

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI KENT SİSTEMLERİNİN PİLOT ÖLÇEKTE
UYGULANABİLİRLİĞİ: ÜMRANIYE KATI ATIK BERTARAF
YÖNETİMİ MODELLEMESİ

MALİKİ EJDER BATUR
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2021

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI KENT SİSTEMLERİNİN PİLOT
ÖLÇEKTE UYGULANABİLİRLİĞİ:
ÜMRANIYE KATI ATIK BERTARAF
YÖNETİMİ MODELLEMESİ

MALİKİ EJDER BATUR
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT KESKİNLER
II. DANIŞMANI
PROF. DR. NİHAL BEKTAŞ

GEBZE
2021

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**APPLICABILITY OF SMART CITY
SYSTEMS AT PILOT SCALE: ÜMRANIYE
SOLID WASTE DISPOSAL MANAGEMENT
MODELLING**

MALİKİ EJDER BATUR
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. BÜLENT KESKİNLER
II. THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. NİHAL BEKTAŞ

GEBZE

2021

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/01/2021 tarih ve .2021 / 02 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/01/2021 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Maliki Ejder BATUR'un tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Prof.Dr.Bülent KESKİNLER

ÜYE :

: Prof.Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ /

ÜYE :

: Prof.Dr. M.Salim ÖNCEL

ÜYE :

: Prof.Dr. Güçlü İNSEL

ÜYE :

: Prof.Dr.Nadir DİZGE

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Akıllı kent sistemlerinde katı atık bertaraf yönetimi hususu şehirlerin hiç kuşkusuz en hayati konularından biridir. Böylesine hassas bir konunun işleyişi bir takım matematiksel model uygulamalarıyla belirlenir ve hayata geçirilir.

Kentsel katı atıkların yönetimi sürecinde karşılaşılan en önemli sorun, atıkların hangi yöntemlerle ve nerede bertaraf edilmesi gerektiği kararıdır. Bu sorunun çözümü için alınacak olan nihai karar bütün sürecin akıbetini belirler. Ekonomik, çevresel ya da sosyal anlamda pek çok değişkenin bir arada değerlendirilmesini gerektiren bu sorunun çözümü için geliştirilen yaklaşımlardan en bilineni ise optimizasyon modelleridir. Bu modellerden doğrusal yapıda olmayanları, süreç sonunda elde edilen nihai kararın mutlak doğru olduğunu garanti edemez. Öte yandan, doğrusal yapıdaki optimizasyon modelleri bu garantiyi sağlarken, pek çok belirsizliğin de yok sayılmasını gerektirebilir. Katı atık yönetimi için geçmişte geliştirilmiş olan doğrusal optimizasyon modellerinin yapısı, doğrusallık sorunu olarak adlandırılabilen bir proses girişi sorunu yüzünden gerçek hayattaki tüm atık yönetim olasılıklarına cevap vermekten uzaktır. Geçtiğimiz yıllarda Kocaeli için yürütülmüş olan bir modelleme çalışması, sözü edilen sorunların ortadan kaldırılabilmesi adına yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Ancak söz konusu model mevcut yapısı ile halen bazı eksiklikleri bünyesinde taşımaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı; yukarıda sözü edilen yeni yaklaşımın içerdiği bazı sorunları ortadan kaldırmaya çalışmaktır. Bu amaçla, söz konusu model yapısı, mevcut tüm atık yönetimi olasılıkları için genişletilmiş ve seçeneklerdeki kısıtlılık giderilmiştir. Nihayetinde elde edilen yeni model Ümraniye İlçesi için bir örnekle çalıştırılmıştır. Elde edilen nihai model yapısının gelecekte hem maliyet minimizasyonu hem de yaşam döngüsü analizi çalışmalarının bazı temel eksiklerini giderme konusunda yardımcı olacağı düşünülmektedir. Bu yolla, alınacak nihai kararların çok daha sağlıklı kararlar olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Matematiksel Modelleme, Kentsel Katı Atık, Maliyet Minimizasyonu, Yaşam Döngü Analizi.

SUMMARY

Solid waste disposal management in smart city systems is undoubtedly one of the most vital issues of cities. The functioning of such a sensitive subject is determined and implemented by same mathematical model applications.

The most important problem encountered in the management of municipal solid wastes is the decision on which methods and where the wastes should be disposed of. The final decision to be taken to solve this problem determines the fate of the whole process. Optimization models are the most well-known approaches developed to solve this problem, which requires the evaluation of many variables in economic, environmental or social terms together. Among these models, nonlinear ones can not guarantee that the final decision obtained at the end of the process is absolutely correct. On the other hand, while linear optimization models provide this guarantee, many uncertainties may also be ignored. The structure of linear optimization models developed in the past for solid waste management is far from answering all real-life waste management possibilities due to a process input problem, which can be called the linearity problem. A modelling study carried out for Kocaeli in the past years has developed a new approach in order to eliminate the mentioned problems. However, the model in question still carries some deficiencies with its current structure.

The main purpose of this study is to try to eliminate some of the problems contained in the new approach mentioned above. For this purpose, this model structure has been expanded for all existing waste management possibilities and the limitations in options are eliminated. Ultimately, the new model obtained was run with a sample for Ümraniye District. It is thought that the final model structure obtained will help in eliminating some of the basic deficiencies of both cost minimization and life cycle analysis studies in the future. In this way, it is expected that the final decisions to be taken will be much healthier decisions.

Keywords: Mathematical Modelling, Municipal Solid Waste, Cost Minimization, Life Cycle Analysis.

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Prof. Dr. Bülent Keskinler'e bu konuya verdiği desteklerden, her an yardıma hazır duruşu ve katkılarından dolayı çok teşekkür ederim. Yardımcı danışmanım Prof. Dr. Nihal Bektaş'a hiçbir zaman esirgemediği bilimsel destek ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez İzleme jüri üyelerim Prof. Dr. Salim Öncel'e ve Prof. Dr. Güçlü İnsel'e değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca Bölüm Başkanı'mız Prof. Dr. Ahmet Karagündüz başta olmak üzere bölümümüzün diğer tüm kıymetli hocalarına teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada kendisinden çok büyük katkı ve destek gördüğüm, çabalarını unutmamın mümkün olmayacağı Bursa Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Mahmut Kemal Korucu'ya, matematiksel modelin yapılandırılması ve çalıştırılması konusundaki emekleri için Düzce Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Dr. Ahmet Cihan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yine çalışmamda özellikle modelin Ümraniye örneği için yapılandırılmasında verilerin sağlanması hususundaki desteklerinden ötürü Ümraniye Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürü Affan Öztürk'e, Ümraniye Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü Personeli İnşaat Teknikeri Emrah Çalışkan'a ve İBB-İSTAÇ yetkililerine teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarına sağladığı katkılardan dolayı Çevre Y. Mühendisi Serpil Karakoç Öztaş'a, değerli arkadaşım Kerem Tülün'e teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında maddi manevi yanımda olan annem Ferihan Batur ve babam Behzat Batur'a teşekkür ederim. Eşim Seda Batur'a gösterdiği anlayış ve destek için teşekkür ederim. Son olarak bana tüm zorlukları unutturdukları için kızlarım Elif, Yasemin, Yağmur ve Zeynep'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KENTSEL KATI ATIKLAR	4
2.1. Kentsel Katı Atıklar ve Sınıflandırılması	4
2.2. Kentsel Katı Atık Bileşenleri	5
2.3. Kentsel Katı Atık Bertaraf Yöntemleri	6
2.3.1. Kaynakta Azaltım ve Geri Kazanım	8
2.3.2. Düzenli Depolama	8
2.3.3. Kompostlaştırma	13
2.3.4. Termal Bertaraf Yöntemleri	13
2.4. Türkiye’de Kentsel Katı Atık Yönetimi	15
2.5. Belediyelerin Katı Atık Yönetimindeki Yeri	18
2.5.1. Belediyelerde Kaynağından Ayrı Toplama	18
2.5.2. Atık Toplama Grupları	19
2.5.2.1. Ambalaj Atıkları	20
2.5.2.2. Evsel Atıklar	21
2.5.2.3. Tıbbi Atıklar	22
2.5.2.4. Tehlikeli Atıklar	23
2.5.2.5. Madeni Atık Yağlar	23
2.5.2.6. Bitkisel Atık Yağlar	24
2.5.2.7. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar	25
2.5.2.8. Ömrünü Tamamlamış Lastikler ve Ömrünü Tamamlamış Araçlar	25

2.5.2.9. Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları	26
2.5.2.10 Atık Pil ve Akümülatörler	26
3. KATI ATIK BERTARAF YÖNETİMİ MODELLEMELERİ	28
4. ÜMRANIYE İLÇESİ KATI ATIK BERTARAF YÖNETİMİ MODELLEMESİ	36
4.1. Modelin Genel Yapısı ve Kütle Dengesi	38
4.1.1. Proseslerin Atık Kütlelerine Etkisi	51
4.1.2. Kısıtların Dizaynı	51
4.1.3. Dağıtım Karar Birimi	52
4.1.4. Diğer Karar Birimleri	53
4.1.5. Müşteriler	53
4.1.6. Alan Gereksinimi ve Atıkların Taşınması	54
4.1.7. Maliyet ve Kazançlar	54
4.1.8. Modelin Esnekliği	54
4.1.9. Atıkların Bütünleşik Hareketi	55
4.2. Modelin Matematiksel Yapısı	55
4.3. Modelde Kullanılan Öngörüler	63
4.3.1. Nüfus ve Atıklara İlişkin Öngörüler	63
4.3.2. Proseslere İlişkin Öngörüler	75
4.3.3. Proses Maliyetlerine İlişkin Öngörüler	75
4.3.4. Taşıma ve Alan Maliyetlerine İlişkin Öngörüler	79
4.3.5. Kısıtlar ve Alan İhtiyacı Öngörülleri	80
5. SONUÇLAR	84
6. ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	97
EKLER	98
Diğer Ekler (CD)	98

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
H	: Hidrojen
Hg	: Civa
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
Li	: Lityum
N	: Azot
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
λ	: Fiziksel prosese gelen atık miktarı
σ	: Fiziksel procesten biyolojik prosese gidecek atık miktarı
β	: Fiziksel procesten termal prosese gidecek atık miktarı
δ	: Fiziksel procesten depolamaya gidecek atık miktarı
ω	: Fiziksel procesten müşteriye gidecek atık miktarı
A	: Atık Yoğunlaşma Bölgesi
AA	: Atık İşleme Verimi
AAKY	: Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
ADDDY	: Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
AEEE	: Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar
AEEKEY	: Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği
B	: Biyolojik Atıklar Karar Birimi
BA	: Biyolojik Alternatifler
BBA	: Biyobozunabilir Atık
BP	: Biyolojik Prosesler
BPA	: Yanabilen Atıklar
C	: Toplama Türleri
ÇKKDB	: Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı

ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
D	: Atık Bertaraf Bölgeleri
DA	: Depolama Alternatifleri
DP	: Depolama Prosesleri
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EEEA	: Elektrik Elektronik Ekipman Atıkları
EKAY	: Evsel Katı Atık Yönetimi
F	: Transfer Türleri
FA	: Fiziksel Alternatifler
FP	: Fiziksel Türler
FSM	: Fatih Sultan Mehmet
FT	: Toplam Atık Miktarı
G	: Atık Bileşenlerinin Kaynaktayken Birbirine Oranı
GB	: Biyobozunabilirler
GIS	: Geographic Informations Systems
GM	: Karışık Atıklar
GR	: Geri Dönüştürülebilirler
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
HV	: Isıl Değer
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İşleri
İSTAÇ	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
KKA	: Kentsel Katı Atık
KAY	: Katı Atık Yönetimi
L	: Depolama Karar Birimi
LCA	: Life Cycle Assessment
M	: Müşteri Bölgeleri
MA	: Müşteri Alternatifleri
MILP	: Mixed Integer Linear Programming
MSWM	: Model of Waste Management
M-MRF	: Mixed Waste Material Recovery Facility
Ni-Mh	: Nikel metal hibrit pil
ÖTA	: Ömrünü tamamlamış araçlar

ÖTL	: Ömrünü tamamlamış lastikler
P	: Fiziksel İşlem Karar Birimi
PC	: Tesis Kapasitesi
PS	: Fiziksel Proses Sayısı
R	: Müşteri Karar Birimi
S	: Transfer Bölgeleri
SETs	: Performans Değerlendirme Aracı
SWOLF	: Solid Waste Optimization Life-Cycle Framework
S-MRF	: Single Stream Material Recovery Facility
T	: Termal Atık Karar Birimi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
ÜB	: Ümraniye Belediyesi
PBB	: Polibromürlü Bifeniller
PBDD	: Polibromürlü Difenil Eterler
PETDER	: Petrol Sanayi Derneği
YA	: Termal Alternatifler
YP	: Termal Prosesler
YK	: Yetkilendirilmiş Kuruluş

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Ümraniye Hekimbaşı çöp patlaması.	10
2.2: Ümraniye Hekimbaşı çöp patlaması kurtarma çalışmaları.	10
2.3: Ümraniye Hekimbaşı eski çöplük alanı, Ümraniyespor tesisleri ve rekreasyon alanı – 2020.	12
2.4: Türkiye’de atıkların bertaraf edilme dağılımı.	17
2.5: Türkiye’de ambalaj atığı karakteristiği.	21
3.1: Transfer, bertaraf işlemleri ve taşıma süreçleri için genel kütle dengesi.	31
3.2: Mevcut atık yönetimi çalışmaları için geçerli olabilecek tüm olasılıkların şematik gösterimi.	32
4.1: Çalışma Alanı Ümraniye.	37
4.2: A1 Yoğunlaşma bölgesi.	39
4.3: A2 Yoğunlaşma bölgesi.	40
4.4: A3 Yoğunlaşma bölgesi.	41
4.5: S1 Transfer bölgesi.	42
4.6: S3 Transfer bölgesi.	43
4.7: M1 Müşteri bölgesi.	44
4.8: M2 Müşteri bölgesi.	45
4.9: Ümraniye bölgesi için modelde kullanılan bölgeleri gösteren harita.	46
4.10: Model kütle dengesinin atık, ürün, kalıntı akımlarının şematik gösterimi.	47
4.11: Ümraniye örneği için oluşan taşıma ve iletim olasılıkları.	50
4.12: Kütle dengesinde geçerli olan süreçlerin şematik gösterimi.	58
5.1: Önerilen prosesler için kümülatif atık girişleri. (ton)	85

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Düzenli depolama yönteminin avantaj ve dezavantajları	11
2.2: Yakma İşleminin Avantaj ve Dezavantajları.	14
2.3: Atıklara ilişkin yönetmeliklerin listesi.	16
2.4: Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri istatistikleri, 1994- 2018	16
2.5: Türkiye’de atıkların yıllara göre değerlendirilme yöntemleri.	17
4.1: Denklemlerde sözü edilecek olan kümeler.	60
4.2: Nüfus, atıklar ve mevzuat için toplanan başlangış verileri.	67
4.3: Hekimbaşı bölgesi için nüfus ve atık öngöröleri.	68
4.4: Esenkent bölgesi için nüfus ve atık öngöröleri.	69
4.5: FSM-Çakmak bölgesi için nüfus ve atık öngöröleri.	70
4.6: Bileşenlerin ikili toplama biçimleri içindeki yüzdeleri.	71
4.7: Hekimbaşı bölgesi için ikili toplama akımları içindeki miktarlar.	72
4.8: Esenkent bölgesi için ikili toplama akımları içindeki miktarlar.	73
4.9: FSM-Çakmak bölgesi için ikili toplama akımları içindeki miktarlar.	74
4.10: Yoğunluk bölgelerinden taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması.	75
4.11: Transfer bölgelerinden taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması.	76
4.12: Fiziksel işlemde taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması.	76
4.13: Biyolojik işlemde taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması .	77
4.14: Termal işlemde taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması.	78
4.15: Proses maliyetlerine ilişkin öngöröler.	79
4.16: Taşıma maliyetlerine ilişkin öngöröler.	79
4.17: Ümraniye çalışması için uzaklık matrisi.	80
4.18: Alan maliyetlerine ilişkin öngöröler.	80
4.19: Proses ve işlemlerin kapasite kısıtları ile alan ihtiyaçları.	82

1. GİRİŞ

Akıllı Kent, bilişim teknolojilerinden güvenli bir şekilde faydalanılarak kent varlıklarının ve kaynaklarının entegre edilmesini ifade eden bir kentsel gelişim vizyonudur. Kent kaynak ve varlıkları, yerel bilgi sistemlerini, okulları, kütüphaneleri, ulaşım sistemlerini, hastaneleri, enerji tesislerini, su kaynaklarını, katı atık yönetimini, kolluk kuvvetlerini kapsamaktadır.

Akıllı Kent kavramı bir vizyon olmakla birlikte son yıllarda akıllı kent başlığı altında gerçekleştirilen uygulamaların çeşitliliği bütüncül bir tanım yapmayı zorlaştırmaktadır. Öte yandan uygulamalar incelendiğinde çeşitli faktörlerle kavram çerçevesi oluşturulmaktadır. Bunlar, kentte çeşitli elektronik ve dijital teknolojilerin uygulanması, yaşam ve çalışma ortamını iyileştirmek üzere bilişim teknolojilerinden yararlanılması, bu bilişim teknolojilerinin yerel veya merkezi yönetim sistemlerine entegrasyonu, bilişim teknolojileri ve insanları bir araya getiren uygulamaların yerelleştirilmesidir.

Ülkemizde sanayinin ve ticaretin gelişmesi ile beraber, tarımla uğraşan kırsal kesimden sanayinin ve ticaretin geliştiği şehirlere göç başlamıştır. Bu göçün etkisi ile ülkemizde her dört kişiden üçü cumhuriyetin ilk yıllarında kırsalda yaşarken, günümüzde şehirlerde yaşamaktadır. Şehirlerde artan nüfus yoğunluğu konut, altyapı, ulaşım, eğitim, sağlık, güvenlik, çevre ve enerji gibi alanlarda sorunları da “Akıllı” ca çözmeyi hem de şehir halkına daha yaşanabilir kentler sunmayı zorunlu hale getirmiştir. Hızla gelişen bilgi ve iletişim teknolojileri daha yaşanabilir şehirler için “Akıllı Şehir” çözümleri sunar. Bu çözümler birbiri ile uyumlu, ihtiyaçlara hitap eden, mümkün olan en son teknolojileri kapsayan Akıllı Şehir sistemlerinden oluşur. Akıllı sistemlerin akıllı çözümler üretmesinin de tek yolu, her gün binlerce sensörden ve merkezden toplanan “Büyük Veri”nin akıllı süreçlerden geçerek şehir halkına ve yöneticilerine katma değerli bir kaynağa dönüşmesidir.

Akıllı Kent Sistemlerinin en önemli alt başlıklarından biri hiç şüphesiz Katı Atık Yönetim süreçleridir. Bu süreçlerin en iyi ve doğru şekilde modellenmesi yaşadığımız çevrenin geleceği için hayati önem taşır. Sınırlı kaynaklara sahip olduğumuz yaşadığımız çevrede kaynaklarımızın ve de özellikle atıklarımızın en verimli şekilde kullanılması, değerlendirilmesi çok önemli bir gelecek konusudur.

Katı atık yönetim çalışmalarında verilecek en doğru bertaraf sistemi seçimi kararı, atıklarımızın en verimli şekilde değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Katı atık yönetim (KAY) süreçleri çok sayıda belirsizlik ve değişkeni bünyesinde barındıran son derece karmaşık yapılardır. Bu karmaşık yapı içerisinde, çözümlenmesi büyük bir çaba gerektiren ve sürecin bütününe belirleyen en önemli adım “en uygun bertaraf sisteminin belirlenmesi” adımıdır. 2017 yılında S. Cobo, A. Dominguez-Ramos, A. Irabien tüm sürecin kaderini belirleyecek olan bu önemli karar verme aşamasında kullanılmakta olan araçları iki grupta topladı: i) Simülasyon / Optimizasyon / Kestirim Modelleri, maliyet-fayda analizi ve çok kriterli karar verme uygulamaları gibi “Sistem Yapılandırma Modelleri”, ii) Yaşam döngüsü analizi, madde akışı analizi ve risk değerlendirme uygulamaları gibi “Sistem Değerlendirme Modelleri” [Cobo et al., 2017]. Bunlardan ilk grupta bulunanlar bir sistemin tasarımı (ya da mevcut bir sistem ya da senaryodaki kapasite genişletme gibi sorunların çözümü) için karar destek araçları görevi görürken, ikinci gruptakiler mevcut bir sistemin (ya da belirlenmiş bir senaryonun) performansını değerlendirmeye yönelik araçlardır. Elbette bu iki seçeneğin birleştirildiği uygulamalar da mümkündür. Öte yandan hangi araç kullanılırsa kullanılsın, elde edilen sonuçlar bazı belirsizlikleri bünyesinde barındırır. Bu belirsizliklerin ana kaynakları ise; başta atık kompozisyonu olmak üzere, modelin yapısı, seçilen bertaraf ve işleme proseslerinin verimleri ve zamansal değişimler gibi değişkenlerdir.

Bu doktora çalışmasının ana amacı; 2015 yılında M. K. Korucu tarafından ortaya konulan model yapısını, bilinen mevcut tüm kentsel atık yönetimi olasılıklarını içerecek şekilde genişletmektir [Korucu, 2015]. Bu anlamda, mevcut atık toplama biçimlerinin tamamını içerebilecek bir ikili toplama biçimi ve bu toplama biçimi için kullanılabilecek tüm bertaraf olasılıkları dikkate alınacaktır. Bu amaçla model, model yapısındaki tüm işlem alternatifleri için en az 2 farklı yöntem ve bu yöntemler için en az 2 farklı kapasite olasılığının yanı sıra olası bölgeler için de birden fazla alternatif oluşturulacak şekilde yapılandırılacaktır. Yeniden yapılandırılan bu yeni model Ümraniye ilçesi için çalıştırılarak kullanılabilirliği denetlenecek ve bulgular değerlendirilecektir.

Tez çalışmamızda İstanbul Anadolu Yakası’nın en kalabalık ilçesi olan Ümraniye’de katı atık yönetimi için en uygun bertaraf sisteminin belirlenmesinde doğrusal bir maliyet optimizasyon modelleme çalışması yapılmıştır. Bölüm 2’de kentsel katı atıklar ve katı atık yönetimi konularına değinilmiştir. Bölüm 3’te katı

atık bertaraf yönetimi modellemeleri ile ilgili literatür bilgisi verilmiştir. Bölüm 4’te yapılacak çalışma modelinin genel yapısı ve kütle dengesi hususları ele alınmış, modelin matematiksel yapısı hakkında bilgiler verilmiş, modelde uygulama yapılan çalışma alanındaki bilgiler ve kullanılan öngörüler aktarılmıştır. Bölüm 5’te modelin çalıştırılması sonucu elde edilen veriler ve sonuçlar aktarılmıştır. Bölüm 6’da tez çalışması ile ilgili bir değerlendirme sunulmuştur.

2. KENTSEL KATI ATIKLAR

2.1. Kentsel Katı Atıklar ve Sınıflandırılması

Katı atıkların farklı perspektiflerden birbirinden farklı tanımları olmakla birlikte, genel olarak; kullanma süresini doldurmuş, son kullanıcısı tarafından artık istenilmeyen, canlıların yaşadığı ortamdan arındırılması gereken, uzaklaştırılması insan ve çevre sağlığı açısından zorunlu olan, her türlü katı formdaki maddelere denilmektedir. 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 2. maddesine göre ise katı atık, üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı atık maddeleri ifade etmektedir [Çevre Kanunu, 1983]. Faaliyetlerimiz sonucunda oluşan atıklarımız içeriğini bildiğimiz ve ayrıştırabildiğimiz oranda değerlidir [Öztürk, 2010].

Kentsel katı atık ise insanların gündelik yaşamları sonucunda ortaya çıkan katı atık olarak tanımlanmıştır. Kentsel katı atıklara genel olarak; çöp, evsel katı atık ya da belediye atığı da denilebilmektedir [Anand, 2010]. Çevre Kanunu'nda kentsel katı atıklar, tehlikeli ve zararlı atık kapsamına girmeyen her türlü konut, sanayi, işyeri, piknik alanları vb. gibi yerlerden gelen atık olarak tarif edilmiştir [Çevre Kanunu, 1983]. 29314 sayılı Atık Yönetim Yönetmeliği'nde ise belediye atıkları; yönetiminden belediyenin sorumlu olduğu, evlerden kaynaklanan ya da içerik veya yapısal olarak benzer olan ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar şeklinde tanımlanmıştır [Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015].

Atık kavramın en belirleyici özelliği, atık üreticisinin maddeyi gözden çıkartması ya da bu amacı benimsemiş olmasıdır. Literatürde katı atık kavramı genel olarak gaz, sıvı veya radyoaktif atıkların dışında kalan atıklar için kullanılmaktadır. Bununla beraber, atıkların üretim ve işleme sürecine yeniden sokulması sonucunda artık daha fazla atık anlamı taşımayıp katı ya da yarı katı maddeler olarak adlandırılmaktadır [Tchobanoglos et al., 2003]. Kentsel katı atıklar özellikle tehlikeli atık kapsamına girmeyen atıklar için kullanılmaktadır. Çöp dediğimiz kavramın nihai bertarafa giden materyal olarak geri dönüşümü olmazken, katı atık kavramı daha ziyade geri kazanılması gereken maddeler olarak algılanmaktadır.

Kentsel katı atıklar için önemli bir sınıflandırma şekli organik ve inorganik olmak üzere gruplandırılmasıdır. Yine kentsel katı atıkları kaynaklarına göre ise;

- Evsel nitelikli olanlar (meyve, sebze, ve her türlü yemek atıkları gibi gıda atıkları; metal, cam, karton, naylon, plastik vs. gibi her türlü ambalaj malzemeleri; odun, talaş, kömür gibi kül atıkları),
- Evsel nitelikli ticari atıklar (her türlü ambalaj atıkları, pazar yerleri, toptancı halleri atıkları, park ve bahçe gibi alanlarda oluşan ağaç-bitki artıkları ihtiva eden atıklar, inşaat yıkıntı ve hafriyat atıkları),
- Sağlık kuruluşu atıkları (patolojik atıklar, röntgen atıkları, ameliyathane atıkları, serum şişesi ve ambalajı atıkları, kesici-delici özelliği olan atıklar) olmak üzere sınıflandırabiliriz [Ağdağ, 1997].

2.2. Kentsel Katı Atık Bileşenleri

Ülkemizde Kentsel katı atıkların yönetimi, Çevre Kanunu kapsamında yerel yönetimlerin sorumluluğundadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen ilgili atık yönetmeliklerine göre; kentsel katı atığın toplanması, taşınması, ara depolanması, nihai bertaraf amaçlı taşınması ve bertaraf edilmesi için, Büyükşehir Belediyeleri, İl ve İlçe Belediyeleri ile İl Özel İdaresince yönetilmesi gerekmektedir. Mahalli İdareler, atık yönetimi yürütmek amacıyla; doğrudan yatırım yapmak, tesis kurmak, hizmet alımı yapmak veya son yıllarda oldukça yaygınlaşan Mahalli İdare Birlikleri oluşturarak atık yönetim planları oluşturmaktadırlar. Ülkemizde kentsel katı atığın toplanması, Belediye bünyesinde Çevre Koruma Daire Başkanlıkları, Atık Yönetimi Daire Başkanlıkları, Temizlik İşleri, Fen İşleri gibi birimlerin altında yürütülmektedir.

Belediyeler, genellikle kentsel katı atık yönetim uygulamalarının birinci ayağı olan atık toplama ve taşıma işlerini “Kent Temizliği” olarak yürütmektedirler. Kurumlar bu işleri kendi imkânları ile yaptıkları gibi yüklenici firmalardan hizmet alımı kapsamında yaptırabilmektedirler.

Kentsel katı atıkların temel bileşeni yerleşim yerlerinden kaynaklanan evsel katı atıklardır. Atıkların büyük bir kısmı organik atık olarak bilinen “mutfak (yaş) çöpü” dür. Bununla birlikte ambalaj atıkları, sokak ve park bahçe atıkları, kül, cüruf, mezbaha atıkları, hal-pazar yeri atıkları, sanayi ve endüstri kaynaklı tehlikeli

olmayan atıklar ve diğer inorganik atıklar olarak çeşitlenebilir. Atıkların oluşum miktarı ve kompozisyonları; bölgenin sosyo-ekonomik yapısı, demografik yapısı, iklim şartları, beslenme alışkanlıkları, eğitim seviyesi, mevsim şartlarına göre değişebilmektedir.

Katı Atık Yönetimi (KAY) atıkların oluşumundan nihai bertarafına kadar devam eden süreçlerini farklı yönetim ve bilim disiplinleri incelemekte ayrıca yönetim sürecine dahil olabilmektedir. Bu alanlar Çevre ve Halk Sağlığı, ekonomi, mühendislik, imar ve şehircilik, gibi olabilmektedir. Hedeflenen KAY için bu disiplinlerin ortak paydada buluşması KAY sürecine çok daha verimli çözümler sunmaktadır. Katı atık yönetiminde kentsel katı atığın, toplanıp nihai bertaraf edilmesine kadar geçen sürede; miktarı ve bileşenleri sürekli değişken bir eğilim halinde seyretmekle birlikte özellikle toplama ve taşıma maliyetleri oldukça yüksektir. Dünyanın birçok gelişmiş- az gelişmiş ülkesinde katı atık yönetiminde çöpler genel olarak üretilip biriktirilip, toplanıp, taşındıktan sonra, kısa süre öncesine kadar, doğrudan düzenli veya düzensiz çöp sahalarına gömülür, burada depolanırdı. Ancak günümüz modern KAY sistemlerinde üretim-biriktirme-toplama/taşıma-depolama doğrusal yolu artık özellikle gelişmiş ülkelerde kullanılmamakta, mutlaka işlemlerin arasına işleme-geri kullanım/geri dönüşüm/geri kazanım- aşaması konulmaktadır. Günümüz KAY felsefesinin ana temasını oluşturan bu aşamada, çöp tanımında yer alan “işe yaramaz” ifadesi reddedilmektedir. Oluşan atığın, maddenin yaşam döngüsü içinde bir bölüm olarak kabul edilip, o maddenin yaşamına devam etmesi ve döngüyü sürdürmesi için gerekli teknolojiler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

2.3. Kentsel Katı Atık Bertaraf Yöntemleri

Katı atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı çok boyutlu ele alınan bir yönetimi içermektedir. Atıkların bertarafına karar verilirken atığın kaynağında olduğu nokta dikkate alınarak doğru bir şekilde planlama yapılması gerekmektedir.

29314 sayılı Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre bertaraf ifadesi; “ikincil amacı enerji geri kazanımı olsa dahi geri kazanım olarak kabul edilmeyen ve yönetmelik ekinde yer alan işlemlerden herhangi biri olarak kabul edilmektedir” şeklinde tanımlanmaktadır [Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015].

Kentsel katı atıklar için farklı ihtiyaçları bir arada sunabilen nihai bertaraf yöntemleri bulunmaktadır. Bertaraf yöntemlerinin niteliğinin; çevreye duyarlı, uzun vadede ihtiyaçları karşılayabilecek ve ekonomik olması beklenmektedir [Bilitevski et al., 2005].

Kentsel katı atıklar yaygın olarak; düzenli depolama, kompostlaştırma, vahşi depolama, yakma, piroliz ve geri kazanım yöntemi ile uzaklaştırılmakta ve değerlendirilmektedir.

Atıklar içerisinde ekonomik fayda sağlayan ve geri kazanabilir olanların sistemden oluştuğu noktada atık üreticisi tarafından ayrı toplanılması işlemine kaynağında ayrı toplama diyebiliriz. Kaynağında ayrı toplama doğru bir katı atık yönetim planlaması gerektirmektedir. Toplanan atıkların sonrasında ayrı bir şekilde değerlendirilerek ekonomiye yeniden kazandırılması amaçlanmaktadır. Kaynağında ayrı toplanabilen maddeler; plastik, cam, metal, kâğıt-karton, elektronik eşyalar, araç lastikleri, her türlü hurda malzemeler olabilmektedir. Kaynağında ayrı toplayabilmek atıklar konusunda belirli bir eğitim ve bilinç seviyesi gerektirir aynı zamanda. Bu eğitim ve bilinç kazandırma faaliyeti beraberinde kaynağında atık azaltım yaklaşımını da kazandırır. Atıkların kaynağında azaltılması atık yönetim hiyerarşisi oluşumunun ilk basamağıdır. Ortaya çıkan atık geri dönüşümü olabilen bir atık olsa dahi mümkün olduğunca oluşmamasını sağlamak bu yaklaşımın ana hedefidir. Bu durum günlük yaşantımızda ürün/malzemelerin daha uzun süreli kullanımına özen göstererek, kullan at ürünlerinin kullanımını mümkün olduğunca azaltmak gibi eylemlerle desteklenebilmektedir.

Bu konu sadece hanelerde yaşayan bireylerin bireysel uğraşları ile gerçekleşen bir faaliyet değildir. Aynı zamanda dünyada ve ülkemizde katı atıkların yüksek oranda oluşum kaynağı olan büyük-orta-küçük işletmeler bazında da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım işletmelerin kurumsal kimliklerinin bir parçası haline getirilmeli üretimde daha az atık oluşumu hedef alınarak iş akışları bu doğrultuda yenilenmelidir.

Kentsel katı atığın kaynağından farklı yöntemler ile toplanarak, bertaraf edilmek üzere bölgeden uzaklaştırılması işlemini toplama-taşıma olarak adlandırabiliriz. Bu işlemler sırasında insan ve çevre sağlığı için risklerin minimize edilmesi de gereklidir ve şarttır.

