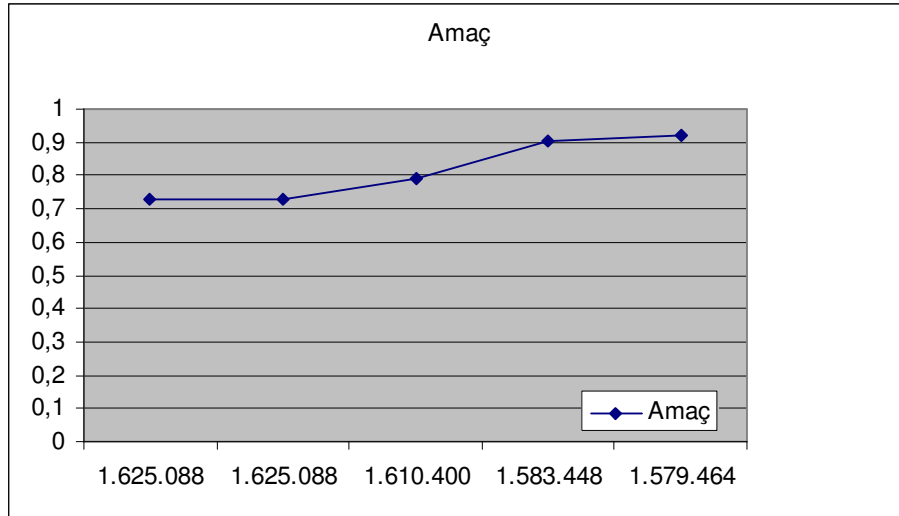
	Durum 1			Durum 2			Durum 3			Durum 4			Durum 5		
Atık Tipi Dönem	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	500	0	0	500	0	0	500	0	0	450	0	0	450	0	0
Toplam (ton)	600			600			500			450			450		

Problemin çözümünden elde edilen bir diğer sonuç ise işlenmeyip bir sonraki döneme devredilen atık miktarlarıdır. Gerçek hayatta hiçbir belediye veya sorumlu kişiler atıkları işlemeden sistemde bırakmayı arzulamaz. Çünkü sistemde bırakılan her atık insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir. Şehirlerde ve meskûn alanlarda bırakılan atıklar ciddi çevre risklerine ve hastalıklara sebep olabilmektedir. Çizelge 5.6 'dan okunduğu gibi sitemde bir sonraki devredilen atık miktarları durum 1 den durum 5 doğru azalma göstermektedir. Durum 1 ve durum 2' de bir sonraki döneme devredilen atık miktarı 600 ton. Durum 3 'de bu miktar 500 tona düşmekte ve durum 4 ve durum 5'da devredilen atık miktarları 450 tona kadar düşmektedir. Devredilen atık miktarı azaldıkça çevreye ve insana verilebilecek zararların riskleri o oranda azalacaktır.

Çizelge 5.7 Amaç kısıtının optimal durumda aldığı değer ve çözüm sırasında aldığı değerler aralığı

Durumlar	Sol taraf değeri	İşareti	Sağ taraf değeri	Alabildiği Min. Değer	Alabildiği Max. Değer
Durum 1	1.800.000,00	<=	1.800.000,00	1.625.080,00	M
Durum 2	1.800.000,00	<=	1.800.000,00	1.625.080,00	M
Durum 3	1.800.000,00	<=	1.800.000,00	1.610.400,00	M
Durum 4	1.800.000,00	<=	1.800.000,00	1.583.458,00	M
Durum 5	1.800.000,00	<=	1.800.000,00	1.579.462,00	M

Amaç değerinin alabileceği tolerans değerleri çizelge 5.4’de gösterilmiştir. Bu değerler 1.560.000–1.800.000 aralığıdır. Çözüm sırasında amaç kısıdının alabileceği değerler çizelge 5.7’de gösterilmiştir; tüm durumlarda sol taraf 1.800.000 olarak gerçekleşmiştir. Kısıdın alabileceği maksimum değer de tüm durumlar için aynı değer çıkmış ve maksimum olarak gerçekleşmiştir. Ancak kısıdın alabileceği minimum değer durum 1’den durum 5’e doğru azalma göstermektedir.



Şekil 5.3 Optimal sonuçlar

Son olarak, amaç fonksiyonunun optimal sonuçları şekil 5.3’de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere ω değeri arttıkça, λ ’nin aldığı değer artmakta ve maliyet azalmaktadır. “ ω ” en fazla 1.00 değerini alabilmektedir. “ ω ” değeri λ ’nin önemini ve dolayısıyla amaç fonksiyonunun önemini belirttiğini düşünürsek:

$$\omega_{Durum1} < \omega_{Durum2} < \omega_{Durum3} < \omega_{Durum4} < \omega_{Durum5} \quad \text{ve}$$

$$\lambda_{Durum1} < \lambda_{Durum2} < \lambda_{Durum3} < \lambda_{Durum4} < \lambda_{Durum5} \quad \text{ve}$$

$Amaç_{Durum1} > Amaç_{Durum2} > Amaç_{Durum3} > Amaç_{Durum4} > Amaç_{Durum5}$ sonuçları birbirini ve amacımızı desteklediğini görebilmekteyiz.