2.3.1. Kaynakta Azaltım ve Geri Kazanım

Kaynakta azaltım yaklaşımında amaç minimum düzeyde atık oluşturmaktır. Özellikle ticari işletmelerde kullanılan madde miktarını azaltarak yada paketleme için daha az ürün kullanarak daha az atık oluşumu sağlanabilmektedir. Özellikle geri dönüşüm için kullanılabilir ambalaj bölümlerinin ayrılması, kullanılıp atılan ürünler yerine tekrar kullanılabilen ürünlerin üretilmesi. Halk ve endüstrinin bilinçlendirilmesi ile kişi başına üretilen atık miktarında % 25 oranında azalma sağlanabilir [Gülmez, 2016].

Özellikle 80’li yıllarda ortaya çıkan geri kazanım yaklaşımı ile özellikle doğal kaynak ve hammadde kullanımında tasarruf sağlaması, aynı zamanda depolama alanı ihtiyacının önemli oranda azaltması nedeni ile dünyanın bir çok ülkesinde önemi kavranmaya başlanmıştır. Geri kazanım ise genel olarak ele alındığında sadece atıkların başka maddelere geri dönüşümü olmamaktadır. Katı atıkların içeriğindeki muhtelif maddeleri hammadde ve yakıt kaynağı olarak kullanmak veya katı atıklarda kompost gübre veya başka kaynaklar üretmek ve faydalanmak katı atıkların geri kazanılması olarak değerlendirilebilmektedir.

Düzenli depolamada depolama gazından, yakma ve pirolizde enerji ve cüruftan yararlanma söz konusudur. Günümüzde Dünya’da ve Türkiye’de geri kazanım bir atık yönetim yaklaşımı olmaktan öte etik bir karaktere de bürünmüştür ve sistemli ya da sistemsiz olarak büyük oranda uygulanmaktadır. Geri kazanım yaklaşımı toplumlarda çevre bilincinin önemli bir sembolü haline gelmiştir. Gelişmiş ülkelerde geri kazanım vatandaş tarafından özellikle sahiplenilmiş ve bir yaşam biçimi haline dönüştüğü felsefeler ortaya çıkmıştır. Türkiye’de Geri kazanım konusunda ise sokak toplayıcıları ve çöp müteahhitleri sayesinde yüksek bir ulusal puana sahip olunmasına karşın, kitlesel destek, ortalama eğitim ve kültür seviyesine bağlı olarak oldukça azdır.

2.3.2. Düzenli Depolama

Kentsel katı atıkların nihai bertarafında en çok kullanılan yöntemlerden biri olan düzenli depolama alanları Belediyelerin en önemli çevre sorunlarından biridir. Atıkların bertarafında farklı alternatifler olmakla birlikte ekonomik olarak gelişmekte olan ülkelerde ekonomik avantajı dolayısı ile evsel atıkların bertarafında düzenli

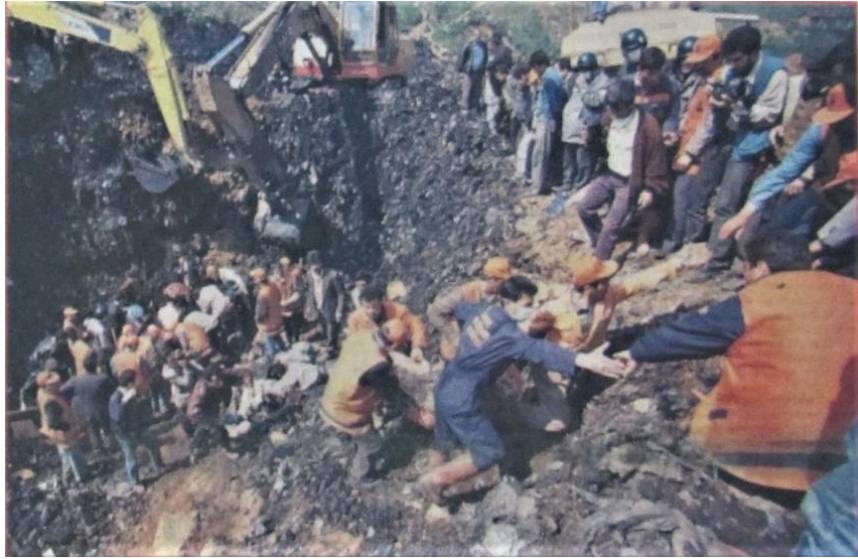
depolama sıklıkla kullanılmaktadır. Katı atıklar geçirimsizliği sağlanmış özel membranlarla büyük dolgu alanlarında gömülmektedir. Gömülen atıkların zemin ve yeraltı sularına ve atmosfere zarar vermeyecek şekilde depolanması gerekmektedir. Bunun için sızıntı sularının ve karışan yağış sularının ayrı bir drenaj sistemi ile toplanarak ayrılması ve geçirimsiz bir tabakanın oluşturularak yüksek kirlilik içerikli sızıntı suyunun yer altı sularına karışması engellenmektedir [Bouis et al., 1999].

Düzenli depolama tesislerinde, atıklar belirli bir yoğunluk ve hacme ulaştığında iş makineleri ile sıkıştırılmaktadır. Uygun sıkıştırma yüksekliğine geldiğinde ise inert malzemeler ile üzeri kapatılmaktadır. Sıkıştırma sonucu oluşan koku ve gazının atmosfere yayılımını engellemek için depo yeri gaz bacaları ile donatılmaktadır. Oluşan bu gazlar bio-bozunma sonucu oluşan ve uygun yaklaşımlarla değerlendirilebilecek olan metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve hidrojen sülfür (H_2S) gazlarıdır. Bu gazların uzaklaştırılması ve değerlendirilmesi düzenli depolama alanlarının yönetiminde çok ciddi önem arz etmektedir. Aksi halde çevre ve insan sağlığına çok büyük oranda tehdit ve risk içermektedir.

Düzenli depolama yapılmayıp vahşi bir depolama yapılması ve de bio-bozunma sonucu oluşan tehlikeli gazların ortamdan kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmaması telafisi imkansız sonuçlar oluşturabilir. 28 Nisan 1993'te İstanbul'un Ümraniye İlçesi Hekimbaşı vahşi depolama alanında çok büyük acıların yaşandığı bir facia meydana gelmiştir. Yıllarca kontrolsüz bir şekilde çöp depolanan alanda bio-bozunma sonucu zamanla içeriğindeki oksijen tükenmesine bağlı olarak üreyen anaerobik bakteriler ortamda patlayıcı özellikli CH_4 ağırlıklı çöplük gazı oluşturmuştur. Çöplük gazı yüksek oranlarda CH_4 ve CO_2 olmak üzere daha düşük oranlarda yanıcı ve yüksek derecede toksik H_2S gazı ile azot (N), hidrojen (H) gibi gazlardan oluşur. Bu oluşan tehlikeli gazların ortamdan uzaklaştırılmaması, kontrolsüzlük ve güneş ışınımının yağlı paçavraları tutuşturması sonucu çok büyük bir patlama gerçekleşmiş; patlamanın ardından çöp heyelanı oluşmuş, çöp yığınının alt kısımlarında bulunan gecekonduların üzeri çöp kütlesi ile dolmuş ve bu yığının altında kalan 39 insan hayatını kaybetmiştir (Şekil 2.1). Çöp yığını altındaki cesetleri çıkarmak için onlarca iş makinası ve onlarca itfaiye aracı Şekil 2.2 içerisinde görüldüğü gibi günlerce çalışmış ancak patlama esnasında çıkan yangın dahi dört günde söndürülebilmiş, maalesef cesetlerin tamamına da ulaşılammış 12 kişi kayıp olarak kayda geçmiştir.



Şekil 2.1: Ümraniye Hekimbaşı çöp patlaması.



Şekil 2.2: Ümraniye Hekimbaşı çöp patlaması kurtarma çalışmaları.

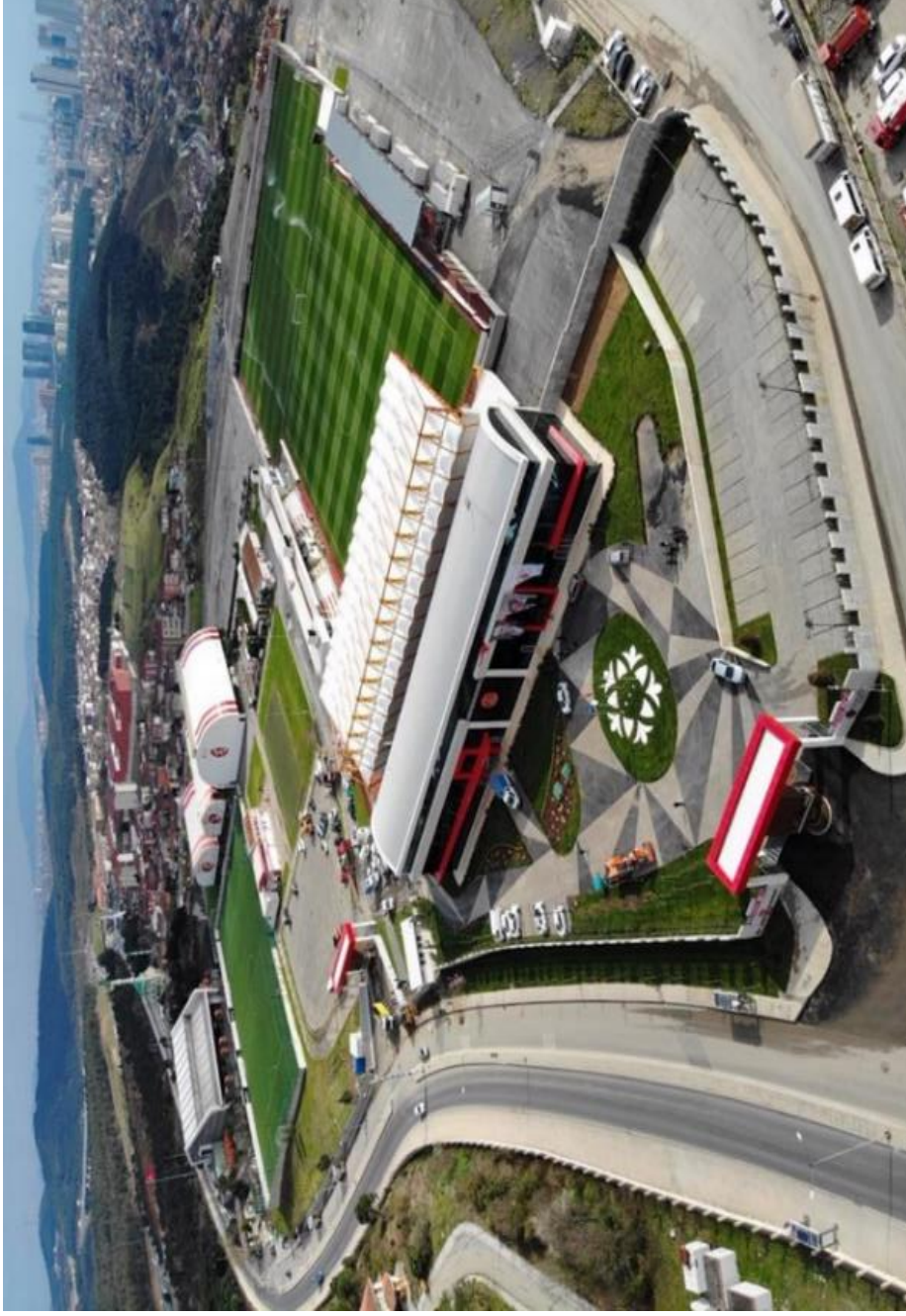
Düzenli depolama alanının, ekonomik taşıma mesafesi içerisinde bulunan bir arazi olması işletme maliyetlerinin de uygun olması anlamına gelecektir. Düzenli depolama alanlarının kapasitelerinin artırılması da mümkün olabilmektedir. Kullanılan araziler kapatıldıktan sonra şartları sağlanarak rekreasyon başta olmak üzere çeşitli amaçlarla da kullanılabilir (Şekil 2.3). İşletme, kapatma ve kapatma sonrası bakım süreçlerinde sera etkisi de dahil olmak üzere çevre ve insan sağlığı açısından risk teşkil edebilecek olumsuzlukların önlenmesine özellikle dikkat edilmelidir [ADDDY, 2010].

Düzenli depolama alanlarında depolanan atıklar genellikle evsel katı atıklar, park, bahçe ve yeşil alanlardan atılan bitki artıkları, zararlı atık olmayan evsel katı atık özelliklerine sahip sanayi ve ticarethane katı atıkları, iri katı atıklar, evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları, zararlı atık sınıfına girmeyen sanayi arıtma tesisi çamurlarıdır.

Düzenli depolamadaki faydalı ve zararlı hususlar Tablo 2.1 içerisinde verilmektedir.

Tablo 2.1: Düzenli depolama yönteminin avantaj ve dezavantajları.

Avantajları	Dezavantajları
Taşıma mesafesi ekonomik olan bir arazi bulunduğunda çok uygun bir yöntem.	Nüfusu yüksek bölgelerde ekonomik taşıma mesafesinde alan bulma zorluğu
Nihai bir bertaraf yöntemi.	Depolama sonrasında oluşan gaz ve sıvı sızıntıların kontrol altına alınamama riski.
Atık miktarına göre kapasite artımı yapılabilmesi açısından ekonomik	Yerleşim alanlarına yakın yerlerde kurulan alanlara halkın tepkisi.
Kullanım sonrası rekreasyon alanı olarak kullanılabilir.	Tamamlanmış tesislerde bakım olmadığında göçüklerin meydana gelebilmesi.
Başlangıç yatırımı en uygun olan yöntem.	



Şekil 2.3: Ümraniye Hekimbaşı eski çöplük alanı, Ümraniyespor tesisleri ve rekreasyon alanı – 2020.

2.3.3. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma bilinen en eski ve en doğal bertaraf yöntemlerinden biridir. Kentsel katı atık içerisindeki organik kökenli katı atıkların oksijenli ortamda biyobozunmayla yüksek verimli gübre benzeri ürünün oluşması işlemidir [Bilitevski et al., 2005]. Çoğunluğu gözle görülmeyen mikroorganizmalar ortamdaki oksijeni kullanarak çöp içerisindeki organik maddeleri biyokimyasal yolla ayrıştırır. Bu ayrıştırmanın gerçekleşebilmesi için bu çöp kitlesindeki su içeriğinin % 50-60 civarında olması gerekmektedir. Farklı kompostlaştırma yöntemleri de bulunmaktadır. Aralarındaki fark havalandırma ve sıcaklığın kontrolü, olgunlaşma süresi, aktarma şekli, ön ve son hazırlama işlemlerinin düzenlenmesi ile ortaya çıkar. İşlem için seçilecek teknolojiye göre prosesin hızlandırılması ve oluşan gaz emisyonlarının yayılımının kontrol altına alınması gerekmektedir. Basit ve işletme emniyeti yüksek ünitelerden oluşması istenmektedir.

2.3.4. Termal Bertaraf Yöntemleri

Termal prosesler, içeriğinde yanabilen atıkların kütsel yoğunluğunun fazla olduğu atık kompozisyonlarının enerji geri kazanımı sağlaması amacıyla yakılarak nihai bertaraf edildiği yöntemdir. Atık maddelerin oksijenli ortamda termik olarak oksitlenmesi olarak da ifade edilebilmektedir. Yakma yöntemi ile atık hacminin azalması ve bazı zararlı maddelerin (organik ve bakteriyel) yok edilmesi de sağlanmaktadır. Bir yandan da atık gaz, cüruf ve kül oluşmaktadır. Diğer bertaraf yöntemlerine göre kurulum ve işletme maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır. Yakma sonunda baca gazları emisyonları fazladır. Yakma işleminin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.2’de verilmektedir. Piroliz de bir termal proses yöntemidir. Piroliz, yunanca ısı anlamına gelen “pyro” ve parçalanmak anlamına gelen “lyse” kelimelerinden meydana gelen yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda organik maddelerin termal kırılmaya uğradığı termo kimyasal bir sürecin adıdır. Yakma prosesinden farklı olarak atık, oksijensiz bir reaktörde ısıtılması sonucu ısıl parçalanma ile bozunarak gaz çıkışına neden olur. Bu yöntemde atıklar olduğu gibi veya öğütülerek reaktöre verilmektedir. Dışarıdan brülörlerle ısıtılan reaktörden yanabilir baca gazı, kömürlü katı atık ile katranımsı yağlı maddeler veya kül ve

cürufun söndürülmesinden oluşan bir atık su elde edilmektedir. Süreç sonunda organik maddelerin içerisindeki sabit karbon ve uçucu ayrılır. Uçucunun daha sonra yoğunlaştırılmasıyla sıvı ve gaz formda iki farklı yakıt elde edilir. Nihayetinde piroliz ile büyük moleküller daha küçük gaz, sıvı ve katı moleküllere dönüştürülmüş olur. Konvansiyonel yakma prosesleriyle enerji geri kazanımı sağlanmakla birlikte yakma prosesine göre daha pahalı yatırım maliyetine sahiptir [Tchobanoglos et al., 1993].

Tablo 2.2: Yakma İşleminin Avantaj ve Dezavantajları.

Avantajları	Dezavantajları
Organik maddelerin kısa sürede gaz ve kül hale gelmesi sağlanmaktadır. Atık hacmi azalmaktadır.	Depolama alanında depolanan kül ve cürufur içerisindeki kolay çözünen inorganik maddeler yeraltı sularına karışabilmektedir.
Yanma işlemi tamamlanınca, atık sterilize olmaktadır.	Cürufur su ile soğutulması ve bacadan çıkan gazların su ile yıkanması sırasında bir ton çöpe karşılık bir m ³ atık su oluşmaktadır.
Yanma sonucu oluşan ısı enerjisinden sıcak hava üretimi, sıcak su üretimi, buhar üretimi gibi alanlarda yararlanılabilmektedir.	Yakma aşamasında iyi yakılamayan katı atıklar sebebi ile kötü kokulu baca gazları oluşur. Yakma tesisine yakın oturan bireyler için; yakma tesisinden kaynaklı tesis gürültüsü, yakın çevrede yaşayanlar için; toz ve egzoz gazları rahatsızlık verici olabilmektedir.
Yakma işlemi sonrasında atıkların kapladıkları hacimler yaklaşık olarak %60-70 oranında azalmaktadır.	Yakma tesisinde yaklaşık bir ton çöp yakılması sonucu, atığın % 65'i gaz halinde kirli hava olarak atmosfere salınır.
	Yakma tesisi yatırım maliyeti düzenli depolamaya göre, hava kirliliğinin kontrol edilmesi de dâhil yaklaşık olarak 10 kat fazladır [Türkeş, 2011]

2.4. Türkiye’de Kentsel Katı Atık Yönetimi

Türkiye’de katı atıkların yönetimi, Dünya’da olduğu gibi çevre ve insan sağlığı ve aynı zamanda ekonomik açıdan önemli bir alan olarak değerlendirilmektedir [Bozkurt, 2012]. Özellikle şehirlerde yaşayan insanlar ve çevrenin korunması açısından atıkların düzenli bir şekilde toplanması, taşınması, depolanması ve bertaraf edilmesi uygun yönetim modelinin belirlenmesi dikkatle ele alınması gereken bir konudur.

Katı atık yönetiminin; çevre sağlığını korumak ve gözetmek, kentsel çevre kalitesini yükseltmek, ekonominin verimliliğine ve yeterliliğine destek olmak, istihdam ve gelir elde etmek gibi hedefleri olmalıdır. Ayrıca bu hedeflere ulaşılabilmesi için sürdürülebilir katı atık yönetim sistemleri kurmak gerekir.

Türkiye Cumhuriyeti Anayasasına göre çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşların ödevidir. Çevre kanunu, belediye kanunu ve diğer alt mevzuatlarda bireylerin ve tüzel kişiliklerin ayrı ayrı çevre konusundaki sorumlulukları detaylıca şekillendirilmiştir. Katı atık yönetimi Cumhuriyetin ilk yıllarından bu yana “temizlik hizmetleri” adı altında ve Sağlık Bakanlığı’nca ise “kamu sağlığı odaklı” yürütülmüştür. Katı atıkların yönetiminin uzun ve orta vadede sosyo-ekonomik, demografik, coğrafi koşullara uygun ve teknik olarak önleyici-engelleyici çevre politikaları kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu konudaki çalışmalarda yetki ve sorumluluğa sahip olan bakanlık ve diğer merkezi yönetim kurum ve kuruluşlarına, gönüllü derneklere, özellikle yerel yönetim-belediyelere ve hatta iş çevrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde Katı Atıkların yönetmelikleri 2872 sayılı Çevre Kanunu kapsamında çıkartılmaktadır. İlgili yönetmelik isimleri ve Resmi Gazete tarih ve sayılarına ilişkin bilgi aşağıda Tablo 2.3 içerisinde verilmektedir.

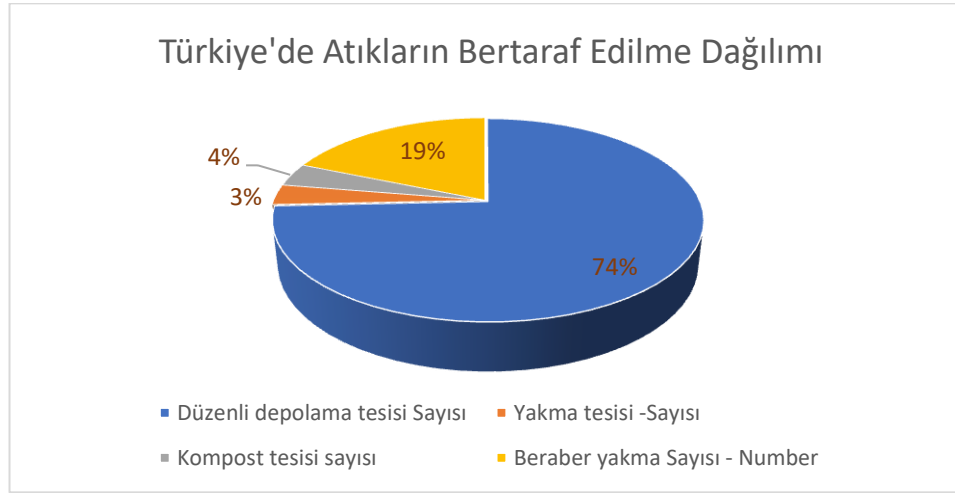
Tablo 2.3: Atıklara ilişkin yönetmeliklerin listesi.

İlgili Yönetmelik Adı	Resmi Gazete Tarih - Sayı
Atık Yönetimi Yönetmeliği	02.04.2015 - 29314
Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	27.12.2017- 30283
Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği	22.05.2012- 28300
Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	25.01.2017- 29959
Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği	31.08.2004- 25569
Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	18.03.2004-25406
Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği	25.11.2006- 26357
Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Yönetmeliği	30.12.2009- 27448
Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	26.03.2010- 27533
Belediye Kanunu (5393 sayılı)	13.07.2005- 25874
Büyükşehir Belediye Kanunu (5216 sayılı)	23.07.2004- 25531

Dünyadaki birçok ülkenin başlıca sorunu olan atık yönetimi, ülkemizde de özenle yürütülen çalışmaların başında yer almakta olup, bu çalışmalar toplumsal ve siyasi duyarlılığın artması ile birlikte son on yılda çok ciddi bir gelişme göstermiştir [TÜİK, 2019]. Ülkemizdeki atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri istatistikleri Tablo 2.4 içerisinde, atıkların bertaraf edilme dağılımı Şekil 2.4 içerisinde gösterilmiştir.

Tablo 2.4: Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri istatistikleri, 1994- 2018.

	1994	1998	2002	2006	2008	2010	2016	2018
Düzenli depolama tesisi sayısı	2	8	12	22	37	52	134	159
Yakma tesisi sayısı	0	1	2	3	2	2	6	7
Kompost tesisi sayısı	2	2	4	4	4	5	7	8
Beraber yakma tesisi sayısı	0	1	2	3	2	2	35	40



Şekil 2.4: Türkiye’de atıkların bertaraf edilme dağılımı.

Tablo 2.5: Türkiye’de atıkların yıllara göre değerlendirilme yöntemleri.

	1994	2002	2006	2010	2014	2016	2018
Belediye çöplüğüne gönderilen	14479	16310	14941	11001	9936	9095	6521
Düzenli depolama tesisine gönderilen	809	7047	9428	13747	17807	19338	21644
Açıkta yakılan	442	221	247	134	4	10	6
Dereye ve göle dökülen	558	197	70	44	16	0,5	0,5
Gömülen	523	500	144	34	7	7	2
Diğer bertaraf yöntemleri	3029	2350	851	456	255	139	99
Kompost tesisine gönderilen	192	383	255	194	126	146	123
Geri kazanım tesisine gönderilen	-	-	-	-	-	2946	3848

Tablo 2.5’e göre Türkiye’de 1994 yılında oluşan atıkların % 72’sinin belediye çöplüğüne yani vahşi depolamaya gönderilmiş olduğu görülmektedir. Yaklaşık % 5 oranında atığın ise açıkta yakılarak ya da alıcı ortama gönderilerek bertaraf edildiği

görülmektedir. 2018 senesine bakıldığında bu oranın Türkiye genelinde % 20'ye düştüğü görülmektedir.

Düzenli depolamaya gönderilen atık oranının ise o yıllardan bu zamana % 63 oranında arttığı görülmektedir. Bunların yanında Tablo 2.5'e göre doksanlı yıllarda geri kazanıma herhangi bir atık gönderilmediği görülürken 2018 yılında bu oranın % 12 olduğu görülmektedir.

1994 yılından bu yana düzenli depolama sayısının ciddi oranda arttığı, aynı zamanda geri kazanım tesislerinin de kurularak sayılarının arttığı görülmektedir [TÜİK, 2019].

2.5. Belediyelerin Katı Atık Yönetimindeki Yeri

Belediyeler çevre kanununda yer alan yönetmelikler ve belediye kanunları gereği çevre kirliliğine yol açabilecek tüm konularda görevlerini yerine getirmekle yükümlüdür. Özellikle çöp kirliliği, hava, su, toprak kirliliği, gürültü kirliliği, park ve yeşil alanların yapılması ve korunması, görüntü kirliliği ve diğer kirlilik türleri konusunda yapılacak denetimlerde bu konulardan sorumludurlar. Çevreye atıkların düzensiz atılması, düzensiz toplanması, çöp kutularının yetersizliği ya da aşırı dolması konularında sorumlu oldukları gibi ayrıca atıkların toplanması hususunda kamuoyuna bilgi verme sorumluluğundadırlar. Belediyeler kamuoyunun sağlığı, yaşanılan çevrenin korunması adına en doğru ve verimli atık yönetimi modelini tespit ederek uygulamak zorundadırlar.

2.5.1. Belediyelerde Kaynağından Ayrı Toplama

Atıkların kaynağında azaltılması/önlenmesi atık yönetim hiyerarşisinin ilk basamağında yer alan bir adımdır. Atığın ortaya çıkma potansiyelinin olduğu noktada oluşumunu sadece kirlilik düzeyinde değil de öncelikle geri kazanımı mümkün olsa bile oluşmamasını sağlamak öncelikli hedeftir. Bu günlük yaşantımızda ürünlerin/malzemelerin daha uzun süreli kullanımına özen göstermek, kullan at ürünlerin kullanımını mümkün olduğunca azaltmak gibi eylemlerle bireylerin akıllı tüketici-akıllı toplum-akıllı vatandaş ilkesinden yola çıkarak atık üretimi konusunda bilinçli bir yaklaşım sergilemesi ile mümkün olabilecektir.

Atık azaltımı konusunda bilinçli davranış sadece hanelerde yaşayan bireyler bazında ele alınmamalı bugün dünyada ve ülkemizde katı atıkların yüksek oranda oluşum kaynağı olan büyük-orta-küçük işletmeler bazında da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım işletmelerin kurumsal kimliklerinin bir parçası haline gelmeli, üretimde daha az atık oluşumu hedef alınarak iş akışları bu doğrultuda yenilenmelidir.

“Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) atıkların kaynağında azaltımını, üretilen, tasarlanan, satın alınan veya kullanılan materyallerin katı atık bertaraf tesislerine ulaşmadan zehirliliğinin veya miktarının azaltılması olarak tanımlamıştır” [Kaya, 2013]. Bu tanımdan yola çıkarak atığın kaynağında azaltılmasında sorumlu aktörler tüketiciler olduğu kadar üreticiler de yüksek sorumluluğa sahiptir. Dolayısı ile üreticilerin daha uzun ömürlü ve gerektiğinde az ambalaj malzemesi ile piyasaya ürün sürmeleri ne derece önemli ise, tüketicilerin de ürün satın alımında bu hususa dikkat etmeleri o derece önemlidir.

Atığın çöp depolama alanına ya da geri dönüşüm tesisine gitmeden kaynağında azaltılmasının sağlanmasının bir diğer yolu da kaynağında yeniden kullanımdır. Tüketiciler ya da üreticiler yeniden kullanımı mümkün olan atıkları uzaklaştırmadan kendi içlerinde çoğu zaman her hangi bir fiziksel veya kimyasal işleme gerek kalmadan yeniden kullanımını sağlayabilirler. Bu sayede uzaklaştırılacak olan atık miktarı büyük ölçekte bakıldığında önemli oranda azalacağı net bir şekilde söylenebilecektir. Bu durumun üreticiler ayağında da ülkenin atık ekonomisi ayağında da ciddi katkıları olacaktır.

2.5.2. Atık Toplama Grupları

Kentsel katı atıkların doğru bir şekilde yönetilebilmesi için öncelikle atık türlerinin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Atıklar türlerine göre doğru ayrıştırıldığında ve toplandığında doğru ve etkili bir şekilde yönetilebilirler. Atıkların yönetiminde öncelikle gruplara ayırmak ve atıkları gruplar bazında toplayarak yönetmek esastır. Genel olarak ülkemizde ve dünyada üretilen atık türlerini toplama gruplarına göre şu şekilde sıralayabiliriz.

2.5.2.1. Ambalaj Atıkları

“Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği’nde yer alan tanımlamalara göre Ambalaj; Hammaddeden işlenmiş ürüne kadar, bir ürünün üreticiden tüketiciye, kullanıcıya ulaştırılması aşamasında taşınması, korunması, saklanması ve satışa sunulması için kullanılan herhangi bir malzemeden yapılmış iadesi olmayanlar dahil Yönetmeliğin Ek-1’inde yer alan kriterler çerçevesindeki tüm ürünleri kapsamaktadır [ResGaz 15, 2017].

Ek-1’de yer alan kriterler ise şu şekildedir:

-Satış yerlerinde doldurulmak üzere tasarlanan ve bu şekilde kullanılan ürünler ve satış yerlerinde satılan, doldurulan ya da doldurulması tasarlanan ve bu şekilde kullanılan tek kullanımlık ürünler, ambalaj amacıyla kullanılma şartıyla ambalaj olarak kabul edilebilmektedir.

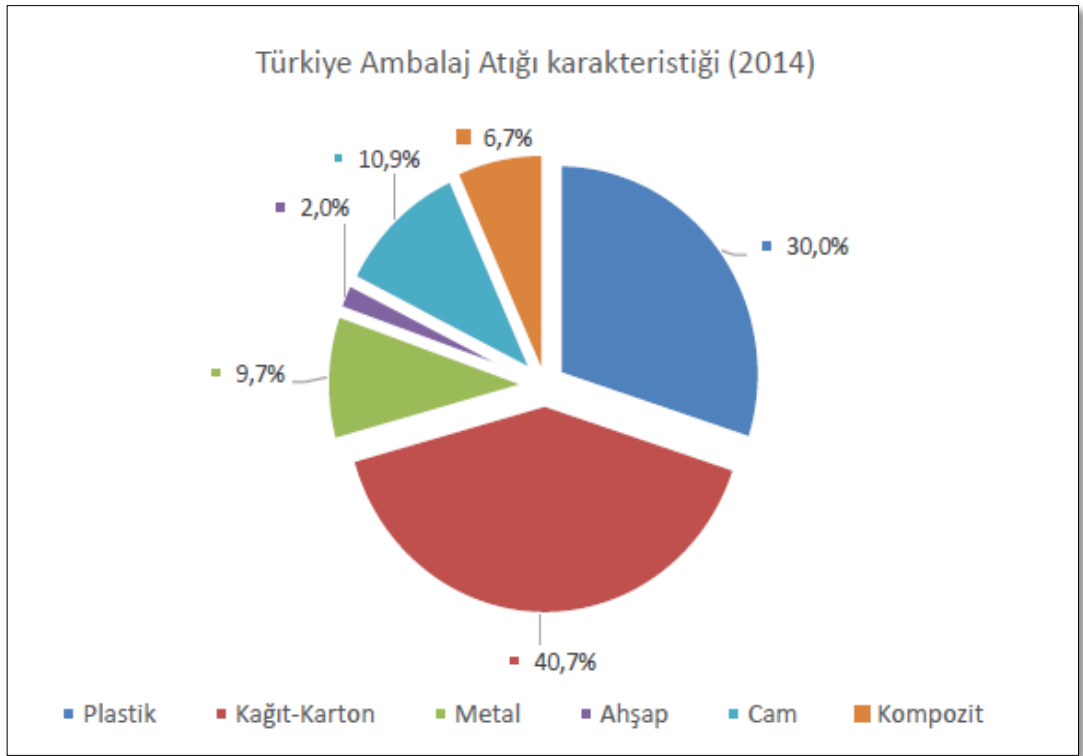
-Ambalaj bileşenleri ve ambalajda bulunan destekleyici, yardımcı parçalar bütünsel oldukları ambalajın parçası kabul edilir. Bu ürüne doğrudan asılan ya da takılan ve ambalaj görevi gören bu parçalar o ürünün ayrılmaz bir parçası olmamaktadır. O ürün ile birlikte kullanılarak, tüketilip, bertaraf edilmedikçe ambalaj kabul edilebilmektedir.

Ambalaj atıkları ülkemizde katı atıklar içinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu atıkların yarattığı çevre kirliliğinin azaltılması ve bunların yeniden ekonomik değer haline getirilebilmeleri için ambalaj atıklarının yönetimi önemli bir süreçtir. Bu konuda gerekli hukuki ve teknik düzenlemeler 1991’den bu yana çıkarılan ve son olarak 2017 yılında düzenlenen “Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği” ile belirlenmiştir. Ambalaj ve ambalaj atığının yönetmelik düzenlemesi ile yönetilmesi süreçlerinde, paydaşlar sanayiciler, organize sanayi bölgeleri, satış noktaları, lisanslı işletmeler, belediyeler ve ambalaj atığı üreticileridir.

Yönetmeliğe göre ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanmasının yönetiminden belediyeler sorumludur. Ayrıca belediyelerin yansıra, ambalajı üreten, ürünlerini ambalajlı olarak piyasaya süren ve ambalaj atığının oluşumuna neden olan tüm paydaşlara yönetmelik ile ayrı ayrı sorumluluk ve yükümlülükler verilmiştir. Piyasaya sürenler, belirlenen hedefler doğrultusunda ambalaj atıklarının toplanmasından ve geri kazanımından sorumludur. Kirleten öder prensibi gereği

ürettikleri ambalaj atıklarının yönetimindeki tüm süreçlerde gerekli olan tüm maliyetleri karşılamakla yükümlüdürler. Piyasaya sürenler yönetmelikte belirtilen söz konusu sorumluluklarını yerine getirmek amacıyla Yetkilendirilmiş Kuruluş (YK) tüzel yapısını oluşturabilmekte ya da bir Yetkilendirilmiş Kuruluş ile anlaşarak tüm süreçlerini yönetebilmektedirler [Ambalaj Atıkları Yönetmeliği, 2017].

Belediyelerin birçoğu kaynağında ayrı toplama verimini artırmak amacıyla okullar başta olmak üzere haneler ve iş yerlerinde çevre eğitimleri vermektedir. Ülkemiz genelinde en yaygın toplama yöntemi % 58 ile kapıdan kapıya (poşet ve kutu), % 33 ile konteyner ve % 9 ile getirme merkezi ile toplamadır. Belediyelerden toplanan ambalaj atığı karakteristiğinin 16 yüzdesel dağılımı Şekil 2.5'te verilmiştir. Karakterizasyon sonuçlarına göre ambalaj atıklarından kâğıt-karton, % 40.7 ile en yüksek orana sahip ambalaj atığı türüdür.



Şekil 2.5: Türkiye’de ambalaj atığı karakteristiği.

2.5.2.2. Evsel Atıklar

Evsel Atıklar, Atık Yönetim Yönetmeliği’nin Ek-4’ünün 20. Bölümünde, tehlikesiz olarak sınıflandırılan ve evlerden kaynaklanan atıklar ya da içerik yada

yapısal olarak benzer olan atıklar olarak tanımlanmaktadır. Evsel atık tanımına tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar, harfiyat toprağı, inşaat-yıkıntı atıkları ve özel atıklar dahil değildir. 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi ve 5393 sayılı Belediye Kanunlarına göre; evsel nitelikli atıkların kaynağında toplanması ve aktarma istasyonlarına ya da bertaraf sahalarına kadar taşınması Büyükşehir dışındaki belediyeler tarafından yürütülmektedir. Atıkların toplanması ve taşınması Belediyeler ya da belediyelerin yetki verdiği sorumlu özel firmalar tarafından yapılmaktadır.

2.5.2.3. Tıbbi Atıklar

Tıbbi Atıkların yönetimi ile ilgili esaslar ülkemizde 25.01.2017 tarihli ve 29959 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğı” ile yürütülmektedir. Bu yönetmelik hastanelerde, sağlıkla ilgili genel ve araştırma laboratuvarlarında oluşan tüm tıbbi nitelikte atıklar ile bu atıkların üretildikleri yerlerde ayrı toplanması, geçici depolanması, taşınması ile bertaraf edilmesine ilişkin esasları kapsamaktadır.

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğı’ne göre tıbbi atıklar, enfeksiyon yapıcı atıkları, patolojik atıkları ve kesici-delici atıkları, kapsamaktadır.

Bu atıklar;

-Enfeksiyon yapıcı atık: Enfeksiyon yapıcı etkenleri taşıdığı bilinen veya taşınması muhtemel başta kan ve kan ürünleri olmak üzere her türlü vücut sıvısı, insan dokuları, anatomik parçaları, organları, otopsi materyali, fetus ve plasenta, diğer patolojik materyali, bu tür materyal ile bulaşmış eldiven, çarşaf, örtü, bandaj, flaster, tamponlar, eküvyon ve benzeri atıkları, karantina altındaki hastaların vücut çıkartıları olmaktadır. Bunun yanında virüs ve bakteri tutucu hava filtrelerini, enfeksiyon yapıcı ajanların laboratuvar kültürlerini ve kültür stoklarını, enfekte hayvanlara ve çıktıklarına temas etmiş her türlü malzemeyi, veterinerlik hizmetlerinden kaynaklanan atıkları da kapsamaktadır.

-Patolojik atık: Cerrahi girişim, anatomi, otopsi veya patoloji çalışması sonucu ortaya çıkan dokuları, organları, vücut parçalarını, vücut sıvıları ve fetus bu atık grubundadır.

-Kesici-Delici atık: Enjektör ve diğer tüm tıbbi girişim iğneleri, lanset, kapiller tüp, bisturi, bıçak, serum seti iğnesi, cerrahi sütür iğneleri, intraket, biyopsi

iğneleri, kırık cam, lam-lamel, ampul, kırılmış cam tüp ve petri kapları gibi batma, delme, sıyrık ve yaralanmalara neden olabilecek atıklardır [ResGaz 13, 2017].

İlgili yönetmelik gereği üreticilerin kaynağında ayrı toplaması ve geçici depolaması sorumluluğu bulunmaktadır. Belediyelerin ise, tıbbi atıkları geçici depolarından alarak toplaması, taşınması, sterilizasyon ve bertaraf işlemlerine tabi tutma sorumluluğu bulunmaktadır.

2.5.2.4. Tehlikeli Atıklar

Tehlikeli atıklar; bileşiminde insan sağlığı ve çevre için tehlikeli olan ve zararlılık potansiyeli taşıyan maddeleri içeren, maden ve petrol üretiminden, tarımdan, endüstriden, evsel faaliyetlerden, arıtılmış veya arıtılmamış çamurlardan kaynaklanan atıklardır. Tehlikeli atık, kanserojen, toksik, patlayıcı, tutuşabilen, korozif, tahriş edici vb. özelliklerinden dolayı insan sağlığı ve çevre bakımından risk teşkil eder.

Bir atığın tehlikeli olup olmadığına karar vermede esas alınan ölçütler:

- Atığın bileşimi,
- Atık içindeki bileşenlerin miktarları,
- Atık içindeki bileşenlerin kimyasal reaktifleri,
- Atığın fiziksel durumu,
- Atığın çevredeki etkileri ve kalıcılığı

şeklinde özetlenebilir. Tehlikeli atık olduğuna karar verilen atıkların bertaraf veya geri kazanım aşamasında taşıma ve işleme prosesleri Çevre Şehircilik Bakanlığı tarafından lisans verilmiş tesislerce yürütülmektedir.

2.5.2.5. Madeni Atık Yağlar

Atık motor yağı ve atık sanayi yağı olmak üzere iki gruba ayrılan madeni atık yağlar, 26952 sayılı ve 30.07.2008 tarihli Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği” esasları dikkate alınarak yönetilmektedir [ResGaz 8, 2008].

Yönetmeliğe göre atık yağ, kullanılmış benzinli motor, dizel motor, şanzıman ve diferansiyel, transmisyon, gres ve diğer özel taşıt yağları ile hidrolik sistem, türbin ve kompresör, kızak, açık-kapalı dişli, sirkülasyon, metal çekme, metal kesme ve işlem, ısıl işlem, ısı transfer, izolasyon ve koruyucu, izolasyon, trafo, kalıp, buhar silindir, pnömatik sistem koruyucu, tekstil, gıda ve ilaç endüstrisi, kâğıt makinesi, yatak ve diğer özel endüstriyel yağlar ve endüstriyel gresler, kullanılmış kalınlaştırıcı, koruyucu, temizleyici ve benzeri özel müstahzarlar ve kullanıma uygun olmayan yağ ürünlerini ifade etmektedir.

Atık sanayi yağı her türlü sanayi dalından kaynaklanan atık endüstriyel yağları ifade etmektedir. Atık motor yağı ise, belirli bir kullanım süresi sonucunda motorlu araçlardan kaynaklanan ve orijinal kullanım amacına uygun olmayan atık yağları ifade etmektedir.

Ülkemizde motor yağı üreticileri, üretici sorumluluğu kapsamında, ülkenin her yanından atık motor yağlarını toplayacak şekilde sistem kurmak ve bu sistemi etkin olarak çalıştırmakla yükümlüdür. Atık motor yağları, motor yağı üreticileri veya bunların yetkilendirilmiş kuruluşları tarafından toplanır. Atık motor yağının toplanması, taşınması, geri kazanımı ve bertarafından sorumlu yetkilendirilmiş kuruluş Petrol Sanayi Derneği (PETDER)'dir.

2.5.2.6. Bitkisel Atık Yağlar

Kullanım ömrü dolmuş ve kullanılmış kızartmalık yağları kapsamaktadır. Ülkemizde bitkisel atık yağların yönetim esasları Bakanlık tarafından hazırlanan ve 19 Nisan 2005 tarih ve 25791 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği" ile belirlenmiştir.

Bitkisel yağların üretimi sırasında rafinerilerden çıkan bitkisel atık yağlardan; Soap-stock, tank dibi tortu ve yağlı toprak geri kazanımı ile asit yağ üretilmekte ve elde edilen asit yağ, ilgili kurum ve kuruluşların uygun görüşleri alınarak sabun, yem ve diğer ürünlerin (makine yağları vb.) üretiminde kullanılmaktadır. Mutfaklardan kaynaklanan kullanılmış kızartmalık yağların ise insan ve çevre sağlığı açısından taşıdığı riskler nedeni ile lisans almış tesislerde yaygın olarak biyodizel üretiminde kullanılarak geri kazanımı sağlanmaktadır.

2.5.2.7. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar

Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar (AEEE), büyük ev eşyaları, küçük ev aletleri, tüketici ekipmanlarını, bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları aydınlatma ekipmanları, elektrikli ve elektronik aletleri (büyük ve sabit sanayi aletleri hariç olmak üzere), oyuncakları, eğlence ve spor ekipmanlarını, tıbbi cihazları, izleme/kontrol aletlerini ve otomatları kapsamaktadır. AEEE’ler “Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği” 22.5.2012 tarih ve 28300 sayılı Yönetmeliği hükümlerince yönetilmektedir [ResGaz 11, 2012].

AEEE üreticileri atıkların toplanması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi amacıyla bir sistem kurmakla yükümlüdürler. Belediyeler ise, getirme merkezleri kurarak AEEE’leri ayrı toplamakla yükümlüdürler [ÇŞB, 2016]. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği’nde elektrikli ve elektronik eşyaların üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığının korunması amacıyla elektrikli ve elektronik eşyalarda bazı zararlı maddelerin kullanımının sınırlandırılması, bu sınırlandırmalardan muaf tutulacak uygulamaların belirlenmesi, elektrikli ve elektronik eşyaların ithalatının kontrol altına alınması, elektrikli ve elektronik atıkların oluşumunun ve bertaraf edilecek atık miktarının azaltılması için yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım yöntem ve hedeflerine ilişkin hukuki ve teknik esasları düzenlenmektedir. Elektrikli ve elektronik eşya üreticileri ithal veya imal yoluyla piyasaya sürdükleri elektrikli ve elektronik eşyalarda Kurşun (Pb), Krom (Cr6+), Civa (Hg), Polibromürlü bifeniller (PBB) ve Polibromürlü Difenil Eterler (PBDE) ile Kadmiyum’un (Cd) bulunmamasını sağlamakla yükümlüdürler.

2.5.2.8. Ömrünü Tamamlamış Lastikler ve Ömrünü Tamamlamış Araçlar

Ömrünü tamamlamış lastikler (ÖTL), faydalı ömrünü tamamladığı belirlenerek araçtan sökülen orijinal veya kaplanmış, bir daha araç üzerinde lastik olarak kullanılamayacak durumda olan ve üretim esnasında ortaya çıkan ıskarta lastikleri kapsamaktadır. Ömrünü tamamlamış bu lastiklerin geri kazanımı ve geri dönüşümü ekonomi ve çevre açısından oldukça önemlidir. ÖTL’ den kaynaklanan her türlü çevresel zararın giderilmesi için yapılan harcamalar, kirleten öder prensibine göre karşılanmaktadır [ResGaz 7, 2006].

Ömrünü tamamlamış araçlar (ÖTA) ekonomik değeri yüksek olan malzemelerden oluşmaktadır ve % 90 oranında yeniden kullanılabilmekte yada geri kazanılabilmektedir.

2.5.2.9. Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları

Yeni yapıların ve yolların inşaatında, eski yapıların restorasyonu veya onarımı gibi işlemler sonucunda ortaya çıkan atıklardır. Özellikle son yıllarda inşaat sektöründeki hızlı gelişmelere bakıldığında hafriyat toprağı ile inşaat/yıkıntı atıklarının karıştırılmadan kaynağında ayrı muhafaza edilmesinin sağlanması, geri kazanılması ve özellikle alt yapı malzemesi olarak yeniden değerlendirilmesi, sağlıklı bir geri kazanım ve bertaraf sisteminin oluşturulması için “seçici yıkım” yapılması esastır. Hafriyat ve inşaat yıkımı atıkları özellikle düzenli depolama sahalarında katkı ve örtü tabaka malzemesi olarak kullanılabilir [ResGaz 4, 2004].

2.5.2.10 Atık Pil ve Akümülatörler

Atık pil ve akümülatörlerin yönetimi, ülkemizde 31 Ağustos 2004 tarihli ve 25569 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliğı”nde belirtilen esaslar ile yönetilmektedir. İlgili yönetmelik hususunca, atık pil ve akümülatörlerin çevre ve insan sağlığına olan zararlarını en aza indirmek, evsel katı atıklarla karışmasını ve geri dönüşümü olmayan atık depolama alanlarına atılmasını engellemek ve geri kazanım veya nihai bertarafı için toplama sistemini kurmak ve atık yönetim planını oluşturmak amaçlanmıştır. Yönetmelik, atık pil ve akümülatörlerin belediye katı atık düzenli depolama alanlarında evsel atıklarla birlikte bertarafına izin vermemektedir. Belediyeler, atık pil depolama alanlarının kurulması için katı atık düzenli depolama alanlarında ücretsiz olarak yer tahsis etmekle, atık pil ve akümülatör toplama işlemlerine yardımcı olmak ve işbirliği yapmakla yetkili kılınmıştır [ResGaz 5, 2004].

Ülke genelinde toplanan atık piller ayrıştırma tesislerinde türlerine göre ayrıştırılmaktadır. Geri kazanımı mümkün olan Ni-Cd, Li-Iyon ve Ni-Mh piller geri kazanılmak üzere yurtdışına gönderilmektedir. Geri kazanımı mümkün olmayan atık

piller ise belediyelerin düzenli depolama sahalarında veya tehlikeli atık düzenli depolama sahalarında atık piller için dizayn edilmiş nihai depolama alanlarında bertaraf edilmektedir.

İlgili yönetmeliğin 2004 yılında yürürlüğe girmesinden sonra depozito sorumluluğu kapsamında akü üreticileri, atık akü geçici depolama alanları ve atık akü geri kazanım tesisleri tarafından atık aküler düzenli olarak toplanmaya başlanmıştır.

3. KATI ATIK BERTARAF YÖNETİMİ MODELLEMELERİ

Atık yönetim çalışmalarında verilecek en doğru bertaraf sisteminin seçimi kararı “Sistem Yapılandırma Modelleri’ için asli sorudur. “Sistem Değerlendirme Modelleri’ ise belirli senaryolar için kullanıldıklarından, nihayetinde ideal bir biçimde kurgulanmış bir “yapılandırma” modeline ihtiyaç duyacaklardır. İki seçeneğin birleştirildiği çalışmalara olan ihtiyacın temel motivasyonu da budur. Bu anlamda, “en uygun bertaraf sisteminin belirlenmesi” için kullanılacak bir “yapılandırma” modelinin ideal bir biçimde kurgulanması, aynı zamanda “değerlendirme” modelleri için karşılaşılan tüm belirsizlikleri de ortadan kaldırmaya yardımcı olabilecektir.

Sistem yapılandırma modellerinden biri olan optimizasyon uygulamaları, atık yönetim ve bertaraf sistemlerinin dizaynında karar vericilere yardım için yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Optimizasyon, belirli bir amaca yönelik olarak yapılandırılmış bir amaç fonksiyonu için en uygun sonucu veren bir modelden yardım alarak bir sistemin tasarımını ifade eder. Geçmişten günümüze kentsel katı atık sistemlerinin dizaynı için çok sayıda optimizasyon tipi kullanılmıştır. Bu optimizasyon modellerinin tümünü; doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, karma tamsayılı doğrusal programlama, çok amaçlı programlama, iki aşamalı programlama, stokastik programlama, bulanık programlama ve hibrit programlama şeklinde sınıflandırmak mümkündür [Tan vd., 2014].

Doğrusal optimizasyon modellerinin de içinde bulunduğu konveks optimizasyon uygulamalarında elde edilen yerel optimal nokta, aynı zamanda küresel optimal nokta, yani mutlak sonucu tanımlar [Bazaraa, 2006]. Doğrusal olmayan optimizasyonda ise birbirine yakın uygun sonuçlar arasından amaç fonksiyonunun minimizasyonu ya da maksimizasyonu anlamına gelen yerel optimizasyon noktaları üzerine odaklanıldığı için sonucun en uygun amaç fonksiyonu değeri olduğu garanti edilemez [Boyd, 2004]. Bu olumsuzluk doğrusal modeller ile ortadan kaldırılabiliirken, doğrusal modellerin tercih edilmesi pek çok belirsizliği de göz ardı etmek anlamına gelebilir [Boyd, 2004].

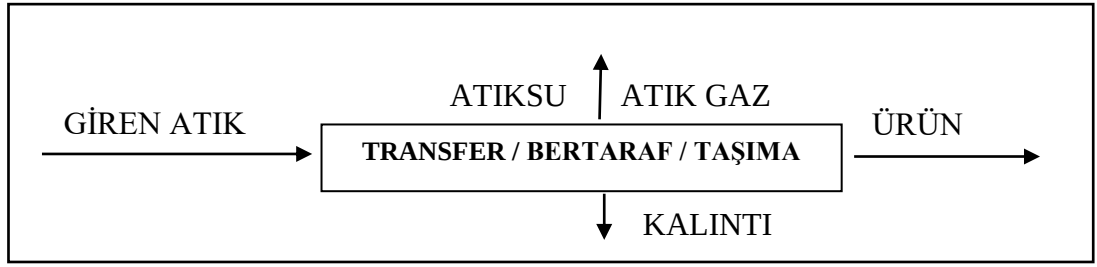
Son yıllarda üzerinde en çok durulan doğrusal programlama yaklaşımlarının karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) yaklaşımları olduğu söylenebilir. Öte yandan konvansiyonel MILP uygulamaları, çok sayıda belirsizlik içeren ve bu

belirsizlikler arasındaki etkileşimlerin son derece karmaşık olduğu kentsel katı atık yöntem (sistem) seçimi problemlerinin gerçek hayattaki biçimlerine tam anlamıyla bir karşılık vermekte yetersizdir. MILP uygulamalarının bu eksikliklerine cevap bulmaya çalışan farklı yaklaşımlar geçmişte çok defa kullanılmıştır. Stokastik, bulanık ve aralık (interval) matematiksel programlama şeklinde 3 ana grup altında toplanabilecek belirsizlik giderme yaklaşımlarını 2016 yılında Y. Y. Zhai, G. H. Huang, Y. Zhou, X. Zhou ortaya koymuştur. Atık yönetiminde MILP yaklaşımı için kullanılan çalışmaların bazıları; belirsiz-karma tam sayılı doğrusal programlama 2003 yılında S. Cheng, C. W. Chan, G. H. Huang tarafından, iki aşamalı belirsiz-karma tam sayılı doğrusal programlama 2004 yılında I. Maqsood, G. H. Huang, G. Zeng tarafından, iki aşamalı stokastik programlama 2008 yılında Y. Li, G. Huang, Z. Yang, S. Nie ve 2016 yılında Y. Y. Zhai, G. H. Huang, Y. Zhou, X. Zhou tarafından, bulanık-stokastik-aralık doğrusal programlama 2011 yılında P. Li, B. Chen ve 2012 yılında S. Wang, G. H. Huang, B. T. Yang tarafından tatbik edilmiştir. MILP uygulamalarını içeren diğer karışım tatbikleri de birçok kez yapılmıştır [Li et al., 2007], [Nie et al., 2007], [Guo et al., 2008], [Guo and Huang, 2009], [He et al., 2009], [Jing et al., 2009], [Lu et al., 2009], [Guo and Huang, 2010], [Li and Huang, 2010], [Tan vd., 2010], [Xi et al., 2010], [Xu et al., 2010], [Zhu and Huang, 2011], [Srivastava and Neva, 2012], [Chang et al., 2013], [Santibañez-Aguilar et al., 2013], [Tan vd., 2014], [ThiKimOanh et al., 2015], [Korucu, 2015], [Zhai et al., 2016], [Harjani et al., 2017].

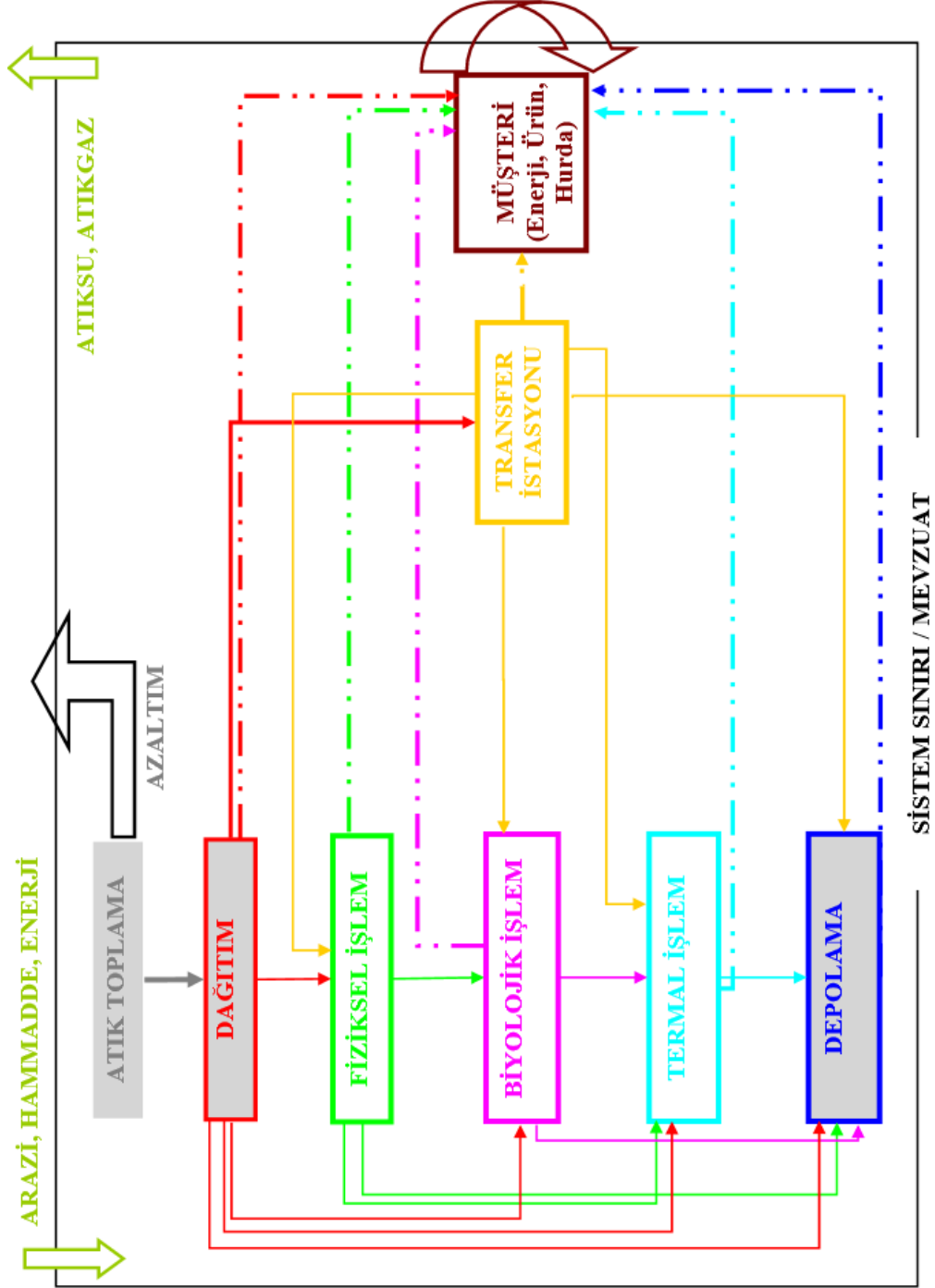
2017 yılında S. Cobo, A. Dominguez-Ramos, A. Irabien tarafından yapılan çalışmaya göre EKAY çalışmalarında kullanılan optimizasyon uygulamalarında sonucun içerdiği belirsizliklerin ölçülmesinde kullanılan metodolojileri iki sınıfa ayırmak mümkündür. İlk sınıftaki seçeneklerde, giriş parametreleri ya da yapılan kabullerin değişiminin optimal çözüm üzerindeki etkisini görmek için amaç fonksiyonunun optimizasyonundan sonra bir hassasiyet analizi yapılmaktadır. İkinci sınıfta ise belirsizlik, optimizasyon modelinin içine başka bir metodoloji yerleştirilerek ölçülür. Yukarıda sözü edilen MILP yaklaşımlarının her biri de belirsizlikler sorununun çözümü için bu iki sınıftaki çeşitli uygulamaları kullanmıştır. Öte yandan, 2015 yılında M. K. Korucu'nun yaptığı çalışmaya göre, yukarıda sözü edilen tüm çalışmaların hemen hepsinin kütle akış dengeleri tek tek incelendiğinde, birden fazla farklı karakterde atık akımı girişi olan ve muamele ettiği atık kütlelerini başka bir yöntemle gönderen herhangi bir yöntem seçeneğinin mevcut

olmaması oldukça dikkat çekicidir. Sözü edilen türden bir seçeneğe sahip olan az sayıda çalışma ise ya mevcut bir tesis için çalıştırıldığından bir prosesi yapıp yapmama problemine (yöntem seçimi problemi) sahip değildir, ya da söz konusu sorunu aşmak için bazı senaryo yaklaşımları kullanarak pek çok farklı karar olasılığını dışarıda bırakmak zorunda kalmıştır. Oysa en ideal karar verme yapısı, olası tüm sistem alternatiflerini dikkate alacak şekilde yapılandırılmak zorundadır. Bu anlamda gerçek hayattaki atık yönetim biçimleri açısından birden fazla atık girişi mümkün olabilen fiziksel işlem, biyolojik işlem ve ısı işlem gibi proseslerin çıkışındaki atık kompozisyonunun yani çıkış kütlelerinin, bir bütün halinde hareket eden “bütüncül atık kütlesi” açısından doğrusal programlama ile nasıl çözülebildiği halen önemli bir soru işaretidir.

Sözü edilen bu problemin daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de, bir kentsel atık kütlelerinin yönetilmesi sırasında ortaya çıkabilecek, bilinen tüm yönetim, bertaraf ve transfer seçenekleri bir arada gösterilmiştir. Şekil 3.1’den görülebileceği üzere temelde, herhangi bir atık yönetimi sürecinde, sürece giren kütlelerin atık suya, atık gaza, ürüne ve kalıntıya dönüşeceği söylenebilir. Şekil 3.2’de görülebileceği üzere, bir başka noktaya kalıntı gönderme olasılığı bakımından, atığın toplanması ve transfer edilmesi süreçleri dışındaki tüm süreçler (fiziksel işlem, biyolojik işlem, termal işlem, depolama) birden fazla giriş akımına sahiptirler. İkili toplama gibi, birden farklı atık akımlarının toplandığı süreçler tercih edildiğinde ise toplama (dağıtım) ve transfer işlemleri için de aynı durum geçerli olacaktır. Mevcut bilgilerimize göre, sözü edilen bu problem, yani “çıkış kütlelerinin doğrusal programlama ile belirlenememesi” problemi, ilk olarak 2002 yılında E. Solano, S. R. Ranjithan, M. A. Barlaz, E. D. Brill ve R. D. Dumas tarafından "yapay kütle akış bölümleri" şeklinde tanımlanmış ve bir çözüm önerisi getirilmiştir. Öte yandan sözü edilen çözüm önerisi incelendiğinde kullandıkları matematiksel modelin proseslerin inşaa maliyetlerini içermediği görülecektir. Bu anlamda söz konusu model en etkin alternatif sistem sorusuna bir cevap veremez çünkü model birkaç alternatif (ya da mevcut tesis) arasından en uygununu seçmek üzerine kurulmak zorundadır. Dolayısıyla bu modelin, sistem olasılıklarının tümü arasından en uygunu için bir seçim yapması beklenemez.



Şekil 3.1: Transfer, bertaraf işlemleri ve taşıma süreçleri için genel kütle dengesi.



Şekil 3.2: Mevcut atık yönetimi çalışmaları için geçerli olabilecek tüm olasılıkların şematik gösterimi.

Benzer biçimde, yukarıda sözü edilen doğrusal modelleme probleminin üstesinden gelmeye çalışan en güncel çalışmanın 2013 yılında J. W. Levis, M. A. Barlaz, J. F. De Carolis, S. R. Ranjithan tarafından yapılan olduğu söylenebilir. Bu çalışmada araştırmacılar, kullandıkları yeni model yapısının temel gerekçesi olarak yukarıda sözünü ettiğimiz “çıkış kütlelerinin doğrusal programlama ile belirlenebilmesi” olduğunu son derece açık bir şekilde ifade etmiştir. Bu çalışmada elde edilen ve Solid Waste Optimization Life-Cycle Framework (SWOLF) olarak adlandırılan optimizasyon şablonu pek çok çalışmada kullanılmıştır [Levis et al., 2014], [Hodge et al., 2016], [Martinez-Sanchez et al., 2017], [Stanisavljevic et al., 2017]. Öte yandan bu şablonun da temel problemi; mevcut ve gelecekteki atık yönetimi uygulamaları için geçerli olabilecek pek çok sistem olasılığını, tam da yukarıda sözünü ettiğimiz doğrusallık kısıtlaması nedeniyle devre dışı bırakmak zorunda olmasıdır. Örneğin söz konusu modelde, ikili toplama sonucu elde edilen geri dönüştürülebilir ve biyobozunabilir atıklar bir termal işlem ya da depolama alanına alınabilmesi öncesinde mutlaka bir biyolojik arıtmaya ya da materyal geri dönüşüm tesisine gitmek zorundadır. Oysa sözü edilen bu tip atıkların, toplanan içeriğin heterojen potansiyeli nedeniyle doğrudan fiziksel (ya da mekanik biyolojik), biyolojik, termal işlem ya da depolama alanlarına alındığı pek çok farklı uygulama olasılığı mevcuttur.

2015 yılında M. K. Korucu ise sözü edilen bu farklı yapıdaki atıkların çoklu girişi sorununu “bölünmüş prosesler” ismini verdiği bir yaklaşımla çözmeye çalışmış ve bulgularını paylaşmıştır [Korucu vd., 2014], [Korucu vd., 2017]. Buna göre bir atık kütlesi içerisindeki bileşen türlerinin başka bir noktaya taşınırken yaptığı hareketi iki şekilde modellemek mümkündür. İlk seçenek olan parçalı hareket biçiminde; atık kütlesi içerisindeki herhangi bir bileşenin taşınan miktarının diğer bileşenlerden bağımsız olduğu kabul edilir. Bu tür bir modelleme çalışmasında tüm atık bileşen türleri diğerlerinden bağımsız olarak hareket eder. Bir başka ifadeyle modelin her noktasındaki atık kompozisyonunun tüm bileşenlerinin tamamen birbirinden ayrılmış olduğu varsayımından hareket edilir. Böyle bir hareket biçimi gerçek dünyada ise mümkün değildir. Gerçekteki atık hareketi, tüm bileşen türlerinin bir arada hareket ettiği “bütüncül” bir hareket biçimini yansıtır. Buna göre örneğin bir transfer istasyonundan ısıtma işlem tesisine götürülmek istenen 1 ton $i=3$ bileşen türündeki atığın, atığın tüm kütlesine herhangi bir ayrıştırma işlemi yapılmadan tüm kütleden ayrılması imkânsızdır. Bunun için söz konusu atık miktarı ile birlikte diğer

bileşen türlerinin belirli miktarlarının da yakma tesisine taşınması zorunludur. Atık kütlelerinin gerçekte olduğu gibi bütüncül olarak hareket ettirilebilmesinin modellenmesinde karşılaşılan en önemli sorun; bu türden bir problemin matematiksel olarak kuadratik bir yapıya izin verilmeden doğrusal olarak modellenememesidir. Yalnızca bir noktadan atık alan herhangi bir prosesten çıkan atık kompozisyonunun ne olacağı sadece proseste yapılan işleme bağlı olduğu için kolaylıkla modellenebilir. Öte yandan iki veya daha fazla noktadan, farklı bileşimlere sahip atıklar alan bir prosesin çıkışındaki atık kompozisyonunun ne olacağı yalnızca prosese değil prosese gelen atık akımlarındaki miktarlara da bağlıdır. Bu miktarlar optimizasyon modelinde zaten birer değişken olduklarından, bu değişkenlere bağlı olan başka bir değişkenin modele girilmesi kuadratik bir model yapısını ortaya çıkarmaktadır. Mevcut problemimizi doğrusal bir model aracılığı ile çözmek için ise bu kuadratik yapıdan kurtulmak gerekmektedir. Bunun için de konvansiyonel atık kütle dengesinde bazı değişikliklere ihtiyaç vardır. Temel olarak sistemin tümünde, çıkış kompozisyonu bilgisine ihtiyaç duyulan her işleme ve bertaraf yönteminin (bir başka ifadeyle modeldeki her düğümün) doğrusal olarak modellenebilmesi için yalnızca bir girişi olmak zorundadır. Birden fazla girişi olan ve bir başka prosese çıktı veren proseslerin parçalı biçimde düşünülmesi ile bu koşul yerine getirilir. Bundan sonra her prosesin çıkışlarındaki kompozisyonun ne olacağı kolayca modellenebilir [Korucu, 2015].