6. SONUÇLAR

Katı atıklar insan yaşamının gereği olarak üretilen ancak üretildiği gibi bertaraf edilip uzaklaştırılması gereken maddelerdir. Gelişen teknoloji ve ekonomiyle beraber artan refah seviyesi insanları biraz daha tüketim toplumu olmaya yaklaştırmaktadır. Bunun sonucu olarak kişi başına üretilen günlük atık miktarı her gün biraz daha artmaktadır. Katı atıkların bertarafını ve meskûn alanlardan uzaklaştırılmasını yüklenen ilgili kuruluşlar için büyük bir maliyet oluşturmakta ve dolayısıyla katı atıkların bertarafına ve uzaklaştırılmasına ayrılan bütçeyi arttırmak zorunda kalmaktadırlar. Her geçen gün bu miktarın artacağını düşünürsek özellikle büyük şehirlerde bu baş edilemez bir sorun haline gelecektir.

Katı atıkların bertarafı ve uzaklaştırılmasından sorumlu ilgili kuruluşların karşılaştıkları bir diğer sorun ise oluşan katı atık miktarlarının her dönemde aynı miktarda meydana gelmemesidir.

Bu çalışmamızda katı atıkların taşınmasını ve işlenmesinin maliyet minimizasyonunu sağlayacak bir lineer model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model ikinci sorununuz olan her dönemde aynı miktarda katı atık oluşmaması sorununa yönelik olarak geliştiren modelimizi bulanıklaştırarak (fuzzy) gerçek hayatta uyarlanabilecek duruma getirilmiştir. Modelimizi bulanıklaştırırken Zimmermann'ın simetrik bulanık lineer model yönteminden yararlanılarak WinQSB programında çözülmüştür.

Üretilen katı atıkların belli sayıda aktarma, yakma, dönüştürme merkezlerine ve düzenli depolama alanlarına sahip bir yerleşim bölgesinde bertarafını sağlayacak olan bu model, maliyet açısından optimum noktayı tespit etmektedir, bunu gerçekleştirirken gerçek hayattaki gibi değişen atık miktarlarını göz önünde bulundurmaktadır.