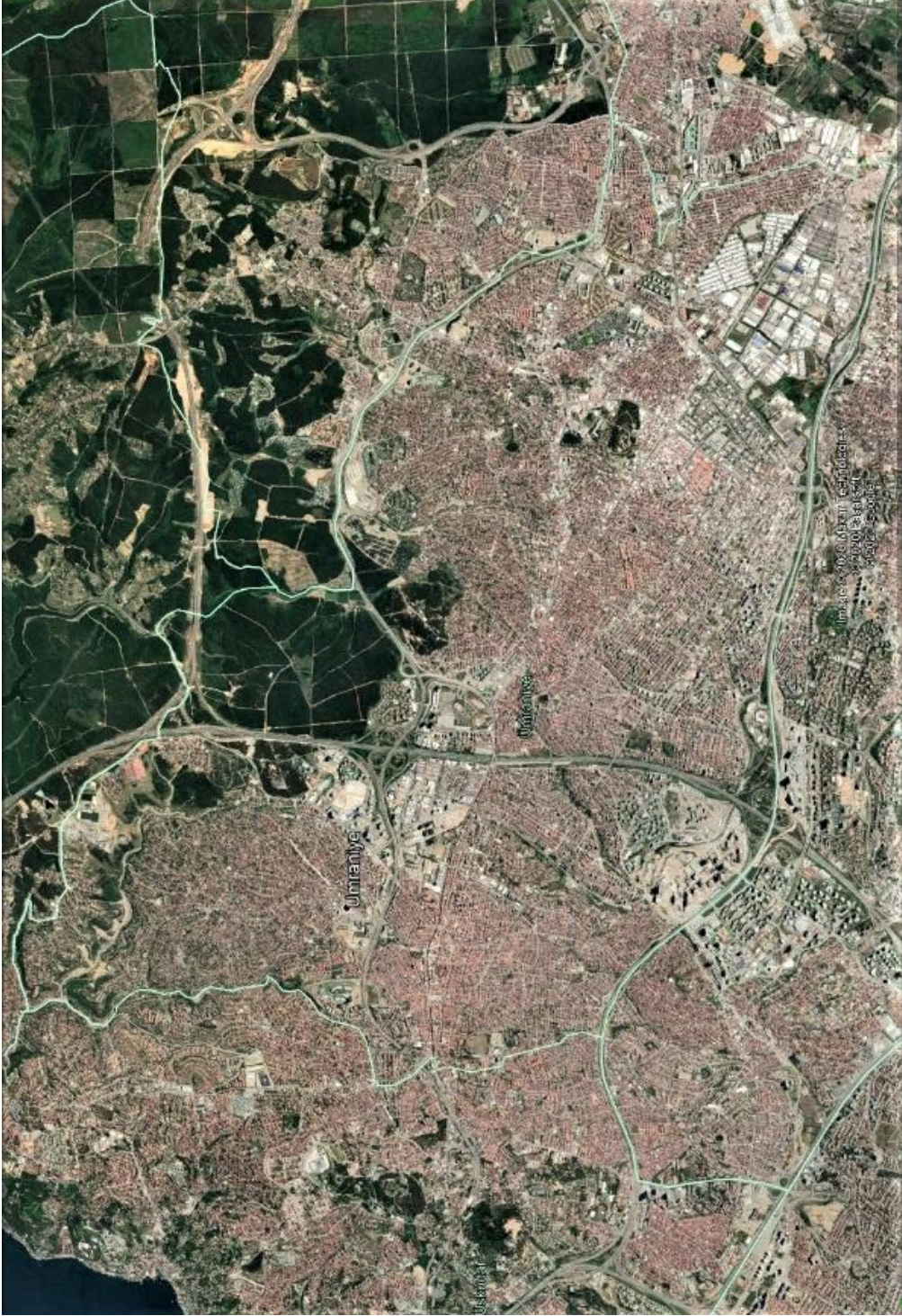
2015 yılında M. K. Korucu söz konusu çalışmasında, yukarıda sözünü ettiğimiz yeni model yaklaşımını sınırlı veri kaynağı nedeniyle tüm atık yönetimi olasılıkları için değil, sadeleştirilmiş bir sistem yapısında kullanmıştır. Modelde proses alternatifleri ve bu alternatiflerin kapasite alternatiflerinin değerlendirilmemiş olması ve ayrıca atık toplama, transfer, bertaraf ve müşteri bölgeleri için çoklu seçenekler yapılandırılmamış olması önemli birer sorundur. Bunun yanı sıra kullandığı model yapısı pek çok belirsizliği de bünyesinde barındırmaktadır.

Bu belirsizliklerin kaynaklarını; kullandığı nüfus ve atık projeksiyonları, atıkların olduğu kaynaklardan transfer istasyonlarına getirilmeleri için gereken taşıma giderlerinin ihmal edilmiş olması, atıkların herhangi bir noktadan başka bir yere taşınması ve diğer işlemler sırasında oluşan su muhtevası kayıpları ile biyobozunma sonucu oluşan gaz kaybı ve dolayısıyla kütle kaybı miktarlarının modele eklenmemiş olması, prosesler için yapılan verim tahminleri ve bu tahminlerin proje süresi boyunca sabit tutulması, arazi maliyetleri ve taşıma maliyetleri için

yapılan kabuller, elde edilen ürünlerin satış gelirleri için yapılan kabuller ve maliyet hesabında kullanılan Euro-TL paritesi belirsizliği gibi sabit tutulmuş değişkenler olarak göstermiştir.

4. ÜMRANIYE İLÇESİ KATI ATIK BERTARAF YÖNETİMİ MODELLEMESİ

Bu çalışmada kullanılan karma tam sayılı optimizasyon modelinin yapısı 2015 yılında M. K. Korucu tarafından önerilen ve 2014 ile 2017 yıllarında M. K. Korucu, A. Cihan, A. Alkan, I. Özbay, A. Karademir ve Z. Aladağ tarafından yapılan iki farklı çalışmada detaylıca sunulan model yapısının genişletilmiş ve yeniden dizayn edilmiş bir halidir. Şekil 4.1 içerisinde gösterilen Ümraniye İlçe'si için uygulanacak modelin oluşturulmasında kullanılan tüm veriler ÜB (Ümraniye Belediyesi) ve İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi) - İSTAÇ (İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.) işbirliği ile yürütülen ortak değerlendirmeler sonucunda belirlenmiştir. Aksi durumdaki verilerin kaynakları ise ilgili yerlerde belirtilmiştir.

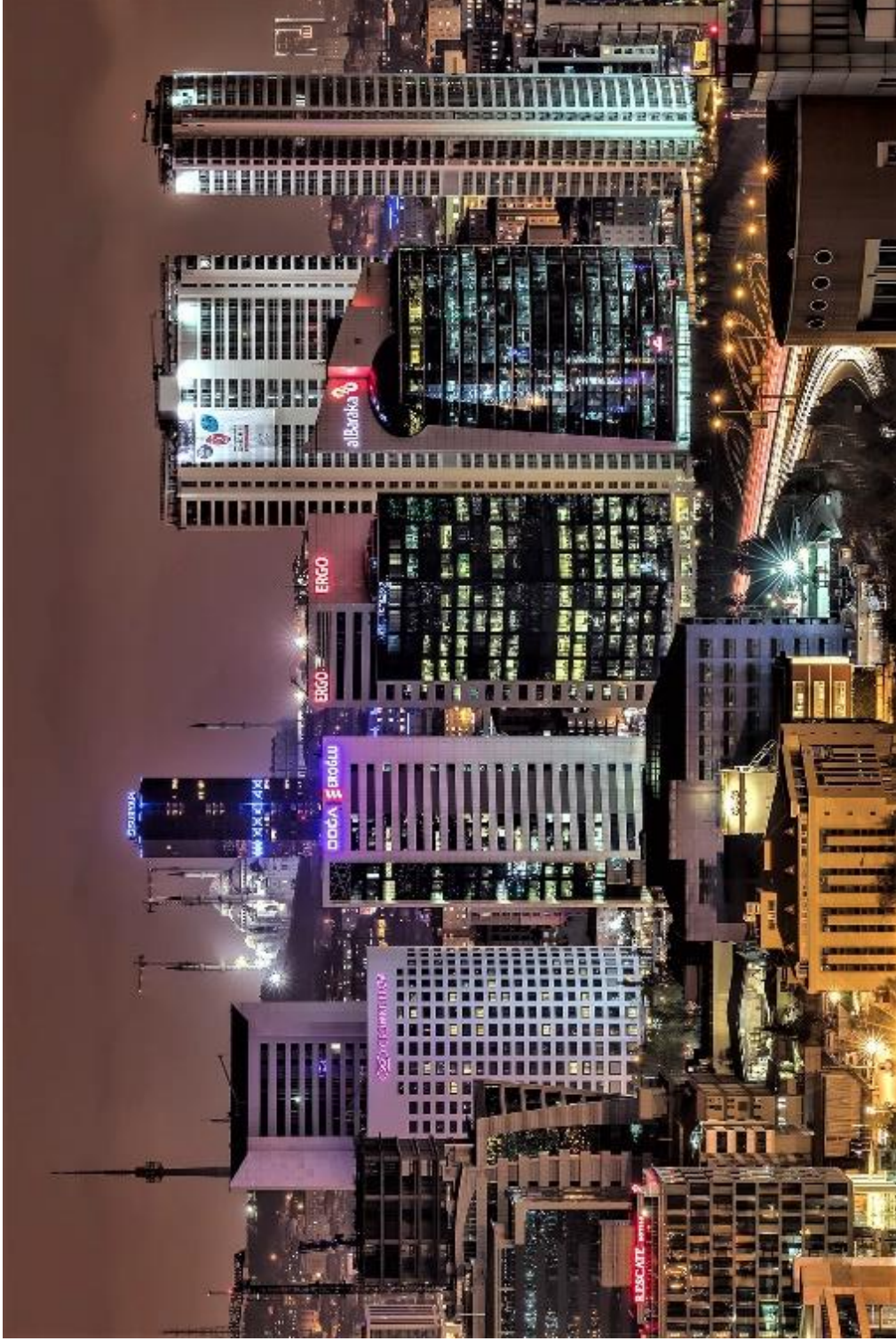


Şekil 4.1: Çalışma Alanı Ümraniye.

4.1. Modelin Genel Yapısı ve Kütle Dengesi

Bu çalışmada İstanbul'un Anadolu yakasındaki ekonomik ve kültürel alanda önemli çeşitlilik gösteren ve son sayıma göre nüfusu 710280 olan Ümraniye ilçesi örnek alınmıştır. Çalışmada Ümraniye ilçesinin 10 farklı bileşenden oluşan kentsel katı atıkları ($i = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10$), 2020-2045 yılları için ($y = 2020, \dots, 2045$), Hekimbaşı, Fatih Sultan Mehmet (FSM)-Çakmak ve Esenkent olarak adlandırılan Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4 içerisinde gösterilen 3 farklı atık yoğunlaşma bölgesi (A1, A2, A3)'ün merkezinde toplanmış olarak kabul edilecektir. Miktarları önceden belirlenecek olan bu atıklar, önceden belirlenmiş olan Şekil 4.5 ve 4.6 içerisinde gösterilen olası transfer istasyonlarından (S1, S2, S3) ve atık bertaraf bölgelerinden (D1, D2) hangisi veya hangilerinde ve hangi yöntem/yöntemler kullanarak bertaraf edilmeli sorusuna, yine önceden belirlenen Şekil 4.7 ve 4.8 içerisinde gösterilen olası müşteri bölgelerine (M1, M2) olan uzaklıklar da göz önüne alıp kazancın maksimizasyonu açısından cevap aranacaktır. Ümraniye için bu bölgeler Şekil 4.9 içerisindeki haritada, modelde kullanılacak olan kütle dengesinin şematik gösterimi ise Şekil 4.10 içerisinde sunulmuştur. Söz konusu atık kütlelerinin içerdiği 10 atık bileşeni ise şu şekildedir:

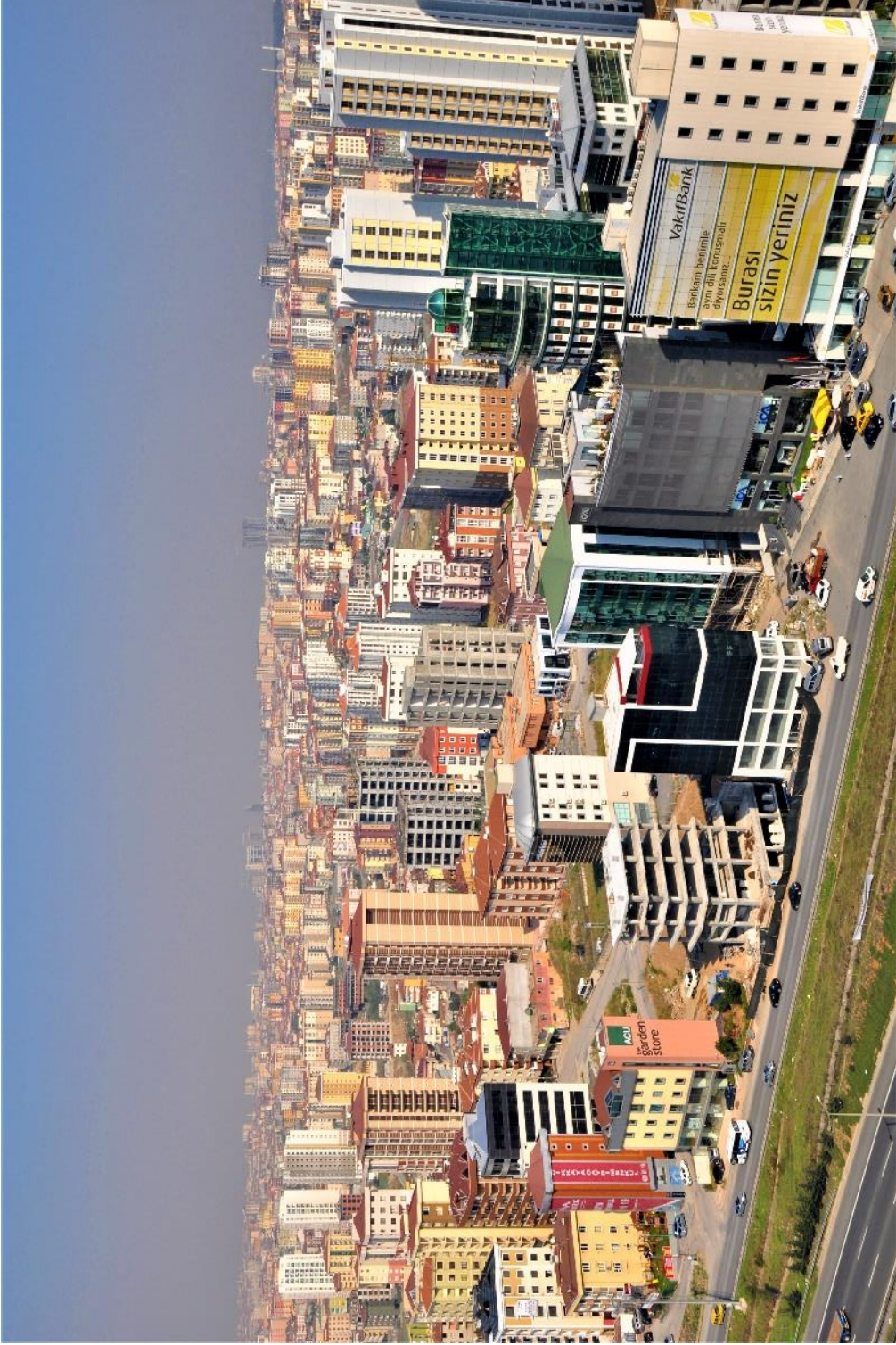
- i) i_1 : Plastik, Pet, Poşet.
- ii) i_2 : Cam.
- iii) i_3 : Metal.
- iv) i_4 : Kâğıt-Karton-Kompozit.
- v) i_5 : Mutfak ve Park-Bahçe Atıkları.
- vi) i_6 : Diğer Yanabilir Atıklar (Ağaç Malzeme, Tahta, Mobilya).
- vii) i_7 : Tekstil, Deri, Çocuk Bezi.
- viii) i_8 : Elektrik-Elektronik Ekipman Atıkları (EEEA).
- ix) i_9 : Diğer Yanamayanlar (İnert Madde, İnşaat Atığı, Kül, İri Yanamayan Atık ve Hurda).
- x) i_{10} : Evsel Nitelikli Tehlikeli Atıklar.



Şekil 4.2: A1 Yoğunlaşma bölgesi.



Şekil 4.3: A2 Yoğunlaşma bölgesi.



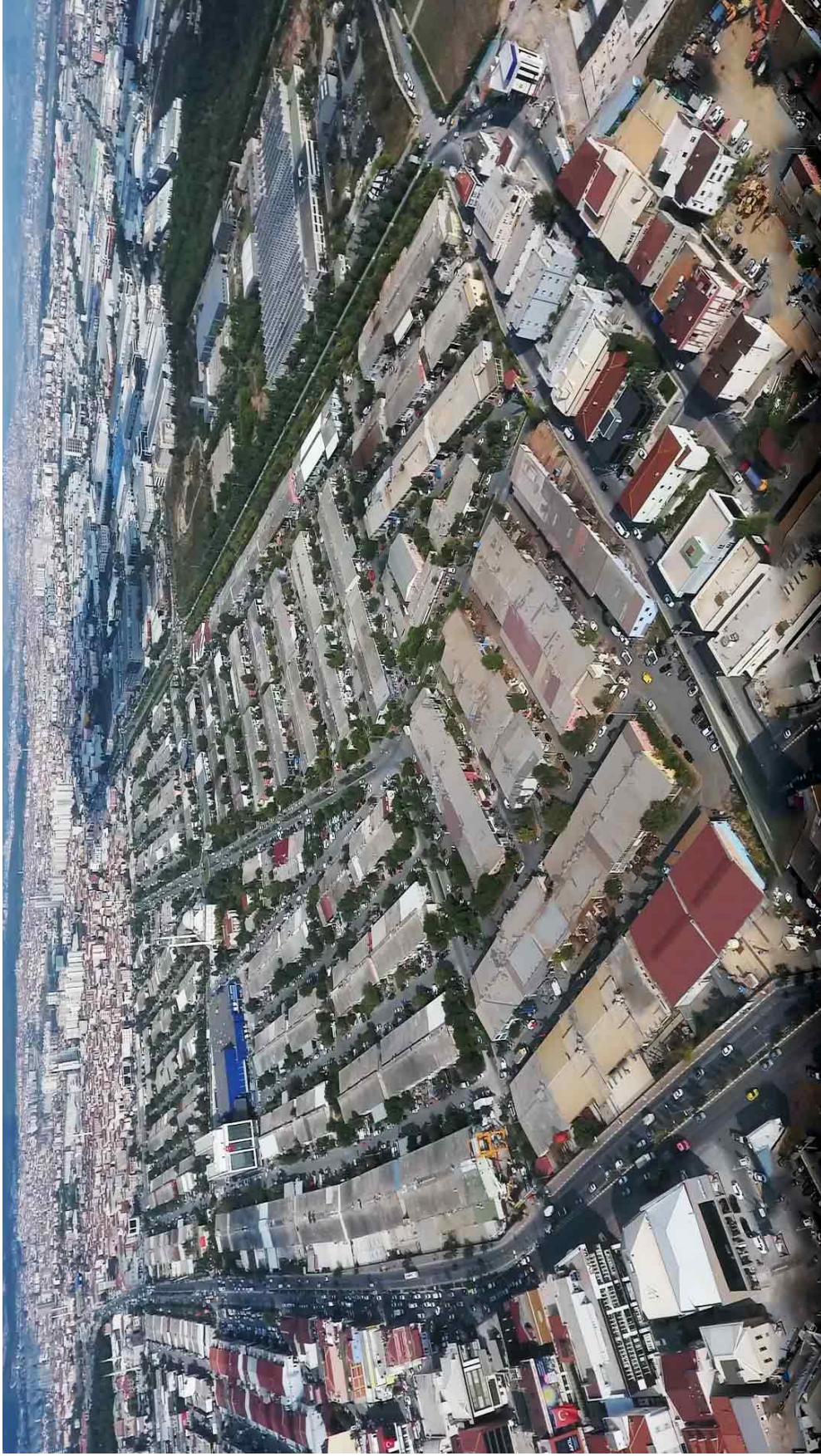
Şekil 4.4: A3 Yoğunlaşma bölgesi.



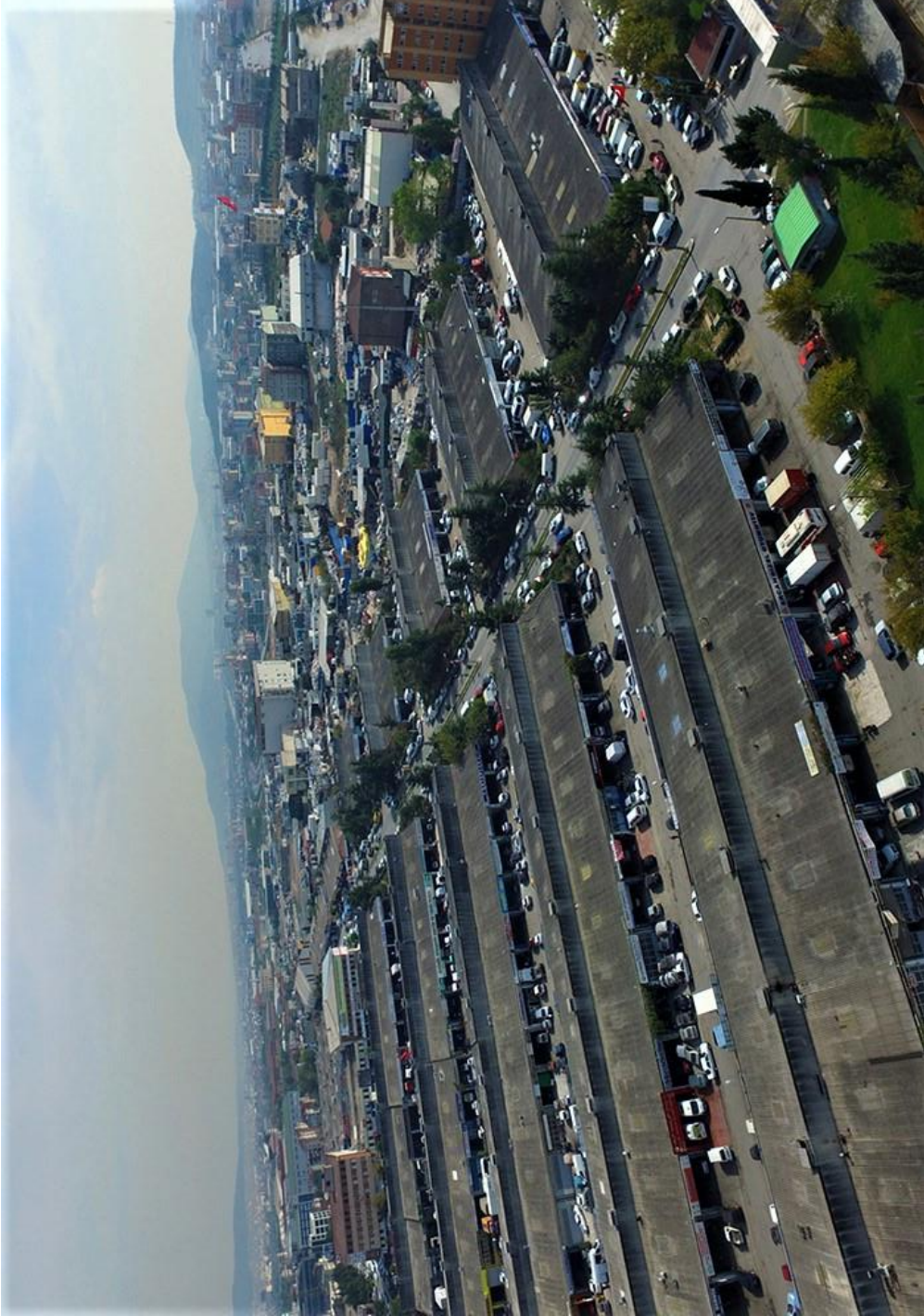
Şekil 4.5: S1 Transfer bölgesi.



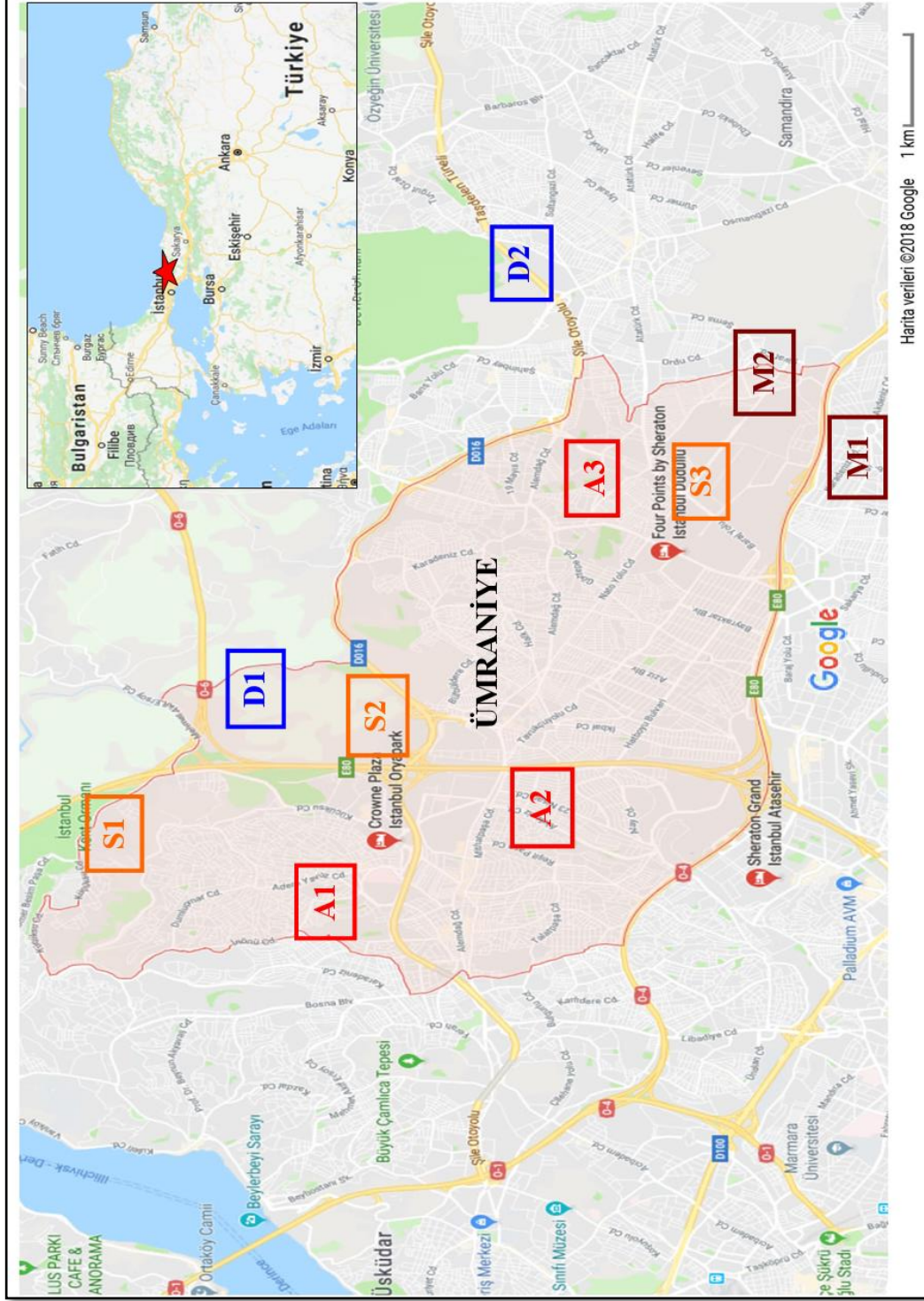
Şekil 4.6: S3 Transfer bölgesi.



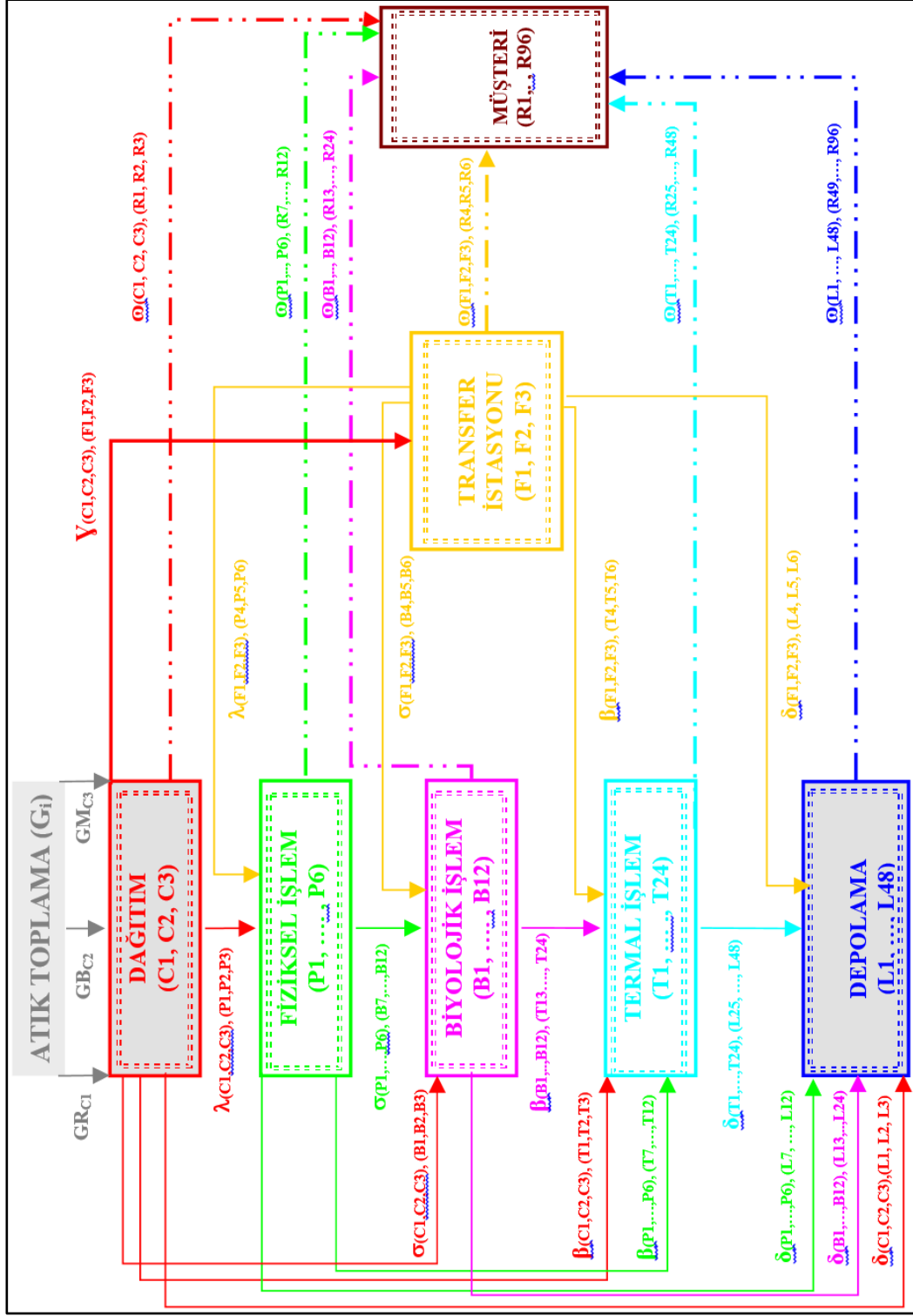
Şekil 4.7: M1 Müşteri bölgesi.



Şekil 4.8: M2 Müşteri bölgesi.



Şekil 4.9: Ümraniye bölgesi için modelde kullanılan bölgeleri gösteren harita.



Şekil 4.10: Model kütle dengesinin atık, ürün, kalıntı akımlarının şematik gösterimi.