Daha sonraki çalışmalarda bu modele ek olarak katı atıkların oluşmasından bertarafına kadar geçen süreçte oluşacak sağlıksal ve çevresel risklerin de ayrıntılı bir şekilde sayısallaştırılarak göz önünde bulundurulmasıyla çok amaçlı lineer model geliştirilebilir. Ayrıca geliştirilecek olan bu model bulanıklaştırılarak, katı atık yönetimine daha gerçekçi bir yaklaşım geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Alpaslan, M.N., (2005), “Katı Atıkların Yönetimi”, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İzmir.
- Alumur, S., Kara, B.Y., (2005), “A New Model For The Hazardous Waste Location-Routing Problem”, *Computers and Operations Research* 34(2007), 1406-1423.
- Amid A.,(2005), “Fuzzy Multiobjective Linear Model For Supplier Selection In A Supply Chain”, *Int. J. Production Economics* 104 (2006) 394–407, 18 October 2005.
- Apaydın, Ö., (2004), “Trabzon Şehri İçin Katı Atık Yönetim Alternatiflerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Destekli Optimizasyonu”, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Arslankaya, E., (1995), “İstanbul Metropolitanında Evsel Zararlı Atık Potansiyelinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Arslankaya, E., (1999), “İstanbul’da Evlerden Oluşan Zararlı Atıkların Yönetiminin Optimizasyonu”, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Badran, M.F., El-Haggar, S.M., (2005), “Optimization of Municipal Solid Waste Management in Port Said – Egypt”, *Waste Management* 26 (2006), 534–545.
- Bellman, R.G., Zadeh, L.A., (1970), “Decision Making A Fuzzy Environment”, *Management Sciences* 17, B141–B164.
- Chen, S.H., (1985), “Ranking Fuzzy Numbers With Maximizing Set and Minimizing Set”, *Fuzzy Sets and Systems* 17, 113–129.
- Çitli, N., (2006), “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ebin, G.C., (2004), “Katı Atık Depo Sahalarının Rehabilitasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Giannikos, I., (1996), “A Multiobjective Programming Model For Locating Treatment Sites and Routing Hazardous Wastes”, *European Journal of Operational Research*.
- Gonce, H., (2005), “Çok Amaçlı Bulanık Lineer Taşıma Problemi”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Gönüllü, T., (2004), “Endüstriyel Kirlenme Kontrolü”, Cilt 1, Syf. 53, 197–199, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Hui, Y., Li’ao, W., Fenwei S., Gang, H., (2005), “Urban Solid Waste Management in Chongqing: Challenges and Opportunities”, *Waste Management* 26 (2006), 1052–1062.
- İSTAÇ, (2007), İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş.,
- Karaaslan, Y., (2003), “İstanbul Katı Atık Kompost Tesisinde Kompostlaştırma Sürecinin İzlenmesi ve Ürün Kalitesinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Karadağ, D., (2002), “İstanbul Evsel Katı Atık Yönetiminde İlçe Belediyelerin Rolü ve Katı Atık Bertaraf Maliyetlerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karamouz, M., Zahraie, B., Kerachian R., Jaafarzadeh, N., Mahjouri, N., (2006), “Developing A Master Plan For Hospital Solid Waste Management: A Case Study”, Waste Management 27 (2007), 626–638.
- Karar, İ., (1994), “Evsel ve Endüstriyel Katı Atıkların Yakılması İle İlgili Sistemlerin Araştırılması ve Ekonomikliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Landreth, R.E., Rebers, P.A., (1997), “Municipal Solid Wastes Problems and Solutions”, syf 4-5, Lewis Publishers, Boca Raton, New York, USA.
- Mete, E., (2001), “Bulanık Matematiksel Programlama”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Öndemir, Ö., (2004), “Hata Türü ve Etkilerinin Bulanık Kümeler Yaklaşımıyla Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pehlivan, E., (1995), “Konya Metropolü Evsel Katı Atıklarından Geri Kazanılabılır Maddelerin Potansiyelinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ross, T. J., (1995), “Fuzzy Logic with Engineering Applications”, McGraw-Hill Inc., New York.
- Shah, K.L., (2000), “Basics Policies of Solid and Hazardous Waste Management Technology”, 112, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Sheu, B. J., (2005), “A Coordinated Reverse Logistics System For Regional Management of Multi-Source Hazardous Wastes”, Computers and Operations Research 34(2007), 1442–1462.
- Shore, B., Venkatachalam, A. R., (2003), "Evaluating the Information Sharing Capabilities of Supply Chain Partners: A Fuzzy Logic Model", International Journal of Physical Distribution&Logistic Management Vol. 33 Iss. 9/10, syf. 822, Bradford.
- Şen, Z., (2004), “Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri”, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tabuk, M., (2006), “Taşıma Problemlerine Çözüm Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Taştan, M., (2003), “Bulanık Matematiksel Programlama”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., (1993), “Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues”, syf.xvii, McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- Vesilind, P.A., Worrell, W., Reinhart, D., (2002), “Solid Waste Engineering”, syf. 1-4, Brooks/Cole, USA.
- Zimmermann, H.J., (1978), “Fuzzy Programming and Linear Programming With Several Objective Functions”, Fuzzy Sets and Systems 1, 45–55.
- Zimmermann, H.J., (1987), “Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems” Kluwer

Academic Publishers, Boston.

Zimmermann, H.J., (1993) “Fuzzy Set Theory and its Applications”, Fourth ed. Kluwer Academic Publishers, Boston.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.ibb.gov.tr

[2] www.istac.com.tr

[3] www.iswa.org

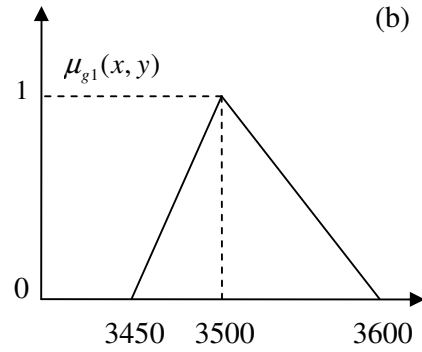
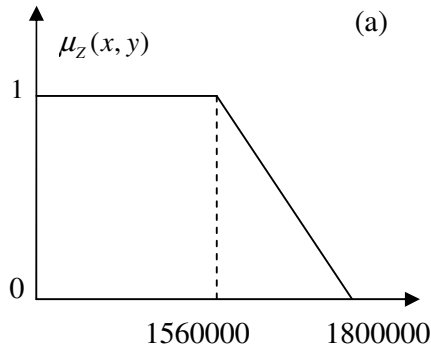
EKLER

- Ek 1 Bulanık amaç ve 9 bulanık kısıt için üyelik fonksiyonları
- Ek 2 Modelin değişkenlerinin tanımları ve çözüm sonucu değerleri