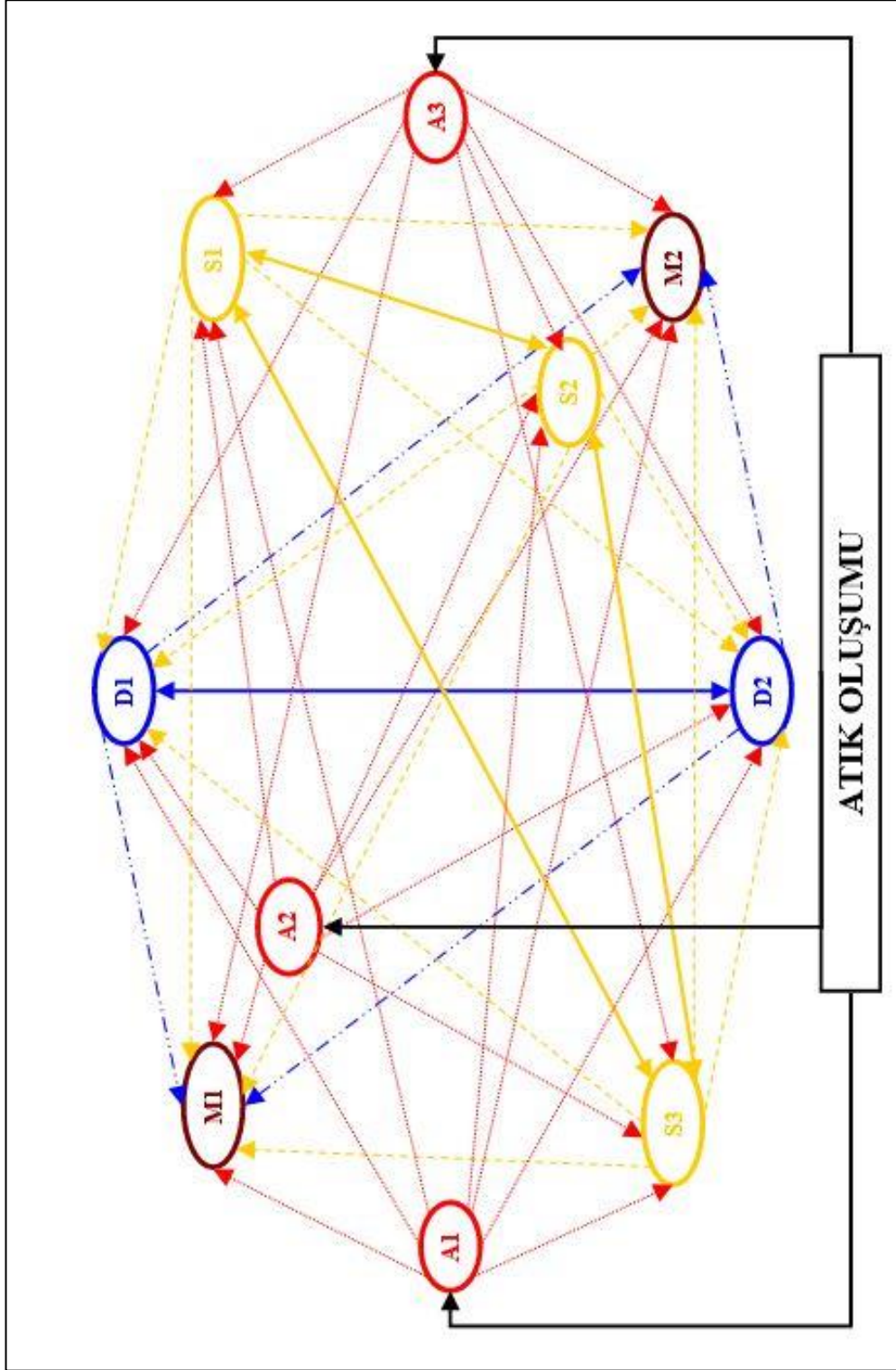
İdeal bir kentsel katı atık yönetimi (MSWM) uygulaması; proseslerin seçimi, prosesler için yer seçimi, proses kapasite genişletme stratejileri, atık kütlelerinin proseslere dağıtılması, alt bölgeler için atık toplama biçiminin belirlenmesi ve atıkların sistem içindeki taşınması gibi bir “altılı atık yönetimi problemi”ni aynı anda çözmeyi hedefler [Ghiani et al 2014], [ThiKimOanh et al., 2015]. Öte yandan bu ihtiyaçlar çoğu zaman aynı anda karşılanamamaktadır. Önceki bilgilerden de anlaşılacağı üzere bu çalışmanın konusu olan optimizasyon modeli ise, bu problemlerinin hepsine aynı anda cevap verebilme iddiasındadır. Bu çalışmanın temel hedeflerinden bir tanesi, tüm atık yönetimi olasılıklarını kapsayan bir optimizasyon modelini, ilerleyen zamanlarda olabildiğince genişletebilir bir biçimde yapılandırmaktır. Bu anlamda, modeldeki her proses, lokasyon, yöntem ve benzeri parametrenin en az iki farklı seçenek içerecek şekilde yapılandırılması düşünülmektedir. Buradaki temel motivasyon, seçenek sayısını olabildiğince büyük tutmak istemenin yanı sıra, ileride yapılacak farklı uygulamalar için de bu seçeneklerin arttırılabileceğini göstermektir. Söz gelimi modelde fiziksel işlem için 2 farklı yöntem olasılığı seçilerek, ileride oluşabilecek yeni yöntemlerin de bu seçenekler arasına eklenebileceği gösterilecektir.

Bu doğrultuda, gösterilen kütle dengesinin kullanımı için gerekli olan bazı genel bilgiler, Ümraniye örneği ile birlikte düşünülerek şu şekilde sunulabilir:

- Modelin çalıştırılabilmesi için, yoğunluk bölgesi olarak adlandıracağımız bölgelerde (A1, A2, A3) oluşacak atık miktarlarını ve bu miktar içindeki 10 farklı bileşenin miktarları ile birlikte modelde kullanılacak olan ısı değeri gibi atık parametreleri her yıl için ayrı ayrı tahmin edilmelidir.
- Modelde, 3 farklı bölgede oluşan atıkların, bölgelerin merkezinde toplanmış olduğu kabul edilecektir.
- Atıkların bu yoğunluk bölgelerinden nereye gideceğine (istasyon bölgesi ve/veya bertaraf bölgesi) model karar verecektir. Bunun için de tüm bölgeler arasındaki mesafenin bilinmesi gerekmektedir. Buna göre; yoğunluk bölgelerinin (A), transfer istasyonu bölgelerinin (S), bertaraf bölgelerinin (D) ve müşteri bölgelerinin (M) tümünün birbirlerine olan uzaklıkları bilinmek durumundadır. Ümraniye örneği için düşünülecek olursa, gösterilen 3 yoğunluk bölgesi, 3 transfer istasyonu bölgesi, 2 bertaraf bölgesi ve 2 müşteri bölgesi için modelde oluşabilecek tüm taşıma ve iletim alternatiflerinin şematik

gösterimi Şekil 4.11’de sunulmuştur. Mesafeler, ilerleyen bölümlerde sunulacaktır.

- İstasyon bölgelerine (S1, S2, S3) yalnızca transfer istasyonu (F) kurulabilir.
- Bertaraf alanlarına (D1, D2) ise fiziksel işlem (P), biyolojik işlem (B), termal işlem (T) ve depolama sahası (L) kurulabilir.
- Müşteri bölgeleri (M1, M2) taşıma ve iletim maliyetleri açısından önemli olup herhangi bir proses kurulmayacaktır.
- Modelin seçebileceği tüm işlemlerin (C, F, P, B, T ve L) en az 2 farklı yöntem alternatifi olarak modele girilmesi gerekecektir. Bu alternatiflerin de kendi içlerinde en az 2 farklı kapasite alternatifi olacak şekilde yapılandırılmasıyla, gelecekte oluşacak kapasite artırımını ya da teknolojik ilerleme gibi yeni ihtiyaçlara da cevap verilebilecektir.



Şekil 4.11: Ümraniye örneği için oluşan taşıma ve iletim olasılıkları.

4.1.1. Proseslerin Atık Kütlesine Etkisi

Model içindeki tüm işleme, bertaraf ya da taşıma süreçleri esnasında, ilgili sürece giren her katı atık kütlesi bir miktar atıksuya, bir miktar atıkgaza, bir miktar ürüne ve nihayetinde başka bir karar birimine gönderilmek üzere kalan bir kalıntıya dönüşür. Bu anlamda, proseslere gelen atık akımları içindeki alt atık bileşenlerinin her birinin hangi oranda kalıntıya dönüşeceğinin tahmin edilmesi ve modele girilmesi, önceki bölümlerde tanımlanan doğrusallık sorununun aşılması adına son derece kritiktir. Örneğin kaynakta oluşup bir toplama noktasında biriken ve buradan bir biyolojik işleme giden bir biyobozunabilir atık kütlelerinin, söz konusu biyolojik işlem sonucunda % 90 kütle azaltımına uğrayacağı (ürün+atık) düşünülüyorsa, kalan % 10'luk kısım, kalıntı olarak yoluna devam etmek durumundadır. Bu işlem model içindeki her bir karar birimi ve dolayısıyla her bir hipotetik ünite için ayrı ayrı tahmin edilmeli ve modele girilmelidir. Bu değişkenler modelde “Atıkazaltma” parametreleri olarak teker teker öngörülmüştür. Modele girilen bu kütle azalma miktarları aynı zamanda atık kütlelerinin bütünleşik hareketinin sağlanmasının modellenmesi için de kullanılır.

4.1.2. Kısıtların Dizayını

Gerçek hayata uygunluk açısından model içindeki bazı karar birimleri belirli kısıtlarla sınırlandırılmak durumundadır. Örneğin bir termal işleme gelebilecek olan atık kütlesi seçenekleri için modelin nasıl bir değerlendirme yapması gerektiği, modele bir ısı değer kısıtı girilerek belirlenir. Bu kısıt, tesisin kurulup kurulmaması kararını belirleyecek olup, tesise gelen atığın en az ne kadar kalorifik değerde olması gerektiğini ifade eder. “Toplama” ve “Depolama” birimleri için ise bu kısıt, mevzuatlar tarafından verilen sınırlamalara uygun olarak yapılandırılır (Toplama için, geri dönüştürülebilir atıklar içindeki ambalaj atıkların en az % 60'ı ayrı toplanmak zorundadır. Depolama için, doğrudan depolamaya gelebilecek olan biyobozunabilir atık miktarı 2005 yılı miktarına göre değişir).

Sözü edilen bu ana kısıtlar dışında, her bir karar birimi için bazı alt kısıtlar da modellenmek durumundadır. Bu alt kısıtlar temel olarak ilgili işlem ya da proseslerin atık kapasiteleri ile ilgilidir. Proses kısıtlarının dışında kalan alt kısıtların en önemlisi ise; transfer bölgelerine (S) yalnızca transfer istasyonu, bertaraf bölgelerine (D) ise

yalnızca fiziksel-biyolojik-termal-depolama işlemlerinin yapılması gerekliliği gibi inşa kısıtlarıdır.

Bir atık yönetimi çalışması sırasında oluşan herhangi bir atık akımı için geriye dönük bir hareket söz konusu olamaz. Buna göre atık yönetim çalışmalarının tamamı için geçerli olabilecek ileriye doğru zorunlu hareket sıralaması; “toplama, dağıtım, transfer, fiziksel işlem, biyolojik işlem, termal işlem, depolama” şeklindedir. Bu hareket biçiminin gerçek uygulamalardaki tek istisnası, “mekanik biyolojik arıtma” olarak bilinir. Bu uygulamalarda, biyolojik işlem fiziksel işlemden önce gelir. Öte yandan bu uygulamanın kendisi de bir bütün halinde “fiziksel işlem” olarak değerlendirilebilir. Bu anlamda, model kütle dengesi, atıkların bu ileriye doğru zorunlu hareketi ile kısıtlanır. Temelde model; başta atığın proseslere dağıtımı, kapasite genişletme ve proses seçimi kararları olmak üzere tüm altılı problematik kararlarını, belirli biçimlerde kısıtlanan bu kütle dengesinden hareketle belirler.

4.1.3. Dağıtım Karar Birimi

Kentsel katı atıkların oluştukları noktalardan toplanma biçimi en geniş anlamda; geri dönüştürülebilirler (GR), biyobozunabilirler (GB) ve karışık atıklar (GM) şeklindeki “ikili toplama” şeklinde olur. Bu 3 atık kütlelerinin de içerisinde cam, metal, kâğıt-karton ve benzeri birden farklı atık alt bileşeninin belirli miktarları bulunabilir. Üç farklı atık kütlelerinin toplanması sonrasında atığın gerekli yerlere dağıtılması süreci başlar. Modeldeki “Dağıtım” birimi bu 3 farklı atık kütlesi nedeniyle aynı işleve sahip 3 hipotetik ünite şeklinde yapılandırılır (C1, C2, C3). Ev ve işyerlerinden uygun bir biçimde toplanan atıklar, çalışmanın kapsamına göre belirlenmiş sayıdaki yoğunlaşma bölgesinin (A1, A2, ...) merkezlerindeki noktada kesişir. Modelin atık başlangıç parametreleri bu kesişme noktası için yapılan öngörülerini ifade eder. Model bu birleşme noktalarından sonra atıkların transfer mi edileceğine yoksa doğrudan işleme/bertaraf bölgeleri ya da müşteri bölgelerine mi gideceğine karar verecektir.

4.1.4. Diğer Karar Birimleri

Yoğunlaşma bölgelerinin merkezinde kesişmiş olan atıklar için ilk seçenek farklı bölgelerde bulunabilecek atık transfer istasyonlarına (S1, S2, ...) gitmektir. Bu durum model için transfer istasyonu kurmak ya da kurmamak şeklinde bir karar problemidir. Transfer istasyonlarına gelebilecek atık akım sayısı toplanan 3 atık akımı ile sınırlı olduğu için bu karar birimleri de 3 ünite olarak yapılandırılır (F1, F2, F3). Temelde, ayrı toplanmış olan geri dönüştürülebilir atıkların, hemen başlangıç noktalarında müşterilere gönderilmesi gerektiği düşünülenbilir. Ancak böyle bir kabul, atık yönetiminin uzun dönemli planlanması süreçlerinde pek çok farklı olasılığı da göz ardı etmek anlamına gelecektir. Bu nedenle, sözü edilen atıkların, başlangıç noktalarında tamamının ya da bir kısmının satılması da satılmaması da modellenmelidir.

Yoğunlaşma bölgelerinde kesişmiş olan atıklar için ikinci seçenek ise fiziksel bir atık işleme sürecine gönderilmektir. Aynı şekilde, bu fiziksel işleme tesislerine olası transfer istasyonlarından da atık gelebilir. Bu anlamda fiziksel işlem karar birimine gelebilecek toplam farklı atık akımı sayısı 6 olacağından bu karar birimleri 6 ünite olarak tasarlanır (P1, P2, ..., P6). Aynı mantıkla biyolojik atık karar birimleri 12 ünite (B1, B2, ..., B12), termal atık karar birimleri 24 ünite (T1, T2, ..., T24), depolama karar birimleri 48 ünite (L1, L2, ..., L48) ve müşteri karar birimleri 96 ünite (R1, R2, ..., R96) şeklinde yapılandırılır.

4.1.5. Müşteriler

Modeldeki tüm süreçler sonrasında bir miktar ürün farklı bölgelerdeki müşteri bölgelerine (M1, M2) gidebileceği için, ürünlerin müşterilere transferinde alınacak mesafeler model için birer değişkendirler. Sözü edilen müşteri birimlerine toplam 96 hipotetik giriş (R1, ..., R96) söz konusudur.

Müşteri bölgelerine gidecek olan ürünlerin ve bu ürünlerin taşınması için katedilecek yollar ise model için önemli bir tartışma konusudur. Söz gelimi, yoğunlaşma noktalarındaki ürünü müşteriler gelip alacaksa bu noktadan müşterilere olan mesafelerin modellenmesi gereksiz görülebilir. Öte yandan böyle bir ihmal, bu çalışmada ortaya koymaya çalıştığımız ideal model yapısının beklentilerini de kısıtlamak anlamına gelecektir. Dolayısıyla bu çalışma, tüm ürünlerin müşterilere

taşınması ve iletilmesi konularının tamamının modelin asli birer problemi olduğunu kabul edecektir.

4.1.6. Alan Gereksinimi ve Atıkların Taşınması

Modelde bulunan “Dağıtım” dışındaki tüm karar birimlerinin her biri için ayrı bir alan gerekliliği söz konusudur. Bu anlamda her proses için gerekli alan ihtiyaçları önceden bilinmek durumundadır. Ayrıca model içindeki tüm taşıma işlemlerinin (kaynaktan yoğunlaşma bölgesine taşıma; bir yoğunlaşma bölgesinden bir transfer bölgesi, bertaraf bölgesi ya da müşteri bölgesine taşıma; bir transfer bölgesinden başka bir transfer bölgesine, bertaraf bölgesine ya da müşteri bölgesine taşıma; bir bertaraf bölgesinden başka bir bertaraf bölgesine ya da müşteri bölgesine taşıma gibi) maliyetleri bilinmek durumunda olduğundan, modele girilen tüm bölge alternatifleri arasındaki mesafeler de bilinmek durumundadır.

4.1.7. Maliyet ve Kazançlar

Modelde kullanılan tüm karar birimlerinin maliyetleri, kazanç maksimizasyonunu amaç edinen bir model yapısı için önceden mutlaka öngörülme durumundadır. Bu çalışmada kullanılan model yapısı için gereken maliyet ve gelir kalemleri; her bir karar biriminden müşteriye satılacak olan ürünün gelir miktarı, karar biriminin inşası-işletilmesi ve bakımı için öngörülen yapım-işletim-bakım giderleri, atık taşıma maliyetleri ve alan maliyetleri şeklindedir.

4.1.8. Modelin Esnekliği

Model, mevcut ve gelecekteki olası tüm seçeneklere cevap verebilme esnekliğinin sağlanabilmesi adına, her bir karar birimi için en az 2 farklı seçenek ve bu seçeneklerin her biri için en az 2 farklı kapasite alternatifi içerebilecek şekilde yapılandırılacaktır.

4.1.9. Atıkların Bütünleşik Hareketi

Bu tür bir modelleme çalışmasının en önemli adımı; atık kütesinin içerisinde bulunan cam, metal, kâğıt-karton ve benzeri birden farklı atık alt bileşeninin (i: 1, ,2, 3, ...) bir noktadan başka bir noktaya hareketi sırasındaki davranışını modellemektir. Bir atık alt bileşeni, içinde bulunduğu atık kütesinden tek başına çekip çıkarılamayacağına göre, bu bileşenin bir noktaya hareketi sırasında diğ er alt bileşenlerin de aynı oranda hareketi sağ lanmak zorundadır. Önceki bölümlerde “the issue of quadratic form” olarak isimlendirdiğimiz modelleme problemi aynı zamanda söz konusu bu sorunu da kapsar. Dolayısıyla ideal bir model, alt bileşenlerin bir noktadan başka bir noktaya hareketi sırasında bütünleşik (integrated) bir hareketi sağlamak zorundadır. 2014 yılında M. K. Korucu, A. Cihan, A. Alkan, I. Özbay, A. Karademir ve Z. Aladağ bu hareket sorununu, kullanıcı tarafından manuel olarak hesaplanan bir takım hareket katsayıları ile çözmüş tür. Elde edilen yeni model ise bu kısmı yeni yapının sağ ladiğı avantajlardan faydalanarak, sadece modele girilen yeni bazı kısıt denklemleri ile sağlamaktadır.

4.2. Modelin Matematiksel Yapısı

Çalışmada sözü edilen optimizasyon modelinin yapılandırılması aşağıdaki adımlardan oluşur:

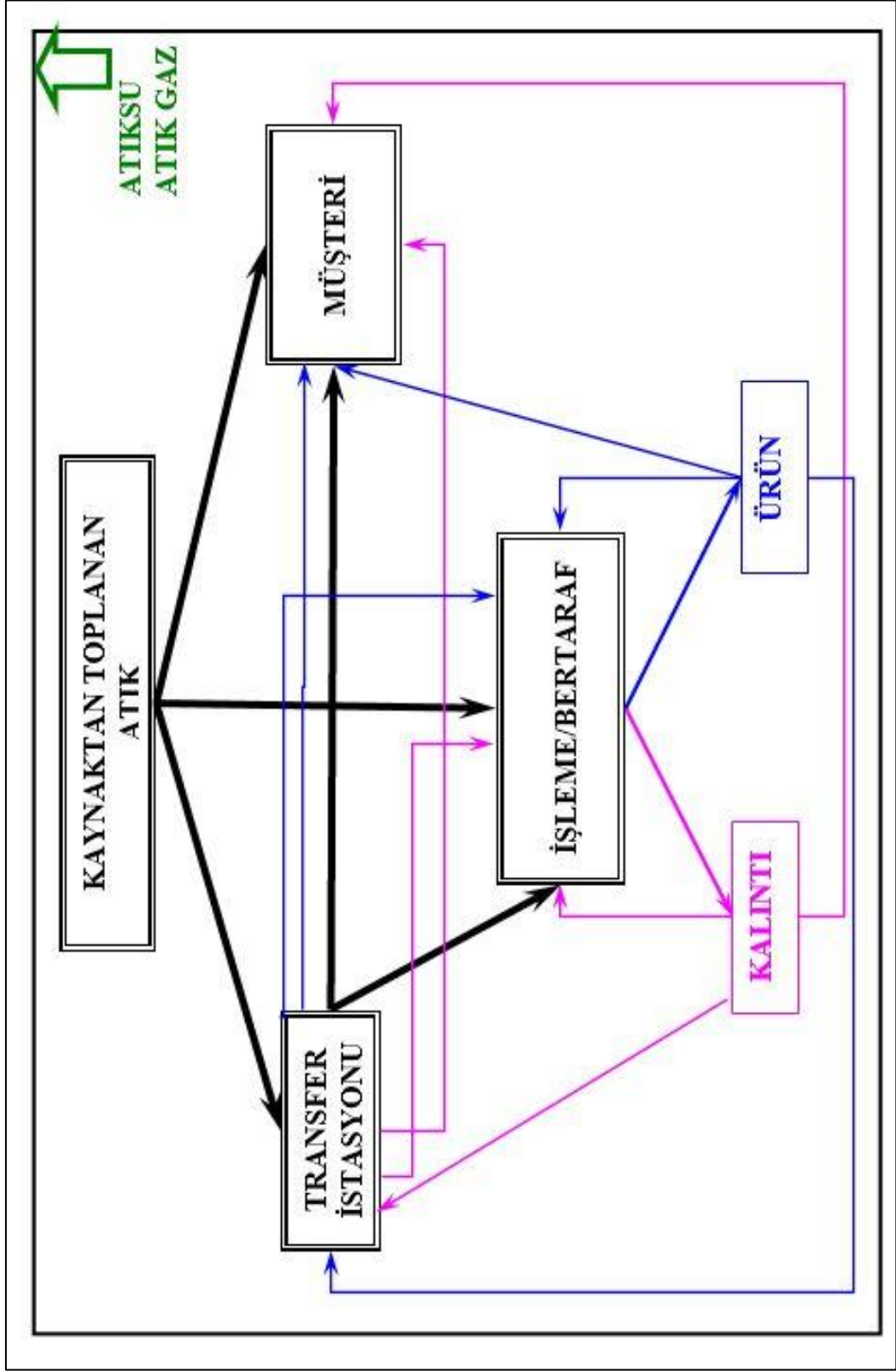
- i) Proje süresi ve periyotlar belirlenir (2020-2045 için beşer yıllık periyotlar gibi).
- ii) Karakterizasyon çalışması sonuçlarına göre atık alt grupları belirlenir (i:1,2,3, ..., 10 gibi).
- iii)Atığın kaynaklardan hangi biçimlerle toplanacağına karar verilir (ikili toplama gibi).
- iv)Proje süresi için tüm alt grup atık miktarları ve bu miktarların hangi toplama biçiminde ne kadarının bulunacağı tahmin edilir.
- v) Atığın karakterizasyon çalışmasından ya da literatürden, atığın kaynaktaki karakteristiğı belirlenir (ısıl değ er vb. gibi).
- vi)Mevzuat değ erlendirilmesi yapılarak gerekli yasal sınırlar saptanır.

- vii) Çalışma bölgesi için yoğunlaşma bölgeleri (A), transfer bölgeleri (S), bertaraf bölgeleri (D) ve müşteri bölgeleri (M) belirlenerek tamamının arasındaki mesafeler belirlenir.
- viii) Modelde kullanılacak kütle dengesindeki prosesler için gerekli tüm öngörü ve kısıtlar belirlenir.
- ix) Maliyetler için gerekli öngörüler yapılır.
- x) Modelin matematiksel yapısı inşa edilir, amaç fonksiyonu yapılandırılır ve model çalıştırılır.

Önceki bölümlerde yukarıda sunulan ilk 9 adım açıklanmaya çalışılmıştır. Bu bölümde ise modelin matematiksel yapısının nasıl inşa edileceği açıklanacaktır. Atık yönetimi bertaraf sürecindeki her bir işlem ve taşıma sürecinin genel kütle dengesi; sürece giren katı kütlenin belirli bir miktarının atık su olarak uzaklaşması, belirli bir miktarının atık gaz olarak uzaklaşması, belirli bir miktarının ürün olarak süreçten çıkması ve kalan miktarın da kalıntı olarak yoluna devam etmesi şeklindedir. Elbette süreç sonundaki nihai kalıntı depolama alanlarına gömülüp orada kalacaktır. Yine bu kalıntı da bir miktar atık su, ve enerji olarak değerlendirilebilecek bir deponi gazına dönüşecektir.

İdeal bir atık yönetimi modelinde, yönetim esnasında ortaya çıkabilecek tüm olasılıklar mutlaka dikkate alınmalıdır. Kütle dengesi açısından bu olasılıkları şu şekilde özetlemek mümkündür: Bir atık yönetimi sürecinde “kaynaktan toplanan atıklar”ın bir kısmı ya da tamamı “ürün” olarak doğrudan müşterilere satılabilir ya da müşterilere transfer edilebilir. Ayrıca bu atıklar bir işleme/bertaraf tesisine de doğrudan ya da transfer edilmek suretiyle gönderilebilir. Bir transfer, işleme/bertaraf ya da taşıma sürecine giren atık, bir miktar “atık su ve atık gaz” ile birlikte, süreçte yoluna devam edecek olan ya da nihai olarak deponi bölgesinde gömülü olarak kalacak olan bir miktar “kalıntı” ve bir miktar “ürün”e dönüşür. Buradaki önemli nokta, sözü edilen tüm kalıntı ve ürünlerin oluştukları andan itibaren, yukarıda sözünü ettiğimiz “kaynaktan toplanan atık” davranışının aynısını gösterecek olmasıdır. Bir kısmı ya da tamamı doğrudan müşterilere satılabilir ya da müşterilere transfer edilebilir. Ayrıca işlenmek ya da bertaraf edilmek üzere herhangi bir bertaraf tesisine de doğrudan ya da transfer edilmek suretiyle gönderilebilir. Bu durum hem “kalıntı”lar hem de “ürün”ler için geçerlidir. Bu karmaşık yapıyı, toplama-taşıma-

transfer-işleme/bertaraf süreçlerinde oluşan atık su ve atık gazı sistem dışına aktararak Şekil 4.12'deki gibi sadeleştirmek mümkündür.



Şekil 4.12: Kütle dengesinde geçerli olan süreçlerin şematik gösterimi.

Modelin matematiksel yapısında kullanılan formülasyon bu bölümde özetlenmeye çalışılacaktır. Bu çalışmada elde edilen yeni model yapısı, son derece karmaşık ve büyük bir yapıdır. Modelin temel iddiası ise, kısıtlar açısından doğrusallık sorununu çözmüş olmaktır. Modelin tüm denklemlerinin bu bölümde açıklanması oldukça büyük yer kaplayacak ve karışıklığa neden olacaktır. Bunun yerine bu bölümde bir sadeleştirme yapılacaktır. Bunun için, daha önceden sunulmuş olan genel model yapısındaki 7 düğümden sadece fiziksel işlem düğümü seçilecek ve bu düğüm için kısıtların nasıl yapılandırıldığı açıklanacaktır. Sunulan tüm yaklaşımı diğer düğümler için benzer biçimde düşünmek mümkündür. Bu bölümde sunulacak denklemlerin içerdiği kümeler Tablo 4.1’de sunulmuştur. Denklemler, bu tablo ve daha önceden sunulan genel model yapısı ile beraber okunursa daha anlaşılabilir olacaktır.

Tablo 4.1: Denklemlerde sözü edilecek olan kümeler.

Zamanlar	2020, 2021, 2022, ... 2042, 2043, 2044
Bileşenler	i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10
Atık Yoğunlaşma Bölgeleri	A1, A2, A3
Transfer Bölgeleri	S1, S2, S3
Bertaraf Bölgeleri	D1, D2
Müşteri Bölgeleri	M1, M2
Atık Yoğunlaşma ve Transfer Bölgeleri	A1, A2, A3, S1, S2, S3
Toplama Türleri	C1, C2, C3
Transfer Türleri	F1, F2, F3
Fiziksel Türleri	P1, P2, P3, P4, P5, P6
Fiziksel Prosesler	FP1, FP2
Fiziksel Alternatifler	FA1, FA2
Biyolojik Prosesler	BP1, BP2
Biyolojik Alternatifler	BA1, BA2
Termal Prosesler	YP1, YP2
Termal Alternatifler	YA1, YA2
Depolama Prosesler	DP1, DP2
Depolama Alternatifler	DA1, DA2
Müşteri Alternatifler	MA1, MA2
Lambda Yasaklılar	((Toplama Türleri union Transfer Türleri) cross Atık Yoğunlaşma ve Transfer Bölgeleri) diff ((Toplama Türleri cross Atık Yoğunlaşma Bölgeleri) union (Transfer Türleri cross Transfer Bölgeleri))
LXP (2-tuple set)	(C1, P1), (C2, P2), (C3, P3), (F1, P4), (F2, P5), (F3, P6)
SP (2-tuple set)	(P1, B7), (P2, B8), (P3, B9), (P4, B10), (P5, B11), (P6, B12)
BP (2-tuple set)	(P1, T7), (P2, T8), (P3, T9), (P4, T10), (P5, T11), (P6, T12)
DP (2-tuple set)	(P1, L7), (P2, L8), (P3, L9), (P4, L10), (P5, L11), (P6, L12)
OP (2-tuple set)	(P1, R7), (P2, R8), (P3, R9), (P4, R10), (P5, R11), (P6, R12)
LC (2-tuple set)	(C1, P1), (C2, P2), (C3, P3)

Eşitlik 4.1, 4.2 ve 4.3 fiziksel işlem düğümünün genel kütle dengesini tanımlar. Eşitlik 4.1'e göre; bir fiziksel prosese gelen atık miktarı (λ); bu prostesten biyolojik proseslere (σ), termal proseslere (β), depolamaya (δ) ve müşterilere (ω) gidecek atıkların toplamına eşittir:

$$\begin{aligned}
 \forall y, s, den, i \rightarrow \sum_e \left(\sum_{(spj, spk), bp, ba \mid s = spj} \sigma_{y, s, spk, den, e, bp, ba, i} + \right. \\
 \sum_{(bpj, bpk), yp, ya \mid s = bpj} \beta_{y, s, bpk, den, e, yp, ya, i} + \\
 \left. \sum_{(dpj, dpk), dp, da \mid s = dpj} \delta_{y, s, dpk, den, e, dp, da, i} \right) + \\
 \sum_{(opj, opk), e, ma \mid s = opj} \omega_{y, s, opk, den, e, ma, i} - \\
 \sum_{(lxj, lxx), j, fp, fa \mid s = lxx} \lambda_{y, lxj, s, j, den, fp, fa, i} = 0
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Burada; $y \in$ Zamanlar, $s \in$ Fiziksel Türleri, $den \in$ Bertaraf Bölgeleri, $i \in$ Bileşenler, $e \in$ Bertaraf Bölgeleri, $spj, spk \in SP$ ($s == spj$), $bp \in$ Biyolojik Prosesler, $ba \in$ Biyolojik Alternatifler, $bpj, bpk \in BP$ ($s == bpj$), $yp \in$ Termal Prosesler, $ya \in$ Termal Alternatifler, $dpj, dpk \in DP$ ($s == dpj$), $dp \in$ Depolama Prosesler, $da \in$ Depolama Alternatifler, $opj, opk \in OP$ ($s == opj$), $e \in$ Müşteri Bölgeleri, $ma \in$ Müşteri Alternatifler, $lxj, lxx \in LXP$ ($s == lxk$), $j \in$ Atık Yoğunlaşma ve Transfer Bölgeleri, $fp \in$ Fiziksel Prosesler, $fa \in$ Fiziksel Alternatifler Tablo 4.1 içerisinde verilmiştir.

Eşitlik 4.2 fiziksel işlem proseslerine gelemeyecek atıkları tanımlarken Eşitlik 4.3 bu tesislere gelebilecek toplam atıkları (FT) ifade eder.

$$\begin{aligned}
 \forall y, (s, j), den, e, p, a, i, (ys, yden), ys \\
 =s, yden=den \rightarrow \lambda_{y, s, j, den, e, p, a, i} = 0
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Burada; $y \in \text{Zamanlar}$, $(s, j) \in \text{LXP}$, $\text{den} \in \text{Atık Yoğunlaşma ve Transfer Bölgeleri}$, $e \in \text{Bertaraf Bölgeleri}$, $p \in \text{Fiziksel Prosesler}$, $a \in \text{Fiziksel Alternatifler}$, $i \in \text{Bileşenler}$, $(y_s, y_{\text{den}}) \in \text{Lambda Yasaklılar}$ şeklindedir.

$$\forall e, p, a \rightarrow \sum_{y, (lxj, lxx), \text{den}, i} \lambda_{y, lxj, lxx, \text{den}, e, p, a, i} - \text{FT}_{e, p, a} = 0 \quad (4.3)$$

Burada; $e \in \text{Bertaraf Bölgeleri}$, $p \in \text{Fiziksel Prosesler}$, $a \in \text{Fiziksel Alternatifler}$, $y \in \text{Zamanlar}$, $(lxj, lxx) \in \text{LXP}$, $\text{den} \in \text{Atık Yoğunlaşma ve Transfer Bölgeleri}$, $i \in \text{Bileşenler}$ şeklindedir.