Ek 1 Bulanık Amaç Ve 9 Bulanık Kısıt İçin Üyelik Fonksiyonları

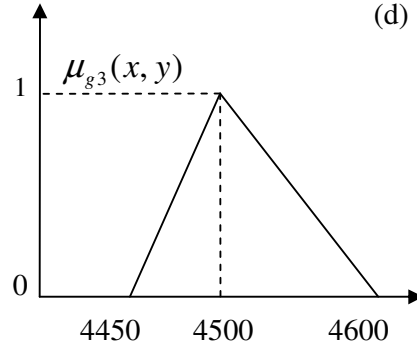
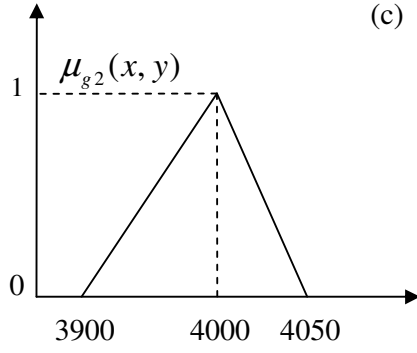
$$(a) \mu_Z(x, y) = \begin{cases} 1, & Z \leq 1560000, \\ \frac{1800000 - Z}{240000} & 1560000 < Z < 1800000, \\ 0 & Z \geq 1800000. \end{cases}$$

$$(b) \mu_{g1}(x, y) = \begin{cases} \frac{3600 - g1(x, y)}{100}, & 3500 < g1(x, y) < 3600, \\ \frac{g1(x, y) - 3450}{50}, & 3450 < g1(x, y) < 3500, \\ 0, & g1(x, y) \leq 3450 \text{ ve } g1(x, y) \geq 3600. \end{cases}$$



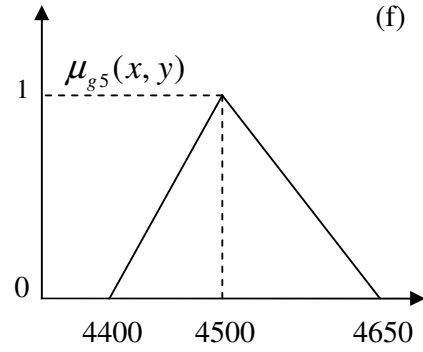
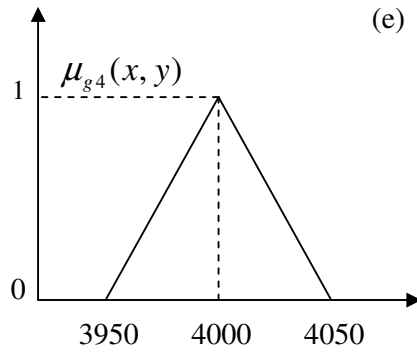
$$(c) \mu_{g2}(x, y) = \begin{cases} \frac{4050 - g2(x, y)}{50}, & 4000 < g2(x, y) < 4050, \\ \frac{g2(x, y) - 3900}{100}, & 3900 < g2(x, y) < 4000, \\ 0, & g2(x, y) \leq 3900 \text{ ve } g2(x, y) \geq 4050. \end{cases}$$

$$(d) \mu_{g3}(x, y) = \begin{cases} \frac{4600 - g3(x, y)}{100}, & 4500 < g3(x, y) < 4600, \\ \frac{g3(x, y) - 4450}{50}, & 4450 < g3(x, y) < 4500, \\ 0, & g3(x, y) \leq 4450 \text{ ve } g3(x, y) \geq 4600. \end{cases}$$



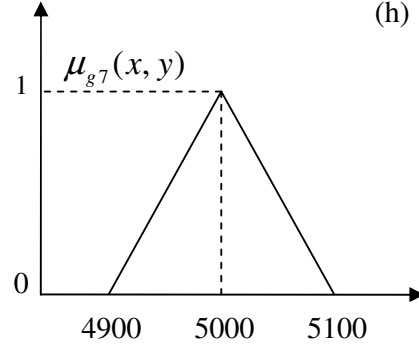
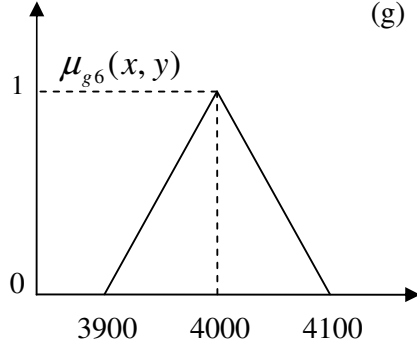
$$(e) \mu_{g4}(x, y) = \begin{cases} \frac{4050 - g4(x, y)}{50}, & 4000 < g4(x, y) < 4050, \\ \frac{g4(x, y) - 3950}{50}, & 3950 < g4(x, y) < 4000, \\ 0, & g4(x, y) \leq 3950 \text{ ve } g4(x, y) \geq 4050. \end{cases}$$

$$(f) \mu_{g5}(x, y) = \begin{cases} \frac{4650 - g5(x, y)}{150}, & 4500 < g5(x, y) < 4650, \\ \frac{g5(x, y) - 4400}{100}, & 4400 < g5(x, y) < 4500, \\ 0, & g5(x, y) \leq 4400 \text{ ve } g5(x, y) \geq 4650. \end{cases}$$



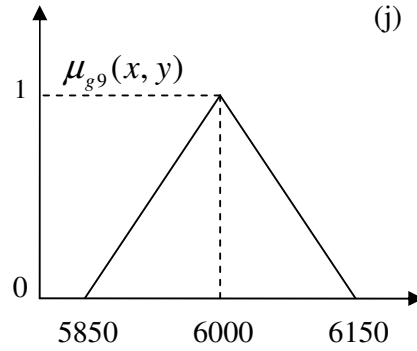
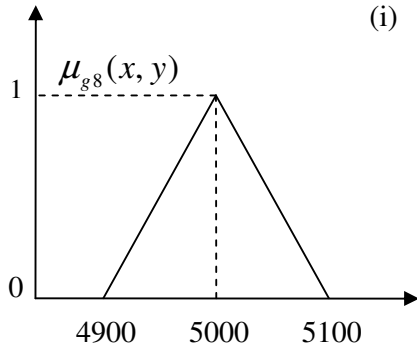
$$(g) \mu_{g6}(x, y) = \begin{cases} \frac{4100 - g6(x, y)}{100}, & 4000 < g6(x, y) < 4100, \\ \frac{g6(x, y) - 3900}{100}, & 3900 < g6(x, y) < 4000, \\ 0, & g6(x, y) \leq 3900 \text{ ve } g6(x, y) \geq 4100. \end{cases}$$

$$(h) \mu_{g7}(x, y) = \begin{cases} \frac{5100 - g7(x, y)}{100}, & 5000 < g7(x, y) < 5100, \\ \frac{g7(x, y) - 4900}{100}, & 4900 < g7(x, y) < 5000, \\ 0, & g7(x, y) \leq 4900 \text{ ve } g7(x, y) \geq 5100. \end{cases}$$



$$(i) \mu_{g8}(x, y) = \begin{cases} \frac{5100 - g8(x, y)}{100}, & 5000 < g8(x, y) < 5100, \\ \frac{g8(x, y) - 4900}{100}, & 4900 < g8(x, y) < 5000, \\ 0, & g8(x, y) \leq 4900 \text{ ve } g8(x, y) \geq 5100. \end{cases}$$

$$(j) \mu_{g9}(x, y) = \begin{cases} \frac{6150 - g9(x, y)}{150}, & 6000 < g9(x, y) < 6150, \\ \frac{g9(x, y) - 5850}{150}, & 5850 < g9(x, y) < 6000, \\ 0, & g9(x, y) \leq 5850 \text{ ve } g9(x, y) \geq 6150. \end{cases}$$



Ek 2 Modelin Değişkenlerinin Tanımları Ve Çözüm Sonucu Değerleri

					$\lambda=$	0,1	$\lambda=$	0,55	$\lambda=$	0,73	$\lambda=$	0,91	$\lambda=$	1,00
$X_{ij}^n(t)$ Maliyet					1.625.088		1.625.088		1.610.400		1.583.448		1.579.464	
Atık Tipi(n)	i	j	Dönem (t)	Modeldeki İndeksi	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
1	0	1	1	X	X1	2000	X1	2000	X1	2000	X1	2000	X1	2000
2	0	1	1	X	X2	2200	X2	2200	X2	2200	X2	2200	X2	2200
3	0	1	1	X	X3	0	X3	0	X3	0	X3	0	X3	0
1	0	2	1	X	X4	0	X4	0	X4	0	X4	0	X4	0
2	0	2	1	X	X5	1800	X5	1800	X5	1800	X5	1800	X5	1750
3	0	2	1	X	X6	0	X6	0	X6	0	X6	0	X6	0
1	0	3	1	X	X7	1500	X7	1500	X7	1500	X7	1500	X7	1450
2	0	3	1	X	X8	0	X8	0	X8	0	X8	0	X8	0
3	0	3	1	X	X9	5000	X9	5000	X9	5000	X9	4900	X9	4900
1	0	1	2	X	X10	2000	X10	2000	X10	2000	X10	2000	X10	2000
2	0	1	2	X	X11	2200	X11	2200	X11	2200	X11	2200	X11	2200
3	0	1	2	X	X12	0	X12	0	X12	0	X12	0	X12	0
1	0	2	2	X	X13	0	X13	0	X13	0	X13	0	X13	0
2	0	2	2	X	X14	2300	X14	2300	X14	2200	X14	2200	X14	2200
3	0	2	2	X	X15	0	X15	0	X15	0	X15	0	X15	0
1	0	3	2	X	X16	2000	X16	2000	X16	2000	X16	1900	X16	1900
2	0	3	2	X	X17	0	X17	0	X17	0	X17	0	X17	0
3	0	3	2	X	X18	5000	X18	5000	X18	5000	X18	4900	X18	4900
1	0	1	3	X	X19	500	X19	500	X19	500	X19	450	X19	450
2	0	1	3	X	X20	2600	X20	2600	X20	2500	X20	2400	X20	2400
3	0	1	3	X	X21	0	X21	0	X21	0	X21	0	X21	0
1	0	2	3	X	X22	2000	X22	2000	X22	2000	X22	2000	X22	2000
2	0	2	3	X	X23	1400	X23	1400	X23	1500	X23	1500	X23	1500