Eşitlik 4.4, fiziksel işlem proseslerinin gelen atığı ürüne dönüştürme biçimini ifade eder. Eşitliğe göre, bir fiziksel işlem prosesine giren atıklar (λ), her bir atık alt bileşeni için prosese bağlı bir atık işleme verimi (AA) ile işlendikten sonra, bir miktar ürüne (ω) dönüşerek müşterilere satılır:

$$\forall y, s, \text{den}, i, (\text{opj}, \text{opk}), \text{opj}=s \rightarrow \sum_{e, ma} \omega_{y, s, \text{opk}, \text{den}, e, ma, i} - \sum_{p, a, (lxj, lxx), js=lxk} (AA_{s, \text{opk}, i} / 100) \lambda_{y, lxj, lxx, j, \text{den}, p, a, i} - \sum_{p, a, (lxj, lxx), js=lxk} (AA_{s, \text{opk}, i} / 100) \lambda_{y, lxj, lxx, j, \text{den}, p, a, i} = 0 \quad (4.4)$$

Burada; $e \in \text{Müşteri Bölgeleri}$, $ma \in \text{Müşteri Alternatifler}$, $y \in \text{Zamanlar}$, $s \in \text{Fiziksel Türleri}$, $\text{opj}, \text{opk} \in \text{OP}$ ($s == \text{opj}$), $\text{den} \in \text{Bertaraf Bölgeleri}$, $i \in \text{Bileşenler}$, $p \in \text{Fiziksel Prosesler}$, $a \in \text{Fiziksel Alternatifler}$, $lxj, lxx \in \text{LXP}$ ($s == lxk$), $j \in \text{Atık Yoğunlaşma Bölgeleri}$ ya da Transfer Bölgeleri Tablo 4.1 içerisinde verilmiştir.

Eşitlik 4.5, fiziksel işlem proseslerinin kurulup kurulmama kararının nasıl verildiğini ifade eder. Eşitliğe göre, binary bir değişken olan fiziksel proses sayısı (PS); fiziksel prosese gelen toplam atık miktarının (λ), tesis kapasitesinden (PC) büyük olmaması kısıtı ile belirlenir.

$$\forall y, e, p, a \rightarrow \sum_{j, (lxj, lxx), den, i \mid j = lxj} \lambda_{y, lxj, lxx, den, e, p, a, i} +$$

$$\sum_{j, (lxj, lxx), den, i \mid j = lxj} \lambda_{y, lxj, lxx, den, e, p, a, i} \leq PC_{p, a} PS_{e, p, a} \quad (4.5)$$

Burada; $y \in$ Zamanlar, $e \in$ Bertaraf Bölgeleri, $p \in$ Fiziksel Prosesler, $a \in$ Fiziksel Alternatifler, $lxj, lxx \in$ LXP ($lxj == j$), $j \in$ Toplama Türleri, $den \in$ Atık Yoğunlaşma Bölgeleri, $i \in$ Bileşenler, $j \in$ Transfer Türleri, $den \in$ Transfer Bölgeleri Tablo 4.1 içerisinde verilmiştir.

Gerçek hayatta bir atık kütlesi tüm bileşenleri ile bir arada bütünleşik bir hareket biçimi gösterir. Bu hareket biçiminin, modelin her aşaması için mutlaka modellenmesi gerekir. Eşitlik 4.6 fiziksel işlem proseslerine toplama noktalarından gelen atık kütlesinin bütünleşik hareketini modelleyen kısıtı ifade eder. Bu denkleme göre; kaynaktan fiziksel işleme gelen atık kütlesi (λ) içindeki atık bileşenlerinin birbirlerine olan oranları, bu bileşenlerin kaynaktayken (G) birbirlerine olan oranlarıyla uyumlu olmak zorundadır.

$$\forall y, (s, j), den, e, p, a, i, t, i \neq t, t = i_{ref}, G_{y, s, den, t} \neq 0, G_{y, s, den, i} \neq 0 \rightarrow$$

$$(G_{y, s, den, i} / G_{y, s, den, t}) \lambda_{y, s, j, den, e, p, a, t} - \lambda_{y, s, j, den, e, p, a, i} = 0 \quad (4.6)$$

Burada; $y \in$ Zamanlar, $s, j \in$ LC, $den \in$ Atık Yoğunlaşma Bölgeleri, $e \in$ Bertaraf Bölgeleri, $p \in$ Fiziksel Prosesler, $a \in$ Fiziksel Alternatifler, $i, t \in$ Bileşenler Tablo 4.1 içerisinde verilmiştir.

4. 3. Modelde Kullanılan Öngörüler

4.3.1. Nüfus ve Atıklara İlişkin Öngörüler

Türkiye için geleceğe dönük nüfus tahminlerinde farklı nüfus artış hızları öneren metotlar; Birleşmiş Milletler (UNDP), İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Orta Artış (İSKİ), Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) ve Azalan Hızlı Geometrik Artışı'na (İTÜ) şeklinde gösterilebilir. Bu yaklaşımlar içerisinde ise İTÜ'nün

gerçekleştirmiş olduğu ilçe bazında nüfus tahminlerinin, İstanbul veya Türkiye geneli için daha duyarlı olduğu düşünülmektedir [ÇKKDB, 2009]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinde İstanbul ili için 2008-2017 yılları arasındaki nüfus artış hızları sırasıyla % 1, % 1.7, % 2.6, % 2.7, % 1.7, % 2.2, % 1.5, % 1.9 ve % 1 şeklinde gerçekleşmiş, 2017-2023 yılları arasındaki yıllık ortalama nüfus artışı için beklenti ise % 1.36 şeklinde belirtilmiştir. Öte yandan Ümraniye için 2008-2017 yılları arasında nüfus artış hızları sırasıyla % 3.5, % 5.3, % 4.7, % 2.2, % 2.3, % 2.1, % 3.8, % 3.6, % 4.4 şeklindedir. Bu anlamda Ümraniye ilçesi nüfus artış hızları, İstanbul ortalama verilerinin anlamlı biçimde üstünde seyretmiştir. Ayrıca bu yıllar arasındaki nüfus verileri için hesaplamalarda İTÜ modeli kullanıldığında da artış hızı Ümraniye için oldukça düşük kalmaktadır. Tüm bu bulgulardan hareketle, Ümraniye Belediyesi'nin kendi planlama verilerinde 2020 yılı için kullandığı % 2.63 nüfus artışı ve 756000 kişilik nüfus değerleri akla daha yatkın görünmektedir. Buradan hareketle bu çalışma için kullanılan nüfus verileri için Ümraniye Belediyesi'nin kendi tahminleri kullanılmış, alt gelirli bölgeler (Hekimbaşı ve Esenkent) için % 3, orta gelirli bölgeler (FSM-Çakmak) için ise % 2.5 nüfus artış hızı değeri seçilmiştir. 2020 yılından itibaren ise nüfus artış hızı her yıl için bir önceki yıl artış hızının % 2'si kadar azaltılması şeklinde düzenlenmiştir.

Kentsel katı atıkların (KKA) kişi başına günlük oluşumunun yıllara göre artışı; hane halkı yapısı, hane halkı geliri ve tüketici alışkanlıkları gibi pek çok etkenle değişiklik göstermektedir. Türkiye'nin makro-ekonomik projeksiyonu 2010-2030 dönemi için kişi başına gelirlerde yıllık yaklaşık % 3'lük bir artış bekler. Kişi başına gelirlerdeki net artış, atık oluşumu artışı anlamına gelir [ÇKKDB, 2009].

Araç tartımlarına dayalı atık üretim tayininin yapıldığı İstanbul ve Adana/Mersin katı atık yönetimi master plan çalışmalarında kişi başına KKA üretimi 1 kg/kişi.gün değerinden daha büyük olarak bulunmuştur. Türkiye'de ortalama KKA üretiminin ise 1 kg/kişi.gün değerinden küçük olduğu tahmin edilmektedir. Bu değer gelişmiş ülkelerde ise 1.5 – 2.5 kg/kişi.gün aralığında değişmektedir. “Türkiye İçin Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması-EHCIP Projesi” [EHCIP, 2005], İstanbul'un da içinde bulunduğu “1a” bölgeleri için 2006 yılı birim atık oluşumu değerini 1.18 kg/kişi.gün şeklinde sunmuştur. İSTAÇ'tan alınan veriler ışığında İstanbul ili için birim kentsel katı atık oluşum miktarı ise 2010 yılı için 1.19 kg/kişi.gün olarak hesaplanmıştır [ÇKKDB, 2009]. Bu çalışmada, Ümraniye ilçesinin 2020 yılı için kişi başına atık üretim miktarı, İstanbul için verilen ortalama

değerin bir miktar üzerinde olacağı yönündeki beklentiden hareketle düşük gelirli bölge için 1.20 kg/kişi.gün, orta gelirli bölge için 1.25 kg/kişi.gün olarak belirlenmiştir. Bu değer, gelir artışıyla birlikte yıllar içinde artacağı yönündeki beklentiden ötürü de her yıl için bir önceki yıl oranının % 2'si kadar arttırılmıştır.

Atık oluşumunda olduğu gibi atık kompozisyonu da hane halkı yapısı, hane halkı geliri ve tüketici alışkanlıklarından etkilenir. Kişi başına gelirlerdeki artış, atık kompozisyonunda belirgin değişikliklere neden olabilmektedir. Gelecekte KKA içerisindeki yemek atığı oranının azalması, buna karşılık kâğıt, karton ve diğer yanabilenler gibi BPA bileşenlerinin de düşük hızda artması beklenmektedir. Net sonuç, BPA'nın KKA'ya oranının yıllar içerisinde artmasıdır. Ambalaj atığı ve geri dönüştürülebilir malzemeler kategorilerinde hem nispi, hem de mutlak artışlar beklenmektedir [ÇKKDB, 2009]. Bu çalışmanın atık karakterizasyonu verileri, Ümraniye Belediyesi tarafından 2016 yılında yapılan yaz ve kış atık kompozisyonu çalışmalarından elde edilen bulgulardır. Toplam yıllık atık hesaplamalarında yaz atıkları yılın yarısında, kış atıkları diğer yarısında etkili olacak şekilde değerlendirmeye alınmıştır. Bu değerler 2020 yılı için kullanılacak olup tüm oranlar ilerleyen proje yılları için, yukarıda sözü edilen kompozisyon değişikliği yönelimi göz önünde bulundurularak bazı değişikliklere tabi tutulmuştur. Buna göre, mutfak-park bahçe atıklarında her yıl, bir önceki yılın miktarının % 1.8'i kadar bir azalma planlanmış, bu azalma miktarı kalan dokuz atık alt bileşeninden geri dönüştürülebilir olan dördüne (kâğıt, cam, metal, plastik) % 0.4, diğer beş bileşene ise % 0.04 şeklinde bir artış olarak dağıtılmıştır. Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, Ümraniye ilçesi atık karakterizasyonunu baz alarak yürüttüğümüz çalışmada, 2020-2045 yıllarında ilçenin atıkları için elde ettiğimiz tahminleri şu şekilde özetlemek mümkündür: 2020 yılı için ilçede toplam 920 ton/gün atık oluşumu beklenmektedir. Bu değer 2045 yılı için 2537 ton/gün şeklinde hesaplanmıştır. 2020 yılında geri dönüştürülebilirler % 32, biyobozunabilirler % 76, diğer atıklar % 15 şeklinde beklenmektedir. 2045 yılına gelindiğinde bu değerler sırasıyla % 46, % 64 ve % 17 şeklinde beklenmektedir.

Mevzuat tarafından bazı atıkların depolama prosesine gitmesi ve geri dönüştürülebilir atıkların ayrı toplanması ile ilgili hedef kısıtlar ilgili mevzuatlardan alınmıştır. Atık akımlarının proseslere alınıp alınmayacağını belirleyecek olan atık karakteristiklerinin Ümraniye ilçesindeki değerlerine ilişkin veriler ise literatür yardımıyla belirlenmiştir, AEEEKY (2012)'ye göre Türkiye'de evsel elektrik-

elektronik atıkların geri toplama hedefi 2018 yılı için 4 kg/kişi.yıl şeklindedir. Bu veri Ümraniye’de oluşan tüm EEEA türü atığın geri dönüştürülmesi anlamına gelir. AAKY (2011)’e göre 2020 yılı ambalaj atıklarının geri dönüştürülme hedefini % 60 olarak belirlemiştir. Bu ambalaj atıkları, ayrı toplanan geri dönüştürülebilir nitelikteki atıkların içerisinde olacağından, ilk 4 bileşen için bir ayrı toplama hedefi belirlenmek durumundadır. Bu değerlerin elde edilmesinde izlenen yol kısaca şu şekildedir:

İstanbul için toplam atık kütlesi içindeki ambalaj atıklarının oranı % 15 civarındadır [Öztürk, 2015]. Bu oran toplam geridönüştürülebilir atıkların yaklaşık yarısı kadardır. Dolayısıyla geri dönüştürme hedefi, geri dönüştürülebilir atık alt gruplarının her birinin yarısının % 60’ı yani geri dönüştürülebilir alt bileşenlerinin nihai olarak % 30’unun ayrı toplanması şeklinde yapılandırılabilir. Biyobozunabilir atık alt gruplarının ikili toplama hedefleri için de; Mutfak-park-bahçe atıklarının, kullanılamaz haldeki kâğıt-karton atıklarının, diğer yanabilir atıkların ve tekstil-deri-çocuk bezi atıklarının her birinin % 30’unun ayrı toplanması şeklinde yapılandırılmıştır. Yine, evsel nitelikli tehlikeli atıkların da % 30’unun ayrı toplanması hedeflenmiştir. Bu düzenleme, nihayetinde başlangıç atık akımları olan geri dönüştürülebilir, biyobozunabilir ve karışık olarak isimlendirilmiş olan 3 atık akımının içindeki miktarları belirleyecektir. Bu miktarlar modelin başlangıç verileri olacaktır. Tüm bu giriş verileri Tablo 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, ve 4.9’da sunulmuştur.

Tablo 4.2: Nüfus, atıklar ve mevzuat için toplanan başlangış verileri.

	GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR KISIM				BİYOBÖZÜNABİLİR KISIM					DİĞER		
	Plastik Pet Poşet	Cam	Metal	Kâğıt-Karton Kompozit	Mutfak-Park Bahçe (organic)	Diğer Yanabilir	Tekstil, Deri, Çocuk Bezi	EEEA	Diğer Yanmayan	Tehlikeli Atıklar		
Biyobozunabilirlik (%)	-	-	-	50	70-82	50	30-50	-	-	-		
Nem İçeriği (%)	2	2	2-3	5-6	60-70	8	10	8	8	8		
Isıl Değer (kJ/kg)	32500	150	700	16500	5000		18000		250			
Ayrıştırılabilirlik (%)	90	90	90	90	-	-	-	-	-	-		
(Kaynakta Ayrılmış Evsel Atık)												
Ayrıştırılabilirlik (%)	-	80	80	-	-	-	-	-	-	-		
(Karışık Toplanmış Evsel Atık)												
Sıkıştırılmamış Yığın (kg/m ³)	37	295	40-100	10-500	70-370	-	-	-	-	-		
Depolamada Sıkışma Faktörü	0.1 – 0.2	0.3 – 0.9	0.1 – 0.6	0.1 – 0.4	0.1 – 0.5	-	0.2 – 0.4	-	-	-		
Ambalaj 2020 geri kazanım hedefleri (%)	55	60	55	60	-	-	-	-	-	-		
		60 (Alışap Dahil)										
Depolamaya Biyobozunabilir atık (%)	-	-	-	2020'de 2005'in % 50 si 2025den itibaren %35i			-	-	-	-		
EEEA geri toplama hedefi 2018 sonrası (kg/kışi.yıl)	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-		

Tablo 4.3: Hekimbaşı bölgesi için nüfus ve atık öngörülleri.

Yıl	Nüfus (kişi)	Nüfus Artış Hızı (%)	Atık Üretimi (kg/kişi.gün)	i: 1 Bölgesi		i: 2 Bölgesi		i: 3 Bölgesi		i: 4 Bölgesi		i: 5 Bölgesi		i: 6 Bölgesi		i: 7 Bölgesi		i: 8 Bölgesi		i: 9 Bölgesi		i: 10 Bölgesi											
				Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)	Yaz (%)	Kış (%)										
2020	249159	3.00	1.20	15	21	19.8	5	3	4.3	1	1	1.3	8	7	8.4	35	54	48.6	6	5	5.6	8	26	18.9	0	1	0.6	1	1	0.9	1	0	0.7
2021	256634	2.94	1.22	15	22	21.0	5	3	4.8	1	1	1.6	9	7	9.0	34	54	50.1	6	5	5.9	8	26	19.9	0	1	0.7	1	1	1.0	1	0	0.8
2022	264179	2.88	1.25	15	22	22.3	5	3	5.2	1	2	1.8	9	7	9.7	33	53	51.7	6	5	6.2	8	26	20.9	0	1	0.7	1	1	1.0	1	0	0.9
2023	271790	2.82	1.27	16	22	23.6	6	3	5.7	2	2	2.2	9	7	10.4	32	53	53.2	6	5	6.5	8	26	22.0	0	1	0.8	1	1	1.1	1	0	0.9
2024	279465	2.77	1.30	16	22	25.0	6	4	6.2	2	2	2.5	9	7	11.1	31	51	54.8	6	5	6.8	8	26	23.1	0	1	0.9	1	1	1.2	1	0	1.0
2025	287198	2.71	1.32	16	22	26.4	6	4	6.7	2	2	2.8	10	8	11.9	30	32	56.4	6	5	7.2	8	26	24.2	0	1	0.9	1	1	1.3	1	0	1.1
2026	294986	2.66	1.35	16	22	27.9	6	4	7.3	2	2	3.2	10	8	12.7	29	31	58.1	6	5	7.6	8	26	25.4	0	1	1.0	1	1	1.3	1	0	1.1
2027	302825	2.60	1.38	16	22	29.5	6	4	7.9	3	2	3.6	10	8	13.5	28	30	59.7	6	5	7.9	8	26	26.6	0	1	1.1	1	1	1.4	1	0	1.2
2028	310712	2.55	1.41	17	22	31.1	7	4	8.5	3	2	4.0	10	8	14.4	27	30	61.4	6	5	8.3	9	26	27.9	0	1	1.1	1	1	1.5	1	0	1.3
2029	318642	2.50	1.43	17	23	32.8	7	4	9.1	3	2	4.5	10	8	15.3	26	29	63.0	6	5	8.7	9	26	29.2	0	1	1.2	1	1	1.6	1	0	1.4
2030	326612	2.45	1.46	17	23	34.5	7	4	9.8	3	3	4.9	10	8	16.3	25	29	64.7	6	5	9.2	9	26	30.5	0	1	1.3	1	1	1.7	1	0	1.5
2031	334618	2.40	1.49	17	23	36.4	7	4	10.5	3	3	5.4	11	8	17.3	24	28	66.4	6	5	9.6	9	26	31.9	0	1	1.4	1	1	1.8	1	0	1.6
2032	342656	2.35	1.52	17	23	38.3	7	5	11.3	3	3	5.9	11	8	18.3	23	28	68.1	6	5	10.1	9	26	33.4	0	1	1.5	1	1	1.9	1	0	1.7
2033	350723	2.31	1.55	17	23	40.2	7	5	12.0	4	3	6.5	11	8	19.4	22	27	69.8	6	5	10.5	9	27	34.9	0	1	1.6	1	1	2.0	1	0	1.8
2034	358814	2.26	1.58	18	23	42.3	8	5	12.9	4	3	7.1	11	9	20.5	21	27	71.6	6	5	11.0	9	27	36.4	0	1	1.7	1	1	2.2	1	0	1.9
2035	366927	2.22	1.62	18	23	44.4	8	5	13.7	4	3	7.7	11	9	21.7	20	26	73.3	6	5	11.5	9	27	38.0	0	1	1.8	1	1	2.3	1	1	2.0
2036	375057	2.17	1.65	18	23	46.6	8	5	14.6	4	3	8.3	12	9	22.9	19	26	75.0	6	5	12.0	9	27	39.7	0	1	1.9	1	1	2.4	1	1	2.1
2037	383201	2.13	1.68	18	23	48.9	8	5	15.5	4	3	8.9	12	9	24.2	18	25	76.8	6	5	12.6	9	27	41.4	0	1	2.0	1	1	2.5	1	1	2.2
2038	391355	2.09	1.71	18	24	51.2	8	5	16.5	4	3	9.6	12	9	25.6	17	25	78.6	6	5	13.1	9	27	43.1	0	1	2.1	1	1	2.7	1	1	2.4
2039	399516	2.04	1.75	18	24	53.7	8	5	17.5	5	4	10.4	12	9	26.9	16	24	80.3	6	5	13.7	9	27	44.9	0	1	2.2	1	1	2.8	1	1	2.5
2040	407681	2.00	1.78	19	24	56.2	9	5	18.6	5	4	11.1	12	9	28.4	15	23	82.1	6	5	14.3	9	27	46.8	0	1	2.3	1	1	3.0	1	1	2.6
2041	415846	1.96	1.82	19	24	58.8	9	5	19.6	5	4	11.9	12	9	29.9	14	22	83.9	6	5	14.9	9	27	48.7	0	1	2.5	1	1	3.1	1	1	2.8
2042	424009	1.92	1.86	19	24	61.5	9	6	20.8	5	4	12.7	12	9	31.4	13	23	85.7	6	5	15.5	9	27	50.7	0	1	2.6	1	1	3.3	1	1	2.9
2043	432164	1.89	1.89	19	24	64.3	9	6	22.0	5	4	13.6	13	9	33.0	12	23	87.5	6	5	16.2	9	27	52.8	1	1	2.7	1	1	3.4	1	1	3.1
2044	440311	1.85	1.93	19	24	67.2	9	6	23.2	5	4	14.5	13	10	34.7	11	22	89.3	6	5	16.9	9	27	54.9	1	1	2.9	1	1	3.6	1	1	3.2

Tablo 4.4: Esenkent bölgesi için nüfus ve atık öngörülleri.

YIL	Nüfus (kişi)	Nüfus Artış Hızı (%)	Ank Üretimi (kg/kişi.gün)	i: 1 Bölgesi			i: 2 Bölgesi			i: 3 Bölgesi			i: 4 Bölgesi			i: 5 Bölgesi			i: 6 Bölgesi			i: 7 Bölgesi			i: 8 Bölgesi			i: 9 Bölgesi			i: 10 Bölgesi		
				Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Vaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)
2020	259602	3	1	15	21	20.6	5	3	4.5	1	1	1.3	8	7	8.7	54	35	50.6	6	5	5.8	8	26	19.7	0	1	0.7	1	1	0.9	1	0	0.8
2021	267390	3	1	15	22	21.9	5	3	5.0	1	1	1.6	9	7	9.4	54	34	52.2	6	5	6.1	8	26	20.7	0	1	0.7	1	1	1.0	1	0	0.8
2022	275251	3	1	15	22	23.2	5	3	5.4	1	2	1.9	9	7	10.1	53	33	53.8	6	5	6.4	8	26	21.8	0	1	0.8	1	1	1.1	1	0	0.9
2023	283182	3	1	16	22	24.6	6	3	5.9	2	2	2.2	9	7	10.8	52	33	55.5	6	5	6.8	8	26	22.9	0	1	0.8	1	1	1.1	1	0	1.0
2024	291178	3	1	16	22	26.0	6	4	6.5	2	2	2.6	9	7	11.6	51	32	57.1	6	5	7.1	8	26	24.0	0	1	0.9	1	1	1.2	1	0	1.0
2025	299235	3	1	16	22	27.5	6	4	7.0	2	2	2.9	10	8	12.4	50	32	58.8	6	5	7.5	8	26	25.2	0	1	1.0	1	1	1.3	1	0	1.1
2026	307349	3	1	16	22	29.1	6	4	7.6	2	2	3.3	10	8	13.2	49	31	60.5	6	5	7.9	8	26	26.4	0	1	1.0	1	1	1.4	1	0	1.2
2027	315517	3	1	16	22	30.7	6	4	8.2	3	2	3.7	10	8	14.1	48	30	62.2	6	5	8.3	8	26	27.7	0	1	1.1	1	1	1.5	1	0	1.3
2028	323735	3	1	17	22	32.4	7	4	8.8	3	2	4.2	10	8	15.0	47	30	63.9	6	5	8.7	9	26	29.0	0	1	1.2	1	1	1.6	1	0	1.4
2029	331997	3	1	17	23	34.2	7	4	9.5	3	2	4.6	10	8	15.9	46	29	65.7	6	5	9.1	9	26	30.4	0	1	1.3	1	1	1.7	1	0	1.4
2030	340301	2	1	17	23	36.0	7	4	10.2	3	3	5.1	10	8	16.9	45	29	67.4	6	5	9.5	9	26	31.8	0	1	1.3	1	1	1.8	1	0	1.5
2031	348643	2	1	17	23	37.9	7	4	11.0	3	3	5.6	11	8	18.0	45	28	69.2	6	5	10.0	9	26	33.3	0	1	1.4	1	1	1.9	1	0	1.6
2032	357018	2	2	17	23	39.9	7	5	11.7	3	3	6.2	11	8	19.1	44	28	71.0	6	5	10.5	9	26	34.8	0	1	1.5	1	1	2.0	1	0	1.7
2033	365423	2	2	17	23	41.9	7	5	12.5	4	3	6.7	11	8	20.2	43	27	72.7	6	5	11.0	9	27	36.3	0	1	1.6	1	1	2.1	1	0	1.8
2034	373853	2	2	18	23	44.0	8	5	13.4	4	3	7.3	11	9	21.4	42	27	74.6	6	5	11.5	9	27	37.9	0	1	1.7	1	1	2.2	1	0	2.0
2035	382306	2	2	18	23	46.2	8	5	14.3	4	3	8.0	11	9	22.6	41	26	76.4	6	5	12.0	9	27	39.6	0	1	1.8	1	1	2.4	1	1	2.1
2036	390777	2	2	18	23	48.5	8	5	15.2	4	3	8.6	12	9	23.9	41	26	78.2	6	5	12.5	9	27	41.3	0	1	1.9	1	1	2.5	1	1	2.2
2037	399262	2	2	18	23	50.9	8	5	16.2	4	3	9.3	12	9	25.2	40	25	80.0	6	5	13.1	9	27	43.1	0	1	2.1	1	1	2.6	1	1	2.3
2038	407758	2	2	18	24	53.4	8	5	17.2	4	3	10.0	12	9	26.6	39	25	81.8	6	5	13.7	9	27	44.9	0	1	2.2	1	1	2.8	1	1	2.5
2039	416261	2	2	18	24	55.9	8	5	18.2	5	4	10.8	12	9	28.1	39	24	83.7	6	5	14.3	9	27	46.8	0	1	2.3	1	1	2.9	1	1	2.6
2040	424769	2	2	19	24	58.5	9	5	19.3	5	4	11.6	12	9	29.6	38	24	85.5	6	5	14.9	9	27	48.8	0	1	2.4	1	1	3.1	1	1	2.7
2041	433276	2	2	19	24	61.3	9	5	20.5	5	4	12.4	12	9	31.1	37	24	87.4	6	5	15.5	9	27	50.8	0	1	2.6	1	1	3.2	1	1	2.9
2042	441780	2	2	19	24	64.1	9	6	21.6	5	4	13.3	12	9	32.7	37	23	89.3	6	5	16.2	9	27	52.8	0	1	2.7	1	1	3.4	1	1	3.0
2043	450278	2	2	19	24	67.0	9	6	22.9	5	4	14.2	13	9	34.4	36	23	91.1	6	5	16.9	9	27	55.0	1	1	2.8	1	1	3.6	1	1	3.2
2044	458766	2	2	19	24	70.0	9	6	24.2	5	4	15.1	13	10	36.1	35	22	93.0	6	5	17.6	9	27	57.2	1	1	3.0	1	1	3.8	1	1	3.3

Tablo 4.5: FSM-Çakmak bölgesi için nüfus ve atık öngörülere.

Yıl	Nüfus (kişi)	Nüfus Artış Hızı (%)	i: 1 Bileşeni			i: 2 Bileşeni			i: 3 Bileşeni			i: 4 Bileşeni			i: 5 Bileşeni			i: 6 Bileşeni			i: 7 Bileşeni			i: 8 Bileşeni			i: 9 Bileşeni			i: 10 Bileşeni		
			Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)	Yaz (%)	Kış (%)	Toplam (Kiloton)
2020	247822	3	10	15	13.6	9	5	7.9	1	1	1.1	7	19	14.9	59	45	58.5	9	6	8.9	6	6	6.5	0	0	0.1	0	1	0.4	0	2	1.2
2021	254018	2	10	15	14.5	9	6	8.5	1	1	1.4	7	20	15.8	58	44	60.0	9	6	9.3	6	6	6.8	0	0	0.2	0	1	0.4	0	2	1.3
2022	260241	2	10	15	15.4	9	6	9.1	1	2	1.7	7	20	16.7	57	43	61.6	10	6	9.8	6	6	7.1	0	0	0.2	0	1	0.5	0	2	1.4
2023	266489	2	10	15	16.3	9	6	9.8	1	2	2.0	8	20	17.7	56	42	63.2	10	6	10.3	6	6	7.5	0	0	0.2	0	1	0.5	0	2	1.5
2024	272760	2	10	15	17.3	9	6	10.5	2	2	2.4	8	20	18.8	55	41	64.8	10	6	10.7	6	6	7.8	0	0	0.3	0	1	0.6	0	2	1.6
2025	279049	2	11	15	18.3	10	6	11.2	2	2	2.8	8	20	19.9	54	41	66.4	10	6	11.2	6	6	8.2	0	0	0.3	0	1	0.6	0	2	1.7
2026	285355	2	11	16	19.4	10	6	12.0	2	2	3.2	8	20	21.0	53	40	68.0	10	6	11.7	6	6	8.6	0	0	0.4	0	1	0.7	0	2	1.8
2027	291675	2	11	16	20.5	10	7	12.8	2	2	3.6	8	21	22.2	52	39	69.6	10	6	12.3	6	6	9.0	0	0	0.4	0	1	0.7	0	2	1.9
2028	298005	2	11	16	21.6	10	7	13.6	2	3	4.0	9	21	23.4	51	39	71.2	10	6	12.8	6	6	9.4	0	0	0.5	0	1	0.8	0	2	2.0
2029	304343	2	12	16	22.8	11	7	14.5	3	3	4.5	9	21	24.7	50	38	72.8	10	6	13.4	6	6	9.8	0	0	0.5	0	1	0.9	0	2	2.1
2030	310687	2	12	16	24.1	11	7	15.4	3	3	5.0	9	21	26.0	49	37	74.5	10	6	14.0	6	6	10.2	0	0	0.6	0	1	0.9	0	2	2.2
2031	317033	2	12	16	25.4	11	7	16.3	3	3	5.5	9	21	27.4	48	37	76.1	10	6	14.6	6	6	10.7	0	0	0.6	0	1	1.0	0	2	2.3
2032	323380	2	12	16	26.7	11	7	17.3	3	3	6.0	9	21	28.8	47	36	77.8	10	6	15.2	6	6	11.1	0	0	0.7	0	1	1.1	0	2	2.5
2033	329724	2	12	17	28.1	11	8	18.3	3	3	6.6	10	21	30.3	46	35	79.4	10	7	15.8	6	6	11.6	0	0	0.7	0	1	1.2	1	2	2.6
2034	336063	2	12	17	29.6	11	8	19.4	4	3	7.2	10	22	31.8	46	35	81.1	10	7	16.5	6	6	12.1	0	0	0.8	0	1	1.2	1	2	2.7
2035	342395	2	13	17	31.1	12	8	20.5	4	4	7.8	10	22	33.4	45	34	82.8	10	7	17.2	6	6	12.6	0	0	0.8	0	1	1.3	1	2	2.9
2036	348717	2	13	17	32.6	12	8	21.6	4	4	8.5	10	22	35.0	44	33	84.4	10	7	17.9	6	6	13.1	0	0	0.9	0	1	1.4	1	2	3.0
2037	355027	2	13	17	34.2	12	8	22.8	4	4	9.1	10	22	36.7	43	33	86.1	10	7	18.6	6	6	13.7	0	0	1.0	0	1	1.5	1	2	3.2
2038	361323	2	13	17	35.9	12	8	24.0	4	4	9.8	11	22	38.5	42	32	87.8	10	7	19.3	6	6	14.2	0	0	1.1	0	1	1.6	1	2	3.3
2039	367602	2	13	17	37.6	12	8	25.3	5	4	10.6	11	22	40.3	42	32	89.4	10	7	20.1	6	6	14.8	0	0	1.1	0	1	1.7	1	2	3.5
2040	373862	2	14	18	39.4	13	8	26.6	5	4	11.3	11	22	42.2	41	31	91.1	10	7	20.9	6	6	15.4	0	1	1.2	0	1	1.8	1	2	3.6
2041	380102	2	14	18	41.2	13	9	27.9	5	4	12.1	11	23	44.1	40	30	92.8	10	7	21.7	6	6	16.0	0	1	1.3	0	1	1.9	1	2	3.8
2042	386319	2	14	18	43.1	13	9	29.4	5	4	13.0	11	23	46.1	39	30	94.5	10	7	22.5	6	6	16.6	0	1	1.4	0	1	2.0	1	2	4.0
2043	392512	2	14	18	45.1	13	9	30.8	5	5	13.8	11	23	48.2	39	29	96.1	10	7	23.4	6	6	17.3	1	1	1.5	0	1	2.1	1	2	4.2
2044	398678	2	14	18	47.1	13	9	32.3	5	5	14.7	12	23	50.3	38	29	97.8	10	7	24.3	6	6	17.9	1	1	1.6	0	1	2.2	1	2	4.4

Tablo 4.6: Bileşenlerin ikili toplama biçimleri içindeki yüzdeleri.