3	0	2	3	X	X24	0	X24	0	X24	0	X24	0	X24	0
1	0	3	3	X	X25	2000	X25	2000	X25	2000	X25	2000	X25	2000
2	0	3	3	X	X26	0	X26	0	X26	0	X26	0	X26	0
3	0	3	3	X	X27	6000	X27	6000	X27	6000	X27	5850	X27	5850
1	1	4	1	X	X28	2000	X28	2000	X28	2000	X28	2000	X28	2000
1	2	4	1	X	X29	0	X29	0	X29	0	X29	0	X29	0
1	3	4	1	X	X30	0	X30	0	X30	0	X30	0	X30	0
1	1	5	1	X	X31	0	X31	0	X31	0	X31	0	X31	0
1	2	5	1	X	X32	0	X32	0	X32	0	X32	0	X32	0
1	3	5	1	X	X33	1500	X33	1500	X33	1500	X33	1500	X33	1450
1	1	4	2	X	X34	2000	X34	2000	X34	2000	X34	2000	X34	2000
1	2	4	2	X	X35	0	X35	0	X35	0	X35	0	X35	0
1	3	4	2	X	X36	0	X36	0	X36	0	X36	0	X36	0
1	1	5	2	X	X37	0	X37	0	X37	0	X37	0	X37	0
1	2	5	2	X	X38	0	X38	0	X38	0	X38	0	X38	0
1	3	5	2	X	X39	2000	X39	2000	X39	2000	X39	1900	X39	1900
1	1	4	3	X	X40	0	X40	0	X40	0	X40	0	X40	0
1	2	4	3	X	X41	2000	X41	2000	X41	2000	X41	2000	X41	2000
1	3	4	3	X	X42	0	X42	0	X42	0	X42	0	X42	0
1	1	5	3	X	X43	0	X43	0	X43	0	X43	0	X43	0
1	2	5	3	X	X44	0	X44	0	X44	0	X44	0	X44	0
1	3	5	3	X	X45	2000	X45	2000	X45	2000	X45	2000	X45	2000
2	1	6	1	X	X46	2200	X46	2200	X46	2200	X46	2200	X46	2200
2	2	6	1	X	X47	0	X47	0	X47	0	X47	0	X47	0
2	3	6	1	X	X48	0	X48	0	X48	0	X48	0	X48	0
2	1	7	1	X	X49	0	X49	0	X49	0	X49	0	X49	0
2	2	7	1	X	X50	1800	X50	1800	X50	1800	X50	1800	X50	1750
2	3	7	1	X	X51	0	X51	0	X51	0	X51	0	X51	0
2	1	6	2	X	X52	2200	X52	2200	X52	2200	X52	2200	X52	2200
2	2	6	2	X	X53	0	X53	0	X53	0	X53	0	X53	0
2	3	6	2	X	X54	0	X54	0	X54	0	X54	0	X54	0
2	1	7	2	X	X55	0	X55	0	X55	0	X55	0	X55	0
2	2	7	2	X	X56	2200	X56	2200	X56	2200	X56	2200	X56	2200