Yıl	Plastik Pet Poşet			Cam			Metal			Kağıt-Karton Kompozit			Mutfak-Park Bahçe (organic)			Diğer Yanabilir			Tekstil, Deri, Çocuk Bezi			EEEE			Diğer Yanmayan			Tehlikeli Atıklar		
	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geri Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık			
2020	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2021	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2022	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2023	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2024	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2025	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2026	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2027	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2028	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2029	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2030	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2031	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2032	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2033	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2034	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2035	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2036	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2037	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2038	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2039	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2040	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2041	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2042	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2043	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	
2044	30	0	70	30	0	70	30	0	70	30	30	40	0	30	70	0	30	70	0	30	70	100	0	0	0	100	30	0	70	

Tablo 4.7: Hekimbaşı bölgesi için ikili toplama akımları içindeki miktarlar (binton).

Yıl	Plastik Pet Poşet			Cam			Metal			Kağıt-Karton Kompozit			Mutfak-Park Bahçe (organic)			Diğer Yanabilir			Tekstil, Deri, Çocuk Bezi			EEEA			Diğer Yanmayan			Tehlikeli Atıklar		
	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karşık			
2020	5.9	0.0	13.9	1.3	0.0	3.0	0.4	0.0	0.9	2.5	2.5	3.4	0.0	14.6	34.0	0.0	1.7	3.9	0.0	5.7	13.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5
2021	6.3	0.0	14.7	1.4	0.0	3.3	0.5	0.0	1.1	2.7	2.7	3.6	0.0	15.0	35.1	0.0	1.8	4.1	0.0	6.0	13.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.6
2022	6.7	0.0	15.6	1.6	0.0	3.7	0.6	0.0	1.3	2.9	2.9	3.9	0.0	15.5	36.2	0.0	1.9	4.3	0.0	6.3	14.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.6
2023	7.1	0.0	16.5	1.7	0.0	4.0	0.6	0.0	1.5	3.1	3.1	4.1	0.0	16.0	37.3	0.0	1.9	4.5	0.0	6.6	15.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7
2024	7.5	0.0	17.5	1.9	0.0	4.3	0.7	0.0	1.7	3.3	3.3	4.4	0.0	16.4	38.4	0.0	2.1	4.8	0.0	6.9	16.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7
2025	7.9	0.0	18.5	2.0	0.0	4.7	0.8	0.0	2.0	3.6	3.6	4.7	0.0	16.9	39.5	0.0	2.2	5.0	0.0	7.3	16.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7
2026	8.4	0.0	19.5	2.2	0.0	5.1	1.0	0.0	2.2	3.8	3.8	5.1	0.0	17.4	40.6	0.0	2.3	5.3	0.0	7.6	17.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.8
2027	8.8	0.0	20.6	2.4	0.0	5.5	1.1	0.0	2.5	4.0	4.0	5.4	0.0	17.9	41.8	0.0	2.4	5.6	0.0	8.0	18.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.9
2028	9.3	0.0	21.8	2.5	0.0	5.9	1.2	0.0	2.8	4.3	4.3	5.8	0.0	18.4	42.9	0.0	2.5	5.8	0.0	8.4	19.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.9
2029	9.8	0.0	22.9	2.7	0.0	6.4	1.3	0.0	3.1	4.6	4.6	6.1	0.0	18.9	44.1	0.0	2.6	6.1	0.0	8.8	20.4	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	1.0
2030	10.4	0.0	24.2	2.9	0.0	6.9	1.5	0.0	3.4	4.9	4.9	6.5	0.0	19.4	45.3	0.0	2.7	6.4	0.0	9.2	21.4	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	1.0
2031	10.9	0.0	25.4	3.2	0.0	7.4	1.6	0.0	3.8	5.2	5.2	6.9	0.0	19.9	46.5	0.0	2.9	6.7	0.0	9.6	22.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.1
2032	11.5	0.0	26.8	3.4	0.0	7.9	1.8	0.0	4.2	5.5	5.5	7.3	0.0	20.4	47.7	0.0	3.0	7.0	0.0	10.0	23.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.2
2033	12.1	0.0	28.2	3.6	0.0	8.4	1.9	0.0	4.5	5.8	5.8	7.8	0.0	20.9	48.9	0.0	3.2	7.4	0.0	10.5	24.4	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.2
2034	12.7	0.0	29.6	3.9	0.0	9.0	2.1	0.0	4.9	6.2	6.2	8.2	0.0	21.5	50.1	0.0	3.3	7.7	0.0	10.9	25.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.3
2035	13.3	0.0	31.1	4.1	0.0	9.6	2.3	0.0	5.4	6.5	6.5	8.7	0.0	22.0	51.3	0.0	3.5	8.1	0.0	11.4	26.6	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.4
2036	14.0	0.0	32.6	4.4	0.0	10.2	2.5	0.0	5.8	6.9	6.9	9.2	0.0	22.5	52.5	0.0	3.6	8.4	0.0	11.9	27.8	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.5
2037	14.7	0.0	34.2	4.7	0.0	10.9	2.7	0.0	6.3	7.3	7.3	9.7	0.0	23.0	53.8	0.0	3.8	8.8	0.0	12.4	29.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.6
2038	15.4	0.0	35.8	4.9	0.0	11.5	2.9	0.0	6.7	7.7	7.7	10.2	0.0	23.6	55.0	0.0	3.9	9.2	0.0	12.9	30.2	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.6
2039	16.1	0.0	37.6	5.3	0.0	12.3	3.1	0.0	7.3	8.1	8.1	10.8	0.0	24.1	56.2	0.0	4.1	9.6	0.0	13.5	31.5	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.7
2040	16.9	0.0	39.3	5.6	0.0	13.0	3.3	0.0	7.8	8.5	8.5	11.3	0.0	24.6	57.5	0.0	4.3	10.0	0.0	14.0	32.8	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.8
2041	17.6	0.0	41.2	5.9	0.0	13.8	3.6	0.0	8.3	9.0	9.0	11.9	0.0	25.2	58.7	0.0	4.5	10.4	0.0	14.6	34.1	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.9
2042	18.4	0.0	43.0	6.2	0.0	14.5	3.8	0.0	8.9	9.4	9.4	12.6	0.0	25.7	60.0	0.0	4.7	10.9	0.0	15.2	35.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	2.0
2043	19.3	0.0	45.0	6.6	0.0	15.4	4.1	0.0	9.5	9.9	9.9	13.2	0.0	26.2	61.2	0.0	4.9	11.3	0.0	15.8	36.9	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	2.1
2044	20.2	0.0	47.0	7.0	0.0	16.2	4.3	0.0	10.1	10.4	10.4	13.9	0.0	26.8	62.5	0.0	5.1	11.8	0.0	16.5	38.4	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.2

Tablo 4.8: Esenkent bölgesi için ikili toplama akımları içindeki miktarlar (binton).

Yıl	Plastik Pet Poşet			Cam			Metal			Kağıt-Karton Kompozit			Mutfak-Park Bahçe (organik)			Diğer Yanabilir			Tekstil, Deri, Çocuk Bezi			EEEA			Diğer Yanmayan			Tehlikeli Atıklar		
	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзуnur	Karşık	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзunur	Karşık	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзunur	Karşık	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзunur	Karşık	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзunur	Karşık	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзunur	Karşık	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзunur	Karşık	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзunur	Karşık	Gerİ Dönüştürülebilir	Biyobuзunur	Karşık			
2020	6.2	0.0	14.5	1.4	0.0	3.2	0.4	0.0	0.9	2.6	2.6	3.5	0.0	15.2	35.4	0.0	1.7	4.1	0.0	5.9	13.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	0.0	0.5	
2021	6.6	0.0	15.3	1.5	0.0	3.5	0.5	0.0	1.1	2.8	2.8	3.8	0.0	15.7	36.5	0.0	1.8	4.3	0.0	6.2	14.5	0.7	0.0	0.0	0.0	1.0	0.3	0.0	0.6	
2022	7.0	0.0	16.3	1.6	0.0	3.8	0.6	0.0	1.3	3.0	3.0	4.0	0.0	16.1	37.7	0.0	1.9	4.5	0.0	6.5	15.3	0.8	0.0	0.0	0.0	1.1	0.3	0.0	0.6	
2023	7.4	0.0	17.2	1.8	0.0	4.2	0.7	0.0	1.6	3.2	3.2	4.3	0.0	16.6	38.8	0.0	2.0	4.7	0.0	6.9	16.0	0.8	0.0	0.0	0.0	1.1	0.3	0.0	0.7	
2024	7.8	0.0	18.2	1.9	0.0	4.5	0.8	0.0	1.8	3.5	3.5	4.6	0.0	17.1	40.0	0.0	2.1	5.0	0.0	7.2	16.8	0.9	0.0	0.0	0.0	1.2	0.3	0.0	0.7	
2025	8.3	0.0	19.3	2.1	0.0	4.9	0.9	0.0	2.1	3.7	3.7	4.9	0.0	17.6	41.2	0.0	2.2	5.2	0.0	7.6	17.7	1.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.3	0.0	0.8	
2026	8.7	0.0	20.4	2.3	0.0	5.3	1.0	0.0	2.3	4.0	4.0	5.3	0.0	18.1	42.3	0.0	2.4	5.5	0.0	7.9	18.5	1.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.4	0.0	0.8	
2027	9.2	0.0	21.5	2.5	0.0	5.7	1.1	0.0	2.6	4.2	4.2	5.6	0.0	18.7	43.5	0.0	2.5	5.8	0.0	8.3	19.4	1.1	0.0	0.0	0.0	1.5	0.4	0.0	0.9	
2028	9.7	0.0	22.7	2.7	0.0	6.2	1.3	0.0	2.9	4.5	4.5	6.0	0.0	19.2	44.7	0.0	2.6	6.1	0.0	8.7	20.3	1.2	0.0	0.0	0.0	1.6	0.4	0.0	1.0	
2029	10.2	0.0	23.9	2.9	0.0	6.7	1.4	0.0	3.2	4.8	4.8	6.4	0.0	19.7	46.0	0.0	2.7	6.4	0.0	9.1	21.3	1.3	0.0	0.0	0.0	1.7	0.4	0.0	1.0	
2030	10.8	0.0	25.2	3.1	0.0	7.2	1.5	0.0	3.6	5.1	5.1	6.8	0.0	20.2	47.2	0.0	2.9	6.7	0.0	9.5	22.3	1.3	0.0	0.0	0.0	1.8	0.5	0.0	1.1	
2031	11.4	0.0	26.5	3.3	0.0	7.7	1.7	0.0	3.9	5.4	5.4	7.2	0.0	20.8	48.4	0.0	3.0	7.0	0.0	10.0	23.3	1.4	0.0	0.0	0.0	1.9	0.5	0.0	1.1	
2032	12.0	0.0	27.9	3.5	0.0	8.2	1.9	0.0	4.3	5.7	5.7	7.6	0.0	21.3	49.7	0.0	3.1	7.3	0.0	10.4	24.3	1.5	0.0	0.0	0.0	2.0	0.5	0.0	1.2	
2033	12.6	0.0	29.3	3.8	0.0	8.8	2.0	0.0	4.7	6.1	6.1	8.1	0.0	21.8	50.9	0.0	3.3	7.7	0.0	10.9	25.4	1.6	0.0	0.0	0.0	2.1	0.6	0.0	1.3	
2034	13.2	0.0	30.8	4.0	0.0	9.4	2.2	0.0	5.1	6.4	6.4	8.6	0.0	22.4	52.2	0.0	3.4	8.0	0.0	11.4	26.6	1.7	0.0	0.0	0.0	2.2	0.6	0.0	1.4	
2035	13.9	0.0	32.4	4.3	0.0	10.0	2.4	0.0	5.6	6.8	6.8	9.0	0.0	22.9	53.5	0.0	3.6	8.4	0.0	11.9	27.7	1.8	0.0	0.0	0.0	2.4	0.6	0.0	1.5	
2036	14.6	0.0	34.0	4.6	0.0	10.6	2.6	0.0	6.0	7.2	7.2	9.6	0.0	23.5	54.7	0.0	3.8	8.8	0.0	12.4	28.9	1.9	0.0	0.0	0.0	2.5	0.7	0.0	1.5	
2037	15.3	0.0	35.6	4.9	0.0	11.3	2.8	0.0	6.5	7.6	7.6	10.1	0.0	24.0	56.0	0.0	3.9	9.2	0.0	12.9	30.2	2.1	0.0	0.0	0.0	2.6	0.7	0.0	1.6	
2038	16.0	0.0	37.3	5.2	0.0	12.0	3.0	0.0	7.0	8.0	8.0	10.6	0.0	24.6	57.3	0.0	4.1	9.6	0.0	13.5	31.5	2.2	0.0	0.0	0.0	2.8	0.7	0.0	1.7	
2039	16.8	0.0	39.1	5.5	0.0	12.8	3.2	0.0	7.6	8.4	8.4	11.2	0.0	25.1	58.6	0.0	4.3	10.0	0.0	14.0	32.8	2.3	0.0	0.0	0.0	2.9	0.8	0.0	1.8	
2040	17.6	0.0	41.0	5.8	0.0	13.5	3.5	0.0	8.1	8.9	8.9	11.8	0.0	25.7	59.9	0.0	4.5	10.4	0.0	14.6	34.1	2.4	0.0	0.0	0.0	3.1	0.8	0.0	1.9	
2041	18.4	0.0	42.9	6.1	0.0	14.3	3.7	0.0	8.7	9.3	9.3	12.4	0.0	26.2	61.2	0.0	4.7	10.9	0.0	15.2	35.5	2.6	0.0	0.0	0.0	3.2	0.9	0.0	2.0	
2042	19.2	0.0	44.8	6.5	0.0	15.2	4.0	0.0	9.3	9.8	9.8	13.1	0.0	26.8	62.5	0.0	4.9	11.3	0.0	15.9	37.0	2.7	0.0	0.0	0.0	3.4	0.9	0.0	2.1	
2043	20.1	0.0	46.9	6.9	0.0	16.0	4.3	0.0	9.9	10.3	10.3	13.8	0.0	27.3	63.8	0.0	5.1	11.8	0.0	16.5	38.5	2.8	0.0	0.0	0.0	3.6	1.0	0.0	2.2	
2044	21.0	0.0	49.0	7.2	0.0	16.9	4.5	0.0	10.6	10.8	10.8	14.4	0.0	27.9	65.1	0.0	5.3	12.3	0.0	17.2	40.0	3.0	0.0	0.0	0.0	3.8	1.0	0.0	2.3	

Tablo 4.9: FSM-Çakmak bölgesi için ikili toplama akımları içindeki miktarlar (binton).

Yıl	Plastik Pet Poşet			Cam			Metal			Kağıt-Karton Kompozit			Mutfak-Park Bahçe (organic)			Diğer Yanabilir			Tekstil, Deri, Çocuk Bezi			EEEA			Diğer Yanmayan			Tehlikeli Atıklar		
	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık	Geni Dönüştürülebilir	Biyobuzunur	Karışık			
2020	4.1	0.0	9.5	2.4	0.0	5.5	0.3	0.0	0.8	4.5	4.5	5.9	0.0	17.5	40.9	0.0	2.7	6.2	0.0	1.9	4.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.9		
2021	4.3	0.0	10.1	2.6	0.0	6.0	0.4	0.0	1.0	4.7	4.7	6.3	0.0	18.0	42.0	0.0	2.8	6.5	0.0	2.0	4.8	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.9			
2022	4.6	0.0	10.8	2.7	0.0	6.4	0.5	0.0	1.2	5.0	5.0	6.7	0.0	18.5	43.1	0.0	2.9	6.9	0.0	2.1	5.0	0.2	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0	1.0		
2023	4.9	0.0	11.4	2.9	0.0	6.9	0.6	0.0	1.4	5.3	5.3	7.1	0.0	18.9	44.2	0.0	3.1	7.2	0.0	2.2	5.2	0.2	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0	1.0		
2024	5.2	0.0	12.1	3.2	0.0	7.4	0.7	0.0	1.7	5.6	5.6	7.5	0.0	19.4	45.3	0.0	3.2	7.5	0.0	2.3	5.5	0.3	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0	1.1		
2025	5.5	0.0	12.8	3.4	0.0	7.9	0.8	0.0	1.9	6.0	6.0	7.9	0.0	19.9	46.5	0.0	3.4	7.9	0.0	2.5	5.7	0.3	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0	1.2		
2026	5.8	0.0	13.6	3.6	0.0	8.4	1.0	0.0	2.2	6.3	6.3	8.4	0.0	20.4	47.6	0.0	3.5	8.2	0.0	2.6	6.0	0.4	0.0	0.0	0.7	0.5	0.0	1.2		
2027	6.1	0.0	14.3	3.8	0.0	8.9	1.1	0.0	2.5	6.7	6.7	8.9	0.0	20.9	48.7	0.0	3.7	8.6	0.0	2.7	6.3	0.4	0.0	0.0	0.7	0.6	0.0	1.3		
2028	6.5	0.0	15.1	4.1	0.0	9.5	1.2	0.0	2.8	7.0	7.0	9.4	0.0	21.4	49.9	0.0	3.8	9.0	0.0	2.8	6.6	0.5	0.0	0.0	0.8	0.6	0.0	1.4		
2029	6.9	0.0	16.0	4.3	0.0	10.1	1.3	0.0	3.1	7.4	7.4	9.9	0.0	21.9	51.0	0.0	4.0	9.4	0.0	2.9	6.9	0.5	0.0	0.0	0.9	0.6	0.0	1.5		
2030	7.2	0.0	16.9	4.6	0.0	10.8	1.5	0.0	3.5	7.8	7.8	10.4	0.0	22.3	52.1	0.0	4.2	9.8	0.0	3.1	7.2	0.6	0.0	0.0	0.9	0.7	0.0	1.5		
2031	7.6	0.0	17.8	4.9	0.0	11.4	1.6	0.0	3.8	8.2	8.2	10.9	0.0	22.8	53.3	0.0	4.4	10.2	0.0	3.2	7.5	0.6	0.0	0.0	1.0	0.7	0.0	1.6		
2032	8.0	0.0	18.7	5.2	0.0	12.1	1.8	0.0	4.2	8.6	8.6	11.5	0.0	23.3	54.5	0.0	4.6	10.6	0.0	3.3	7.8	0.7	0.0	0.0	1.1	0.7	0.0	1.7		
2033	8.4	0.0	19.7	5.5	0.0	12.8	2.0	0.0	4.6	9.1	9.1	12.1	0.0	23.8	55.6	0.0	4.7	11.1	0.0	3.5	8.1	0.7	0.0	0.0	1.2	0.8	0.0	1.8		
2034	8.9	0.0	20.7	5.8	0.0	13.6	2.2	0.0	5.0	9.5	9.5	12.7	0.0	24.3	56.8	0.0	4.9	11.5	0.0	3.6	8.5	0.8	0.0	0.0	1.2	0.8	0.0	1.9		
2035	9.3	0.0	21.7	6.1	0.0	14.3	2.3	0.0	5.5	10.0	10.0	13.4	0.0	24.8	57.9	0.0	5.1	12.0	0.0	3.8	8.8	0.8	0.0	0.0	1.3	0.9	0.0	2.0		
2036	9.8	0.0	22.8	6.5	0.0	15.1	2.5	0.0	5.9	10.5	10.5	14.0	0.0	25.3	59.1	0.0	5.4	12.5	0.0	3.9	9.2	0.9	0.0	0.0	1.4	0.9	0.0	2.1		
2037	10.3	0.0	23.9	6.8	0.0	15.9	2.7	0.0	6.4	11.0	11.0	14.7	0.0	25.8	60.3	0.0	5.6	13.0	0.0	4.1	9.6	1.0	0.0	0.0	1.5	0.9	0.0	2.2		
2038	10.8	0.0	25.1	7.2	0.0	16.8	3.0	0.0	6.9	11.5	11.5	15.4	0.0	26.3	61.4	0.0	5.8	13.5	0.0	4.3	10.0	1.1	0.0	0.0	1.6	1.0	0.0	2.3		
2039	11.3	0.0	26.3	7.6	0.0	17.7	3.2	0.0	7.4	12.1	12.1	16.1	0.0	26.8	62.6	0.0	6.0	14.1	0.0	4.4	10.4	1.1	0.0	0.0	1.7	1.0	0.0	2.4		
2040	11.8	0.0	27.6	8.0	0.0	18.6	3.4	0.0	7.9	12.6	12.6	16.9	0.0	27.3	63.8	0.0	6.3	14.6	0.0	4.6	10.8	1.2	0.0	0.0	1.8	1.1	0.0	2.5		
2041	12.4	0.0	28.8	8.4	0.0	19.6	3.6	0.0	8.5	13.2	13.2	17.6	0.0	27.8	65.0	0.0	6.5	15.2	0.0	4.8	11.2	1.3	0.0	0.0	1.9	1.1	0.0	2.7		
2042	12.9	0.0	30.2	8.8	0.0	20.6	3.9	0.0	9.1	13.8	13.8	18.4	0.0	28.3	66.1	0.0	6.8	15.8	0.0	5.0	11.6	1.4	0.0	0.0	2.0	1.2	0.0	2.8		
2043	13.5	0.0	31.5	9.2	0.0	21.6	4.1	0.0	9.7	14.5	14.5	19.3	0.0	28.8	67.3	0.0	7.0	16.4	0.0	5.2	12.1	1.5	0.0	0.0	2.1	1.3	0.0	2.9		
2044	14.1	0.0	33.0	9.7	0.0	22.6	4.4	0.0	10.3	15.1	15.1	20.1	0.0	29.3	68.5	0.0	7.3	17.0	0.0	5.4	12.6	1.6	0.0	0.0	2.2	1.3	0.0	3.1		

4.3.2. Proseslere İlişkin Öngörüler

Proses öngörülleri Tablo 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14 içerisinde sunulmuştur. Veriler yalnızca birinci proses tipi ve birinci kapasite açısından 2020 yılı için modele girilen verilerdir. Ne yazık ki 2020 yılından itibaren bu öngörülerin yıllar içinde nasıl değişeceği ve birinci proses ve birinci kapasiteler dışında herhangi bir proses ve kapasite alternatifi verisine ulaşamadığı için yıllar içinde veriler aynı tutulmuş ve ayrıca ikinci proses ve ikinci kapasite alternatifleri birincilerle aynı kabul edilmiştir. Transfer istasyonları için modele iki farklı istasyon tipi (düşey yönde sıkıştırırmalı ve yatay yönde sıkıştırırmalı silo sistemleri) için veriler girilmiştir. Fiziksel işlem seçenekleri olarak single-stream material recovery facility (S-MRF) ve mixed-waste material recovery facility (M-MRF) olmak üzere iki farklı seçenek girilmiştir. Biyolojik işlem seçeneği için kompostlaştırma ve anaerobik digestion seçenekleri, termal işlem için kütleli yakma ve piroliz, depolama için ise karışık atık depolama ve kül depolama seçenekleri düşünülmüştür.

Tablo 4.10: Yoğunluk bölgelerinden taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması (%).

	Plastik Pet Poşet	Cam	Metal	Kâğıt-Karton Kompozit	Mutfak-Park Bahçe	Diğer Yanabilir	Tekstil, Deri, Çocuk Bezi	EEEA	Diğer Yanmayan	Tehlikeli Atıklar
Transfer İstasyonuna Gelen Atık (F1, F2, F3)	0.2	0.2	0.2	0.5	1	0.5	0.5	0	0.1	0.1
	0.2	0.2	0.2	0.5	1	0.5	0.5	0	0.1	0.1
	0.2	0.2	0.2	0.5	1	0.5	0.5	0	0.1	0.1
Fiziksel İşleme Gelen Atık (P1, P2, P3)	95	95	95	95	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	75	45	75	40	0	0	0	0	0	0
Biyolojik İşleme Gelen Atık (B1, B2, B3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	90	90	90	90	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Termal İşleme Gelen Atık (T1, T2, T3)	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
Depolamaya Gelen Atık (L1, L2, L3)	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0

Tablo 4.11: Transfer bölgelerinden taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması (%).

	Plastik Pet Poşet	Cam	Metal	Kâğıt-Karton Kompozit	Mutfak-Park Bahçe	Diğer Yanabilir	Tekstil, Deri, Çocuk Bezi	EEEEA	Diğer Yanmayan	Tehlikeli Atıklar
Fiziksel İşleme Gelen Atık (P4, P5, P6)	95	9	9	95	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	75	4	7	40	0	0	0	0	0	0
Biyolojik İşleme Gelen Atık (B4, B5, B6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	90	90	90	90	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Termal İşleme Gelen Atık (T4, T5, T6)	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
Depolamaya Gelen Atık (L4, L5, L6)	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0

Tablo 4.12: Fiziksel işlemde taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması (%).

	Plastik Pet Poşet	Cam	Metal	Kâğıt- Karton	Mutfak- Park Bahçe	Diğer Yanabilir	Tekstil, Deri, Çocuk Bezi	EEEEA	Diğer Yanmayan	Tehlikeli Atıklar
Biyolojik İşleme Gelen Atık (B7 -12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Termal İşleme Gelen Atık (T7-12)	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
Depolamaya Gelen Atık (L7-12)	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0

Tablo 4.13: Biyolojik işlemde taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması (%).

	Plastik Pet Poşet	Cam	Metal	Kâğıt- Karton	Mutfak-Park Bahçe	Diğer Yanabilir	Tekstil, Deri, Çocuk Bezi	EEEA	Diğer Yanmayan	Tehlikeli Atıklar
Termal İşleme Gelen Atık (T13-24)	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
	90	0	0	90	90	90	90	0	0	90
Depolamaya Gelen Atık (113-24)	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0
	0	0	0	50	80	50	50	0	0	0

Tablo 4.14: Termal işlemde taşınan atıkların proseslerdeki kütle azalması (%).

	Plastik Pet Poşet	Cam	Metal	Kâğıt-Karton Kompozit	Mutfak-Park Bahçe	Diğer Yanabilir	Tekstil, Deri, Çocuk Bezi	EEEA	Diğer Yanmayan	Tehlikeli Atıklar
Depolamaya Gelen Atık (L25-48)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.3.3. Proses Maliyetlerine İlişkin Öngörüler

Proses maliyetlerine ilişkin öngörüler Tablo 4.15 içerisinde sunulmuştur. Veriler yalnızca birinci proses tipi ve birinci kapasite açısından 2020 yılı için modele girilen verilerdir. Ne yazık ki 2020 yılından itibaren bu öngörülerin yıllar içinde nasıl değişeceği ve birinci proses ve birinci kapasiteler dışında herhangi bir proses ve kapasite alternatifi verisine ulaşılamadığı için yıllar içinde veriler aynı tutulmuş ve ayrıca ikinci proses ve ikinci kapasite alternatifleri birincilerle aynı kabul edilmiştir. Kaynakta ayrı toplanmış geri dönüştürülebilir atık kütlelerinin bir ton satış getirisi 100 Euro şeklindedir.

Tablo 4.15: Proses maliyetlerine ilişkin öngörüler.

	Yatırım Maliyeti (Euro/Tesis)	İşletim Maliyeti (Euro/ Ton Gelen Atık)	Ürün Satış Getirisi (Euro/ Ton Çıkan Ürün)
Düşey Sıkıştırılmalı Transfer İstasyonu	2500000	5	
MRF	4500000	30	100 – 225
Kompostlaştırma	4500000	30	15
Kütlesel Yakma	75000000	50	5
Karışık Atık Depolama	80000000	30	2.5

4.3.4. Taşıma ve Alan Maliyetlerine İlişkin Öngörüler

Atıkların ev ve işyerlerinde oluştuktan sonra yoğunlaşma bölgesinde toplanmasına kadar kat edilen yol miktarı her bir bölge için farklıdır. Bu çalışmada Ümraniye'nin üç bölgesinde oluşan atıkların her gün toplanması için geçilmesi gereken toplam yol miktarı Hekimbaşı, FSM-Çakmak ve Esenkent için sırasıyla 29, 25, 33 km'dir. Günlük toplama işleminde kullanılan araç sayıları ise sırasıyla 13, 13 ve 15'dir. Diğer taşıma maliyetleri ve uzaklıklar ile alan maliyetleri Tablo 4.16, 4.17 ve 4.18 içerisinde sunulmuştur.

Tablo 4.16: Taşıma maliyetlerine ilişkin öngörüler (Euro/ton atık.km).

Yoğunluk Bölgesinden Taşıma Maliyeti	0.5
Transfer Bölgesinden Taşınma Maliyeti	0.4
Bertaraf Bölgesinden Taşınma Maliyeti	0.3

Tablo 4.17: Ümraniye çalışması için uzaklık matrisi (km).

	A1	A2	A3	S1	S2	S3	D1	D2	M1	M2
A1	0	3,4	7,9	4,6	5,2	11,8	6,2	12	13,4	11
A2	3,4	0	4,5	6,5	2,9	7,8	4,9	8,6	8,6	5,1
A3	7,9	4,5	0	9,2	3,6	2,8	5,3	6,5	5,7	4
S1	4,6	6,5	9,2	0	8	18	5,6	15	16,3	13
S2	5,2	2,9	3,6	8	0	10	2,1	10,2	8,8	4,4
S3	11,8	7,8	2,8	18	10	0	5,7	5,5	3,7	1,2
D1	6,2	4,9	5,3	5,6	2,1	5,7	0	9,5	6,8	6,1
D2	12	8,6	6,5	15	10,2	5,5	9,5	0	6,5	5,7
M1	13,4	8,6	5,7	16,3	8,8	3,7	6,8	6,5	0	5
M2	11	5,1	4	13	4,4	1,2	6,1	5,7	5	0

Tablo 4.18: Alan maliyetlerine ilişkin öngörüler (Euro/hektar.yıl).

S1	2823
S2	11764
S3	10588
D1	11764
D2	8400

4.3.5. Kısıtlar ve Alan İhtiyacı Öngörülleri

Kazanç maksimizasyonu için yapılandırılacak olan modelimizdeki her karar birimi belirli kısıtlarla sınırlandırılmak durumundadır. Bu kısıtların temel gerekçesi, modelin gerçek uygulamalara uyumlu karar verebilmesini sağlamaktır. Örneğin bir termal işleme gelecek atık kütle seçenekleri için modelin nasıl bir değerlendirme yapması gerektiği, modele bir ısı değer kısıtı girilerek belirlenir. Toplam karar birimi için ise bu ana kısıt, mevzuatlar tarafından verilen sınırlamalara uygun olarak yapılandırılacaktır (geri dönüştürülebilir atıklar içindeki ambalaj atıkların en az % 60'ı ayrı toplanmak zorundadır gibi).

Sözü edilen ana kısıtlar dışında her bir karar birimi için alt kısıtlar da modellenmek durumundadır. Bu alt kısıtlar temel olarak ilgili işlem ya da proseslerin

atık kapasiteleri ile ilgilidir. Örneğin bir biyolojik işlem tesisine alınabilecek en az ve en çok atık miktarları modele bir kısıt olarak girilecektir. Proses kısıtlarının dışında kalan alt kısıtların en önemlisi ise; transfer bölgelerine (S) yalnızca transfer istasyonu, bertaraf bölgelerine (D) ise yalnızca fiziksel-biyolojik-termal-depolama işlemlerinin yapılması gerekliliği gibi inşa kısıtlarıdır. Ayrıca her bölgeye aynı tesis tipinden yalnızca bir tane yapılmasına izin verilecektir.

Modelde bulunan toplama dışındaki karar birimlerinin her biri için bir alan gereklidir. Bu anlamda depolama dışındaki her bir birim için gerekli alan ihtiyaçları önceden bilinmek durumundadır. Depolama dışındaki tesisler yılda 330 gün çalıştırılır. Tesislerin günlük kapasitenin en az ve en fazla yarısı kadar atık tesise gelebilir. Bu durum yakma tesisi için en az ve en çok, kapasitenin % 15'i olarak belirlenmiştir. Depolama alanlarının kapasite sınırı ise maksimum atık alma değeri üzerinden belirlenmiştir. Buna göre 10000 dönüm alan için beklenen atık depolama miktarı 26250000 ton kadardır. Bu alanın 25 yıldan önce dolması istenmediğine göre, günde 2875 ton'dan fazla atık alınmaması gerekir. Proses ve işlemlerin kapasite kısıtları ile alan ihtiyaçları Tablo 4.19'da sunulmuştur.

Tablo 4.19: Proses ve işlemlerin kapasite kısıtları ile alan ihtiyaçları.

	Proses Tipi	Kapasite Kısıtı (ton/gün)	Gerekli Alan (dönüm)
Transfer İstasyonu	600 ton/gün kapasiteli düşey yönde sıkıştırılmalı silo sistemi – 25 silo	$300 < x < 900$	8
Fiziksel İşlem	300 ton/gün kapasiteli mekanik ekipman seviyesi az, karışık atık materyal dönüşüm tesisi	$150 < x < 450$	4
Biyolojik İşlem	300 ton/gün kapasiteli organik kısmın % 40'ını ürüne çeviren, toplamda % 90 kütle azaltımı sağlayan tunnel tipi kompost sistemi	$150 < x < 450$	50
Termal İşlem	750 ton/gün kapasiteli cam-metal-inert atıklar dışında % 90 kütle azaltımı sağlayan kütleli atık yakma tesisi	$638 < x < 863$	60
Depolama	Yakma tesislerinden gelebilecek olan kül hariç düzenli depolamaya gelen her bir ton atık başına 23 kwh enerji üretebilecek olan karışık atık depolama tesisi	< 2875	10000

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe göre, yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl içerisinde, doğrudan depolama alanlarına gidebilecek olan biyobozunabilir atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunabilir atık (BBA) miktarının ağırlıkça % 75'ine, 8 yıl içinde % 50'sine ve 15 yıl içinde ise % 35'ine indirilmek zorundadır [ADDDY, 2010]. 2005 yılında

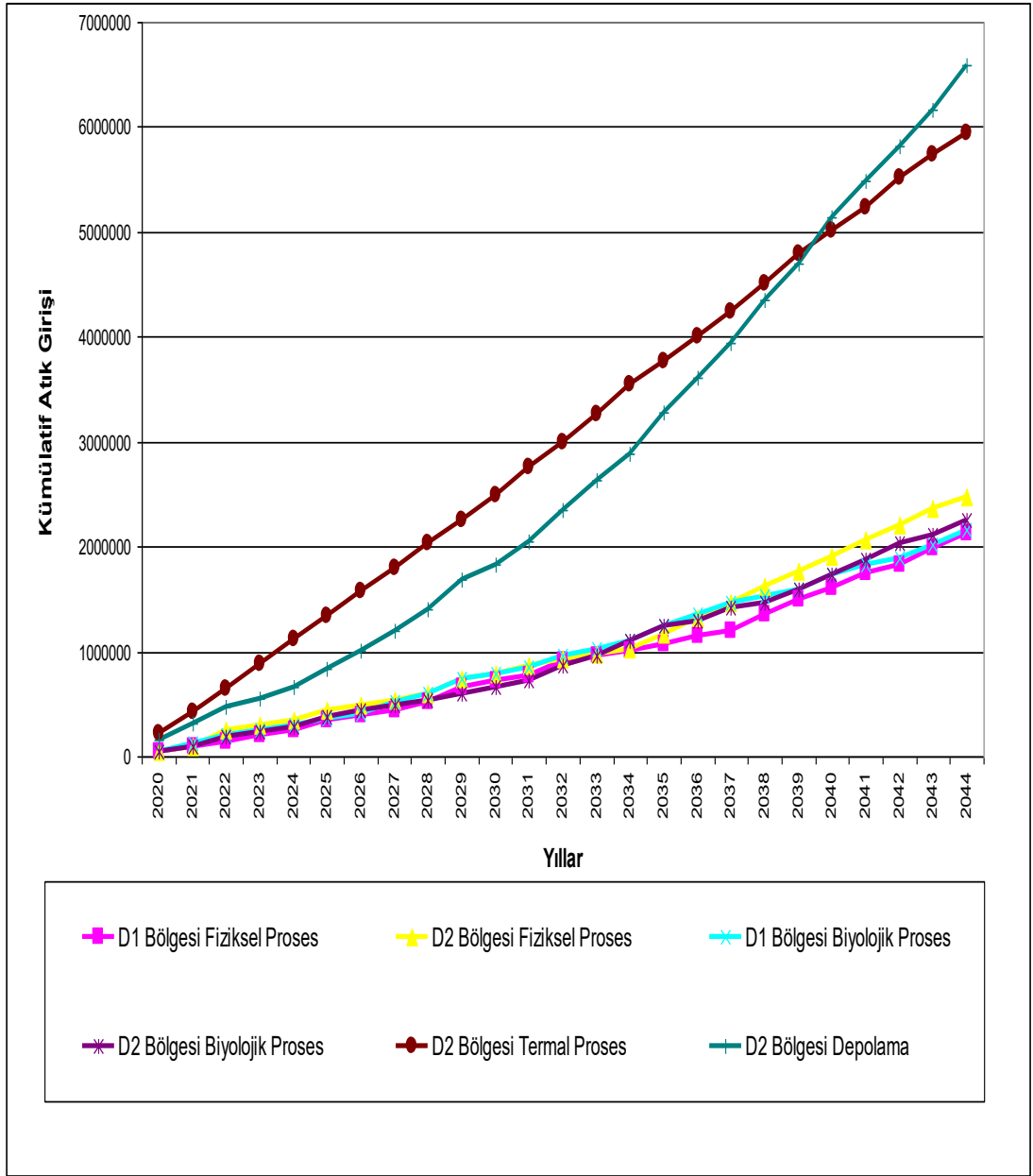
Ümraniye nüfusu yaklaşık 500,000 kişi olarak kabul edilebilir. Kişi başına günde 1 kg atık oluştuğu, ve oluşan atığın yaklaşık % 70'inin biyobozunabilir olduğu ve o dönem tüm atığın depolamaya gittiği düşünülürse depolamaya giden biyobozunabilir atık miktarı 350 ton/gün şeklindedir. Dolayısıyla, Ümraniye için, 2020-2025 arasında, üretilen biyobozunabilir kütlenin (kâğıt karton/mutfak-parkbahçe/diğer yanabilir bileşenleri) 175 ton/gün'den (63875 ton/yıl), 2025 yılından itibaren ise 122.5 ton/gün'den (44712.5 ton/yıl) fazlası depolamaya doğrudan gidemez. Elimizdeki atık verilerinden hareketle (Ümraniye için 2020 yılı için biyobozunabilir atık miktarı öngörümüz yaklaşık 76982 ton), bu kısıttan ötürü modelimizin, başlangıç yılı olan 2020 yılından itibaren depolama alanıyla birlikte fiziksel, biyolojik ya da termal bir tesis kararı vereceğini şimdiden söylemek mümkündür.

Kalorifik (ısı) değeri; bir yakma tesisinde kentsel katı atıkların organik kısmının yanması sonucu açığa çıkan enerji içeriği olarak tanımlanır ve kentsel katı atığın enerji içeriğini ifade etmede kullanılan bir parametredir [Chang et al., 2007]. Evsel katı atıklar için verilebilecek tipik kalorifik değer aralığı 3000-10000 kJ/kg şeklindedir [Ruth, 1998], [Kathirvale et al., 2003]. Bir yakma tesisinde ilave yakıt kullanmaksızın enerji elde etmek için atığın kalorifik değeri 8000-9000 kJ/kg olmalıdır [Kaçar, 1999]. Bu çalışmada; bir yakma tesisine gelen atık kütlesinin ısı değeri HV en az 8000 kJ/kg (1910 kcal/kg) ile kısıtlanmıştır.

5. SONUÇLAR

Elde edilen modele ait math dosyası kodları EK 2’de sunulmuştur. Çalışma bölgesi için elde edilen model 1174070 kısıt, 1641088 parametre ve 6815132 non-zero değişken içermektedir. Windows Command Prompt ile çözülen model 2.60 Ghz işlemci ve 6.00 GB hafızalı, 64 bit işletim sistemli bir bilgisayarda yaklaşık 1 saat içinde optimal çözüme ulaşmaktadır. Toplam kazancın maksimize edilmesi için yapılandırılan modelde çalışma bölgesi için elde edilen optimal çözüme göre, 25 yıllık sürecin tamamı için 281112666 Euro kazanç beklenmektedir. Bu kazancın sağlanacağı yapı için model tarafından önerilen prosesler; D1 bertaraf bölgesinde bir adet 300 ton/gün kapasiteli karışık atık materyal dönüşüm tesisi, D2 bertaraf bölgesinde bir adet 300 ton/gün kapasiteli karışık atık materyal dönüşüm tesisi, D1 bertaraf bölgesinde bir adet 300 ton/gün kapasiteli tunnel tipi kompost sistemi, D2 bertaraf bölgesinde bir adet 300 ton/gün kapasiteli tunnel tipi kompost sistemi, D2 bertaraf bölgesinde bir adet 750 ton/gün kapasiteli kütleli atık yakma tesisi, D2 bertaraf bölgesinde bir adet 10000 dönüm yüzey alanına sahip karışık atık depolama tesisi şeklindedir.

Proje süresi boyunca ayrı toplanan geri dönüştürülebilir nitelikteki atık kütlelerinin yaklaşık 0.6 milyon ton kadarı doğrudan müşterilere gönderilmiştir. Buna ilave olarak fiziksel işlem proseslerinde işlenen atıklardan yaklaşık 1.6 milyon ton geri dönüştürülmüş atık müşteriye gönderilmiştir. Ayrıca biyolojik işlemlerden yaklaşık 1.9 milyon ton kompost elde edilmektedir. Şekil 5.1’den de görülebileceği üzere atık kütlelerinin önemli bir bölümü kurulan termal proses (yaklaşık 6 milyon ton) ve depolama alanı (yaklaşık 6.5 milyon ton) yoluyla bertaraf edilmektedir. Bu kütlelerin bertarafıyla ısı ve elektrik elde edilmektedir. Yaklaşık 4.5 milyon ton atık fiziksel işlem tesislerinde işlenirken, benzer bir miktar da biyolojik işlem tesislerinde işlenmektedir. Bertaraf işleminin önemli bir kısmı D2 bölgesinde yapılmaktadır. Bunun temel nedeninin, D2 bölgesinin D1 bölgesine göre müşteri bölgelerine daha yakın olması olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, depolama alanına gidecek olan atık miktarı göz önüne alınırsa 10000 dönüm yerine 3000 dönümlük bir alanın yeterli olacağı söylenebilir.



Şekil 5.1: Önerilen prosesler için kümülatif atık girişleri (ton).

6. ÖNERİLER

Çalışmada uygulanan saha çalışması için elde edilen yerel veriler çoğunlukla Ümraniye Belediyesi'nden sağlanmıştır. Sağlanan proses ve maliyet verileri, belediyenin imkanlarının kısıtlı olmasından ötürü literatür bilgileriyle de desteklenmiştir. Yine de kullanılan verilerin yeterli düzeyde olduğunu söylemek oldukça güçtür. Bu çalışmanın temel amacı, çalışmada yapılandırılan matematiksel modelin uygulanabilirliğini göstermek olduğu için, alan çalışması sonuçları yerine, modelin kullanılabilirliği üzerinde durmak daha sağlıklı olacaktır. Bu anlamda model, yetersiz verilerle de olsa düzgün bir biçimde çalıştırılmış ve sonuç elde edilmiştir. Gelecekte yapılacak iş, modelin kullanılacağı alan çalışmaları için daha sağlıklı ve yeterli düzeyde verinin elde edilebilmesinin yollarının aranmasıdır.

İdeal bir biçimde yapılandırılmış bir evsel katı atık yönetimi sistemi modeli; hizmet verilecek yerleşim bölgelerinin alt bölgelere bölünlenip atığın toplama biçiminin belirlenmesi (Atık Toplama), atık kütlesinin seçilecek proseslere dağıtılması (Atık Dağıtım), atıkların sistem içinde taşınması (Yer Seçimi) ve kapasite genişletme olanaklarının belirlenmesi (Kapasite Genişletme) gibi altı bir atık yönetim problematiğini çözmek durumundadır [Ghiani et al., 2014], [ThiKimOanh et al., 2015]. Önceki bölümlerde sözü edilen altı katmanlı atık yönetimi problematiğinin tüm katmanlarının aynı anda dikkate alınması ideal çözüme ulaşabilmek için son derece önemlidir. Örneğin, atık yönetimi çalışmalarında oluşan toplam maliyet içinde, taşıma maliyetlerinin etkisi % 80 gibi son derece yüksek boyutlara ulaşabilmektedir [Belien et al., 2011]. Buna göre, 6 katmanlı problem için atık taşıma ve prosesler için yer seçimi katmanlarını dikkate almayan modellerin ideal sonuca ulaşması mümkün değildir. Bu katmanları, proses kararlarını aldıktan sonra hayata geçirmek de yeterli olamaz. Bu çalışmanın temel amacı, önceki bölümlerde sözü edilen altı katmanlı atık problematiğinin tüm sorularına aynı anda cevap verebilecek doğrusal bir maliyet optimizasyon modeli oluşturabilmektir. Ayrıca söz konusu model; transfer, fiziksel, biyolojik, termal ve depolama işlemleri için birden fazla alternatif, bu alternatifler için birden fazla kapasite alternatifi ve işlemlerin uygulanacağı transfer bölgeleri, bertaraf bölgeleri ve ürünlerin satılacağı müşteri bölgeleri için birden fazla alternatif söz konusu olduğunda ortaya çıkan karmaşık yapıyı çözebilmek iddiasındadır. Bu çalışmada yapılandırılan yeni model

yapısı, altı katmanlı problematiğin “waste allocation”, “process selection”, “location selection”, “capacity extension” ve “waste transportation” adımlarına doğrudan cevap verebilecek güce sahiptir. Altılı problematiğin “collection” adımı olan yerleşim yerlerinden atığın toplanması için ise model şu şekilde hareket eder: Çalışma alanı kullanıcı tarafından uygun sayıda ve lokasyonda alt bölümlere bölünür (subdivison) ve tüm bu alt bölgeler için atık verileri düzenlenir. Alt bölgelerde toplanan atıklar (collection), her alt bölgenin merkez noktası olarak belirlenen atık yoğunlaşma bölgesinde kesişmiş olarak kabul edilir. Modelin vereceği tüm kararlar bu kabul üzerine kuruludur. Yoğunlaşma bölgesi sayısı arttıkça ideal çözüme ulaşmak kolaylaşır. Atıkların evlerden toplanıp bu yoğunlaşma bölgelerine getirilme işi ise bu modelin konusu dışındadır. Bu anlamda model, temel bir toplama işi için yönlendirme işlevi görürken, atıkların hangi sıklıkla toplanacağı (routing) ve bunun maliyetinin ne olacağı konularında bir şey söylemez. Ayrıca model tesislerin hangi bölgelerde yapılması gerektiğine karar vermekle birlikte (location selection), tesislerin yapılacağı nihai noktalar, özel yer seçimi uygulamaları ile belirlenmek durumundadır.

Çalışmanın ilk kısımlarında da bahsedildiği üzere, MSWM uygulamalarında sıkça kullanılan life cycle assessment (LCA) gibi performans değerlendirme araçları (SETs), senaryo temelli uygulamalardır. Bu doğrultuda, bu tip uygulamalar çoğu zaman senaryo dışında kalan pek çok olasılığı göz ardı etmek durumunda kalırlar [Tascione et al., 2014]. Bu durum pek çok belirsizliği beraberinde getirir. LCA çalışmalarının taşıdığı belirsizlikler; 1) veri yetersizliği, ölçüm hataları gibi kaynaklardan gelen belirsizlikleri ifade eden parametre belirsizlikleri, 2) senaryoların inşa edilmesi için yapılan tercihlerden kaynaklı senaryo belirsizlikleri, 3) LCA hesaplamalarını yapan matematik modelden kaynaklı model belirsizlikleri olarak sınıflandırılabilir [Clavreul et al. 2012]. Sözü edilen son iki belirsizlik türü, temelde, ideal bir biçimde yapılandırılmamış olan model yapıları ile ilişkilidir. Bu anlamda, ideal bir biçimde yapılandırılmış bir optimizasyon yapısının LCA uygulamalarına entegre edilmesi, bu uygulamaların içerdiği belirsizliklerin önemli bir bölümünü ortadan kaldırmaya yardımcı olabilir. 2016 yılında V. Tascione, R. Mosca ve A. Raggi tarafından yapılan çalışma doğrusal bir optimizasyon yapısının bir LCA uygulamasına entegre edilmesi konusundaki en güncel çalışma olarak gösterilebilir [Tascione et al., 2016]. Öte yandan söz konusu çalışmanın da kütle dengesi incelendiğinde quadratik form sorununa ilişkin herhangi bir çözüm sunmadığı açıkça

görülür. Bu çalışmada elde edilen yeni optimizasyon yapısı ise, aynı zamanda LCA uygulamalarının söz konusu belirsizlik sorununun çözümüne de katkı sunma iddiasındadır. Bu çalışmada elde edilen modelin sunduğu temel yapının kullanılması halinde, bu tür modellerin içerdiği belirsizliklerin ortadan kaldırılması çok daha kolay olacaktır.

Sonuç olarak oluşturulan yeni model yapısı, kentsel katı atık yönetiminde uzun dönemli sistem tasarımları ve LCA uygulamaları için; verilerden kaynaklı belirsizlikler, atık toplama alt bölgelerindeki nihai rotalama çalışmaları ve prosesler için belirlenen lokasyonlardaki nihai yer seçimi uygulamaları dışındaki tüm ihtiyaçlara aynı anda cevap verebilme iddiasındadır. Atık yönetiminde prosesler için yer seçimi ve atık toplama için rota belirleme işlemleri gibi sorunlar, bazı tartışmalı noktaları olsa da Geographic Information Systems (GIS) kullanımı ile büyük oranda çözülebilmektedir [Korucu and Erdagı, 2012], [Korucu et al., 2013], [Korucu and Karademir, 2014], [Demirarslan et al., 2016], [Vu et al., 2018]. Atık miktarı ve maliyet verilerindeki belirsizliklerin giderilmesi konusunda ise halen önemli bir çalışma açığı bulunmaktadır [Intharathirat et al., 2015], [Massarutto, 2015], [Kolekar et al., 2016].

KAYNAKLAR

- Ağdağ O.N., (1997), “Kentsel katı atıkların yönetiminde sistem analizi”, 1. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, 237-247, Gaziantep, Türkiye, 20-22 Kasım.
- Anand S., (2010), “Solid Waste Management”, 1st Edition, Mittal Samuel ILCP Press.
- Ayberk S., (1995), Katı Atık Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit.
- Bartone C.R., (1997), “Strategies for improving urban waste management: a view from the World Bank”, International Conference on Development and Environmental Impact, Riyadh, Saudi Arabia, 21-23 September.
- Bay M., (2018), “Belediyelerde Atık Yönetimi ve Politikaları: Karaman Örneği”, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 11, 769-781.
- Bazaraa S. B., Sherali H. D., Shetty C. M., (2006), “Nonlinear programming: Theory and Algorithms”, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc.
- Belien J., De Boeck L., Van Ackere J., (2011), “Municipal solid waste collection problems: A literature review”, Hub Research Papers, 34, 1-37.
- Bilitewski B., Marek K., Hardtle G., (1994), “Waste Management”, 3rd Edition, Springer-Verlag Berlin Hiedelberg.
- Boyd S., Vandenberghe L., (2004), “Convex Optimization”, 1st Edition, Cambridge UP.
- Bozkurt S., (2012), “Evsel Nitelikli Katı Atıkların Geri Dönüşüm Olasılıkları ve Bertaraf Yöntemlerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Chang Y. F., Lin C. J., Chyan J. M., Chen I. M., Chang J.E., (2007), “Multiple regression models for the lower heating value of municipal solid waste in Taiwan”, Journal of Environmental Management, 85, 891-899.
- Chang Y. J., Lin M. D., (2013), “Compromising economic cost and air pollutant emissions of municipal solid waste management strategies by fuzzy multiobjective optimization model”, Journal of the Air & Waste Management Association, 63 (6), 712-723.
- Cheng S., Chan C. W., Huang G. H., (2003), “An integrated multi-criteria decision analysis and inexact-mixed integer linear programming approach for solid waste management”, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 16, 543-554.
- Christensen T. H., (2017), “Solid Waste Technology and Management”, 1st Edition, John Wiley and Sons Inc.

Clavreul, J., Guyonnet, D., Christensen T.H., (2012), "Quantifying uncertainty in LCA-modelling of waste management systems", Waste Management, 32 (12), 2482-2495.

Cobo S., Dominguez-Ramos A., Irabien A., (2017), "From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches", Resources, Conservation and Recycling, 135, 279-295.

ÇŞB, (2012), "Kompostlaştırma Tesisleri İçin Alan Seçimi Ve Teknolojiler Kompost Kalitesi Ve Kompost Üretimi İçin Kriterler", Yerel Yönetimlerin Çalışmasına Yardımcı Olacak Kılavuz Kitapçıklar, Ankara.

ÇKKDB, (2009), Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Yönetim Planı, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı.

ÇSB, (2015), Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetim Dairesi Başkanlığı, Belediye Atıklarının Yönetimi ve İlgili Mevzuat, Ankara.

ÇŞB, (2016), Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Katı Atık Yönetim Eylem Planı, Ankara.

ÇŞB, (2017), "Atık Yönetimi", Atık Yönetimi Sempozyumu, 1-56, Antalya, Türkiye, 27 Şubat-2 Mart.

Demirarslan K. O., Korucu M. K., Karademir A., (2016), "Did we choose the best one? A new site selection approach based on exposure and uptake potential for waste incineration", Waste Management & Research, 34 (8), 755-763.

EHCIP, (2005), Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması Projesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Ergun O., (2002), Katı Atık Yönetimi Ders Notları, Ondokuzmayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Samsun.

Ghiani G., Laganà D., Manni E., Musmanno R., Vigo D., (2014), "Operations research in solid waste management: A survey of strategic and tactical issues", Computers & Operations Research, 44, 22-32.

Gören S., Sengül A., Anıl İ., Mehan H., (2009), "Avrupa Birliği çevre yönetmeliklerine uyum sürecinde İstanbul'un entegre katı atık yönetimi uygulamaları", Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 33-40, İstanbul, Türkiye, Haziran.

Guo P., Huang G. H., He L., Sun B. W., (2008), "ITSSIP: Interval-parameter two-stage stochastic semi-infinite programming for environmental management under uncertainty", Environmental Modelling and Software, 23 (12), 1422-1437.

Guo P., Huang G., (2009), "Inexact fuzzy-stochastic mixed-integer programming approach for long-term planning of waste management-part a: methodology", Journal of Environmental Management, 91, 461-470.

Guo P., Huang G., (2010), "Interval-parameter semi-infinite fuzzy-stochastic mixed-integer programming approach for environmental management under multiple uncertainties", *Waste Management*, 30, 521-531.

Gülmez M., (2016), "Yerel Yönetimlerde Kentsel Katı Atık Yönetimi-Derince Belediyesi Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Harijani A. M., Mansour S., Karimi B., Lee, C. G., (2017), "Multi-period sustainable and integrated recycling network for municipal solid waste—A case study in Tehran", *Journal of Cleaner Production*, 151, 96-108.

He L., Huang G. H., Zeng G. M., Lu H. W., (2009), "Identifying optimal regional solid waste management strategies through an inexact integer programming model containing infinite objectives and constraints", *Waste Management*, 29, 21-31.

Hodge K. L., Levis J. W., DeCarolis J. F., Barlaz M. A., (2016), "Systematic evaluation of industrial, commercial, and institutional food waste management strategies in the United States", *Environmental science & technology*, 50 (16), 8444-8452.

Intharathirat R., Salam P. A., Kumar S., Untong A., (2015), "Forecasting of municipal solid waste quantity in a developing country using multivariate grey models", *Waste management*, 39, 3-14.

Jing S., Huang G. H., Xi B. D., Li Y. P., Qin X. S., Jiang Y., (2009), "A hybrid inexact optimization approach for solid waste management in the city of Foshan, China", *Journal of Environmental Management*, 91, 389-402.

Kaçar Y., (1999), "Evsel katı atıklardan yakma prosesi ile enerji eldesi", 3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 1-15, İzmir, Türkiye, 15-16 Kasım.

Kathirvale S., Yunus M. N. M., Sopian K., Samsuddin A. H., (2003), "Energy potential from municipal solid waste in Malaysia", *Renewable Energy*, 29, 559-567.

Kolekar K. A., Hazra T., Chakrabarty S. N., (2016), "A review on prediction of municipal solid waste generation models", *Procedia Environmental Sciences*, 35, 238-244.

Korucu M. K., (2015), "Evsel Nitelikli Atık İşleme ve Bertarafında Dışsal Maliyetlerin Yöntem Belirleme ve Yer Seçimi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi" Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi.

Korucu M. K., Alkan A., Cihan A., Karademir A., Aladag Z., (2017), "The effects of external costs on the system selection for treatment and disposal of municipal solid wastes: a deterministic case study for a pre-assessment", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19 (2), 946-958.

Korucu M. K., Arslan O., Karademir A., (2013), "Siting a municipal solid waste disposal facility, Part one: An evaluation of different scenarios for a site selection procedure", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63 (8), 879-885.

Korucu M. K., Cihan A., Alkan A., Ozbay I., Karademir A., Aladag Z., (2014), "Possibility of the most cost efficient choice: a divided process approach to method and location selection for municipal solid waste management", *Waste Management and Research*, 32, 1073-1082.

Korucu M. K., Erdagi B., (2012), "A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes", *Waste Management*, 32 (12), 2315-2323.

Korucu M. K., Karademir A., (2014), "Siting a municipal solid waste disposal facility, part II: the effects of external criteria on the final decision", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64 (2), 131-140.

Levis J. W., Barlaz M. A., DeCarolis J. F., Ranjithan S. R., (2013), "A generalized multistage optimization modeling framework for life cycle assessment-based integrated solid waste management", *Environmental modelling & software*, 50, 51-65.

Levis J. W., Barlaz M. A., DeCarolis J. F., Ranjithan S. R., (2014), "Systematic exploration of efficient strategies to manage solid waste in US municipalities: perspectives from the solid waste optimization life-cycle framework (SWOLF)", *Environmental science & technology*, 48(7), 3625-3631.

Li P., Chen B., (2011), "FSILP: Fuzzy-stochastic-interval linear programming for supporting municipal solid waste management", *Journal of Environmental Management*, 92, 1198-1209.

Li Y., Huang G., (2006), "An inexact two-stage mixed integer linear programming method for solid waste management in the City of Regina", *Journal of Environmental Management*, 81, 188-209.

Li Y., Huang G., (2010), "An interval-based possibilistic programming method for waste management with cost minimization and environmental-impact abatement under uncertainty", *Science of the Total Environment*, 408, 4296-4308.

Li Y., Huang G., Nie S., Qin X., (2007), "ITCLP: An inexact two-stage chance-constrained program for planning waste management systems", *Resources, Conservation and Recycling*, 49, 284-307.

Li Y., Huang G., Yang Z., Nie S., (2008), "An integrated two-stage optimization model for the development of long-term waste-management strategies", *Science of the Total Environment*, 392, 175-186.

Lu H., Huang G., He L., Zeng G., (2009), "An inexact dynamic optimization model for municipal solid waste management in association with greenhouse gas emission control", *Journal of Environmental Management*, 90, 396-409.

Maqsood I., Huang G. H., Zeng G., (2004), "An inexact two-stage mixed integer linear programming model for waste management under uncertainty", *Civil Engineering and Environmental Systems*, 21, 187-206.

Martinez-Sanchez V., Levis, J. W., Damgaard A., DeCarolis J. F., Barlaz M. A., Astrup, T. F., (2017), "Evaluation of externality costs in life-cycle optimization of municipal solid waste management systems", Environmental science & technology, 51 (6), 3119-3127.

Massarutto A., (2015), "Economic aspects of thermal treatment of solid waste in a sustainable WM system", Waste management, 37, 45-57.

Nie X., Huang G., Li Y., Liu L., (2007), "IFRP: A hybrid interval-parameter fuzzy robust programming approach for waste management planning under uncertainty", Journal of Environmental Management, 84, 1-11.

Öztürk İ., (2010), "Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları", 1. Baskı, Seçkin Yayıncılık.

Öztürk İ., Arıkan O., Altınbaş M., Alp K., Güven, H., (2015), "Katı atık geri dönüşüm ve arıtma teknolojileri el kitabı", 1. Baskı, Türkiye Belediyeler Birliği.

Öztürk, İ., (2015), "Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları", 3. Baskı, Seçkin Yayıncılık.

Palabıyık H., Altınbaş D., (2004), "Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi – Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler", 1. Baskı, Beta Yayınevi.

ResGaz 1, (1982), Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, 9 Ocak 1982 tarih ve 17844 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 10, (2011), Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 24 Ağustos 2011 tarih ve 28035 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 11, (2012), Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği, 22 Mayıs 2012 tarih ve 28300 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 12, (2015), Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2 Nisan 2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 13, (2015), Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, 5 Haziran 2015 tarih ve 29378 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 14, (2017), Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 25 Ocak 2017 tarih ve 29959 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 15, (2017), Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 27 Aralık 2017 tarih ve 30283 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 16, (2019), Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği, 21 Aralık 2019 tarih ve 30985 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 2, (1983), Çevre Kanunu, 11 Ağustos 1983 tarih ve 18132 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 3, (1984), Büyükşehir Belediyeleri Kanunu, 9 Temmuz 1984 tarih ve 18453 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 4, (2004), Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 18 Mart 2004 tarih ve 25406 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 5, (2004), Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği, 31 Ağustos 2004 tarih ve 25569 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 6 (2005), Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 22 Temmuz 2005 tarih ve 25883 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 7, (2006), Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 25 Kasım 2006 tarih ve 26357 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 8, (2008), Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, 30 Temmuz 2008 tarih ve 26952 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 9, (2010), Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 26 Mart 2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete.

Ruth L. A., (1998), “Energy from municipal solid waste: a comparison with coal combustion technology”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 24, 545-564.

Santibañez-Aguilar J. E., Ponce-Ortega J. M., González-Campos J. B., Serna-González M., El-Halwagi M. M., (2013), “Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste”, *Waste management*, 33 (12), 2607-2622.

Solano E., Dumas R. D., Harrison K., Ranjithan S. R., Barlaz M. A., Brill E. D., (2002b), “Life-cycle-based solid waste management II: illustrative applications”, *Journal of Environmental Engineering*, 128, 993–1005.

Solano E., Ranjithan S. R., Barlaz M. A., Brill E. D., (2002a), “Life-cycle-based solid waste management I: model development”, *Journal of Environmental Engineering*, 128, 981–992.

Srivastava A. K., Nema A. K., (2012), “Fuzzy parametric programming model for multi-objective integrated solid waste management under uncertainty”, *Expert Systems with Applications*, 39 (5), 4657-4678.

Stanisavljevic N., Levis J. W., Barlaz M. A., (2017), “Application of a Life Cycle Model for European Union Policy-Driven Waste Management Decision Making in Emerging Economies”, *Journal of Industrial Ecology*, 22(2), 341-355.

Su J., Xi B., Liu H., Jiang Y., Warith M., (2008), “An inexact multi-objective dynamic model and its application in China for the management of municipal solid waste”, *Waste Management*, 28, 2532-2541.

Suess M. J., Ugurlu A., (1994), “Katı atık yönetimi”, 1. Baskı, Çevre Mühendisleri Odası Yayını.

Talu N., (2006), Yerel Çevre Eylem Planları Türkiye Strateji Raporu, Bölgesel Çevre Merkezi Türkiye Yayını.

Tan Q., Huang G., Cai Y., (2010), “Waste management with recourse: an inexact dynamic programming model containing fuzzy boundary intervals in objectives and constraints”, Journal of Environmental Management, 91, 1898-1913.

Tan S. T., Lee C. T., Hashim H., Ho W. S., Lim J. S., (2014), “Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia”, Journal of Cleaner Production, 71, 48-58.

Tascione V., Mosca R., Raggi A., (2014), “LCA and linear programming for the environmental optimization of waste management systems: A Simulation”, Pathways to Environmental Sustainability: Methodologies and Experiences, 2, 13-22.

Tascione V., Mosca R., Raggi A., (2016), “Optimizing the environmental performance of integrated waste management scenarios by means of linear programming: as case study”, Journal of Cleaner Production, 112, 3086-3096.

Tchobanoglous G., Kreith F., (2002), “Handbook of solid waste management”, 2nd Edition, McGraw-Hill.

Tchobanoglous G., Theisen H., Eliassen R., (2003), “Solid Waste Management”, 1st Edition, Mc Graw Hill Inc.

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., (1993), “Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues”, 3rd Edition, McGraw-Hill.

ThiKimOanh L., Bloemhof-Ruwaard J. M., Van Buuren J. C., Van Der Vorst J. G., Rulkens W. H. (2015), “Modelling and evaluating municipal solid waste management strategies in a mega-city: The case of Ho Chi Minh City”, Waste Management & Research, 33 (4), 370-380.

Türkeş M., (2006), “Küresel iklimin geleceği ve Kyoto Protokolü”, Jeopolitik, 29, 99-107.

Türkiye Belediyeler Birliği, (2011), Çevre Kanunu ve Katı Atık Yönetimi ile ilgili Yönetmelikler, Türkiye Belediyeler Birliği Yayını.

Vu H. L., Ng K. T., W., Bolingbroke D., (2018), “Parameter interrelationships in a dual phase GIS-based municipal solid waste collection model”, Waste Management, 78, 258-270.

Wang S., Huang G. H., Yang B. T., (2012), “An interval-valued fuzzy-stochastic programming approach and its application to municipal solid waste management”, Environmental Modelling and Software, 29, 24-36.

Web 1, (2019), <https://www.ebelediye.info/dosya/belediyelerde-kati-atik-yonetimi>, (Erişim Tarihi: 05/08/2019).

Xi B., Su J., Huang G., Qin X., Jiang Y., Huo S., Ji D., Yao B., (2010), “An integrated optimization approach and multi-criteria decision analysis for supporting the waste-management system of the City of Beijing, China”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, 620-631.

Xu Y., Huang G., Qin X., Cao M., Sun Y., (2010), “An interval-parameter stochastic robust optimization model for supporting municipal solid waste management under uncertainty”, *Waste Management*, 30, 316-327.

Yıldız S., Ölmez E., Kiris A., (2009), “Kompost Teknolojileri ve İstanbul’daki Uygulamaları”, *Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı*, 1-12, İstanbul, Türkiye, Haziran.

Yildiz S., Yaman C., Demir G., Ozcan H. K., Coban A., Okten H. E., Goren S., (2013), “Characterization of municipal solid waste in Istanbul, Turkey”, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32 (3), 734-739.

Zhai Y. Y., Huang G. H., Zhou Y., Zhou X., (2016), “A factorial dual-interval programming approach for planning municipal waste management systems”. *Journal of Environmental Engineering*, 142 (8), 04016033.

Zhou X., Huang G., Zhu H., Zhai Y., Yan B., Fu, H. (2016), “Two-stage fractional programming method for managing multiobjective waste management systems”, *Journal of Environmental Engineering*, 142 (5), 04016009.

Zhu H., Huang G., (2011), “SLFP: A stochastic linear fractional programming approach for sustainable waste management”, *Waste Management*, 31, 2612–2619.

ÖZGEÇMİŞ

Maliki