2	3	7	2	X	X57	0	X57	0	X57	0	X57	0	X57	0
2	1	6	3	X	X58	2600	X58	2600	X58	2500	X58	2400	X58	2400
2	2	6	3	X	X59	0	X59	0	X59	0	X59	0	X59	0
2	3	6	3	X	X60	0	X60	0	X60	0	X60	0	X60	0
2	1	7	3	X	X61	0	X61	0	X61	0	X61	0	X61	0
2	2	7	3	X	X62	1500	X62	1500	X62	1500	X62	1500	X62	1500
2	3	7	3	X	X63	0	X63	0	X63	0	X63	0	X63	0
3	1	8	1	X	X64	0	X64	0	X64	0	X64	0	X64	0
3	2	8	1	X	X65	0	X65	0	X65	0	X65	0	X65	0
3	3	8	1	X	X66	720	X66	1320	X66	2280	X66	670	X66	1274
3	1	9	1	X	X67	0	X67	0	X67	0	X67	0	X67	0
3	2	9	1	X	X68	0	X68	0	X68	0	X68	0	X68	0
3	3	9	1	X	X69	4280	X69	3680	X69	2720	X69	4230	X69	3626
3	1	8	2	X	X70	0	X70	0	X70	0	X70	0	X70	0
3	2	8	2	X	X71	0	X71	0	X71	0	X71	0	X71	0
3	3	8	2	X	X72	1620	X72	1620	X72	500	X72	478	X72	1542
3	1	9	2	X	X73	0	X73	0	X73	0	X73	0	X73	0
3	2	9	2	X	X74	0	X74	0	X74	0	X74	0	X74	0
3	3	9	2	X	X75	3380	X75	3380	X75	4500	X75	4422	X75	3358
3	1	8	3	X	X76	0	X76	0	X76	0	X76	0	X76	0
3	2	8	3	X	X77	0	X77	0	X77	0	X77	0	X77	0
3	3	8	3	X	X78	1960	X78	2760	X78	2780	X78	1925	X78	2725
3	1	9	3	X	X79	0	X79	0	X79	0	X79	0	X79	0
3	2	9	3	X	X80	0	X80	0	X80	0	X80	0	X80	0
3	3	9	3	X	X81	4040	X81	3240	X81	3220	X81	3925	X81	3125
1	4	6	1	X	X82	800	X82	800	X82	800	X82	800	X82	800
1	5	7	1	X	X83	0	X83	0	X83	0	X83	0	X83	0
1	4	6	1	X	X84	0	X84	0	X84	0	X84	0	X84	0
1	5	7	1	X	X85	600	X85	600	X85	600	X85	600	X85	580
1	4	6	2	X	X86	800	X86	800	X86	800	X86	800	X86	800
1	5	7	2	X	X87	0	X87	0	X87	0	X87	0	X87	0
1	4	6	2	X	X88	0	X88	0	X88	0	X88	0	X88	0
1	5	7	2	X	X89	800	X89	800	X89	800	X89	760	X89	760

1	4	6	3	X	X90	100	X90	100	X90	100	X90	100	X90	100
1	5	7	3	X	X91	0	X91	0	X91	0	X91	0	X91	0
1	4	6	3	X	X92	700	X92	700	X92	700	X92	700	X92	700
1	5	7	3	X	X93	800	X93	800	X93	800	X93	800	X93	800
1	4	8	1	X	X94	800	X94	800	X94	800	X94	800	X94	800
1	5	9	1	X	X95	600	X95	0	X95	0	X95	600	X95	0
1	4	8	1	X	X96	0	X96	0	X96	0	X96	0	X96	0
1	5	9	1	X	X97	0	X97	600	X97	600	X97	0	X97	580
1	4	8	2	X	X98	800	X98	800	X98	800	X98	800	X98	800
1	5	9	2	X	X99	0	X99	0	X99	800	X99	760	X99	0
1	4	8	2	X	X100	0	X100	0	X100	0	X100	0	X100	0
1	5	9	2	X	X101	800	X101	800	X101	0	X101	0	X101	760
1	4	8	3	X	X102	800	X102	800	X102	800	X102	800	X102	800
1	5	9	3	X	X103	800	X103	0	X103	0	X103	800	X103	0
1	4	8	3	X	X104	0	X104	0	X104	0	X104	0	X104	0
1	5	9	3	X	X105	0	X105	800	X105	800	X105	0	X105	800
1	6	8	1	X	X106	320	X106	320	X106	320	X106	320	X106	320
1	7	8	1	X	X107	240	X107	240	X107	0	X107	240	X107	232
2	6	8	1	X	X108	880	X108	880	X108	880	X108	880	X108	880
2	7	8	1	X	X109	720	X109	720	X109	0	X109	720	X109	700
1	6	9	1	X	X110	0	X110	0	X110	0	X110	0	X110	0
1	7	9	1	X	X111	0	X111	0	X111	240	X111	0	X111	0
2	6	9	1	X	X112	0	X112	0	X112	0	X112	0	X112	0
2	7	9	1	X	X113	0	X113	0	X113	720	X113	0	X113	0
1	6	8	2	X	X114	320	X114	320	X114	320	X114	320	X114	320
1	7	8	2	X	X115	0	X115	0	X115	320	X115	304	X115	0
2	6	8	2	X	X116	880	X116	880	X116	880	X116	880	X116	880
2	7	8	2	X	X117	880	X117	880	X117	880	X117	880	X117	880
1	6	9	2	X	X118	0	X118	0	X118	0	X118	0	X118	0
1	7	9	2	X	X119	320	X119	320	X119	0	X119	0	X119	304
2	6	9	2	X	X120	0	X120	0	X120	0	X120	0	X120	0
2	7	9	2	X	X121	0	X121	0	X121	0	X121	0	X121	0
1	6	8	3	X	X122	40	X122	40	X122	40	X122	40	X122	40

1	7	8	3	X	X123	0	X123	0	X123	0	X123	0	X123	0
2	6	8	3	X	X124	1040	X124	1040	X124	1000	X124	960	X124	960
2	7	8	3	X	X125	0	X125	0	X125	0	X125	0	X125	0
1	6	9	3	X	X126	0	X126	0	X126	0	X126	0	X126	0
1	7	9	3	X	X127	600	X127	600	X127	600	X127	600	X127	600
2	6	9	3	X	X128	0	X128	0	X128	0	X128	0	X128	0
2	7	9	3	X	X129	0	X129	0	X129	0	X129	0	X129	0
1	0	1	1	Y	X130	0	X130	0	X130	0	X130	0	X130	0
1	0	2	1	Y	X131	0	X131	0	X131	0	X131	0	X131	0
1	0	3	1	Y	X132	0	X132	0	X132	0	X132	0	X132	0
2	0	1	1	Y	X133	0	X133	0	X133	0	X133	0	X133	0
2	0	2	1	Y	X134	0	X134	0	X134	0	X134	0	X134	0
2	0	3	1	Y	X135	0	X135	0	X135	0	X135	0	X135	0
3	0	1	1	Y	X136	0	X136	0	X136	0	X136	0	X136	0
3	0	2	1	Y	X137	0	X137	0	X137	0	X137	0	X137	0
3	0	3	1	Y	X138	0	X138	0	X138	0	X138	0	X138	0
1	0	1	2	Y	X139	0	X139	0	X139	0	X139	0	X139	0
1	0	2	2	Y	X140	0	X140	0	X140	0	X140	0	X140	0
1	0	3	2	Y	X141	0	X141	0	X141	0	X141	0	X141	0
2	0	1	2	Y	X142	0	X142	0	X142	0	X142	0	X142	0
2	0	2	2	Y	X143	100	X143	100	X143	0	X143	0	X143	0
2	0	3	2	Y	X144	0	X144	0	X144	0	X144	0	X144	0
3	0	1	2	Y	X145	0	X145	0	X145	0	X145	0	X145	0
3	0	2	2	Y	X146	0	X146	0	X146	0	X146	0	X146	0
3	0	3	2	Y	X147	0	X147	0	X147	0	X147	0	X147	0
1	0	1	3	Y	X148	500	X148	500	X148	500	X148	450	X148	450
1	0	2	3	Y	X149	0	X149	0	X149	0	X149	0	X149	0
1	0	3	3	Y	X150	0	X150	0	X150	0	X150	0	X150	0
2	0	1	3	Y	X151	0	X151	0	X151	0	X151	0	X151	0
2	0	2	3	Y	X152	0	X152	0	X152	0	X152	0	X152	0
2	0	3	3	Y	X153	0	X153	0	X153	0	X153	0	X153	0
3	0	1	3	Y	X154	0	X154	0	X154	0	X154	0	X154	0
3	0	2	3	Y	X155	0	X155	0	X155	0	X155	0	X155	0

3	0	3	3	Y	X156	0	X156	0	X156	0	X156	0	X156	0
--	--	--	--	λ	X157	0,7288	X157	0,7288	X157	0,79	X157	0,9023	X157	0,9189
--	--	--	--	γ_1	X158	1	X158	1	X158	1	X158	1	X158	0
--	--	--	--	γ_2	X159	1	X159	1	X159	1	X159	0	X159	0
--	--	--	--	γ_3	X160	1	X160	1	X160	1	X160	0	X160	0
--	--	--	--	γ_4	X161	1	X161	1	X161	1	X161	1	X161	0
--	--	--	--	γ_5	X162	1	X162	1	X162	0	X162	0	X162	0
--	--	--	--	γ_6	X163	1	X163	1	X163	1	X163	0	X163	0
--	--	--	--	γ_7	X164	1	X164	1	X164	1	X164	0	X164	0
--	--	--	--	γ_8	X165	1	X165	1	X165	1	X165	0	X165	0
--	--	--	--	γ_9	X166	1	X166	1	X166	1	X166	0	X166	0

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	26.06.1981	
Doğum yeri	Batman	
İlköğretim	1994–1997	Batman Anadolu Lisesi
Lise	1997–1999 1999-2000	Süleyman Demirel Fen Lisesi Kahramankent Lisesi
Lisans	2000–2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak. Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005–2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Stajlar

2002	Lider Aydınlatma Ltd.Şti., İstanbul Atölye Stajı 30 işgünü
2003	OlmukSA-İnternational Paper Sabancı A.Ş.,İstanbul Bilgisayar Stajı 30 işgünü
2004	Beko Elektronik A.Ş., İstanbul Endüstri Mühendisliği Stajı 30 işgünü
2004	Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara Devlet Bilgilendirme stajı

Çalıştığı Kurumlar

2004–2005	Lider Aydınlatma Ltd. Şti., İstanbul Kalite Güvence Sorumlusu
2005-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi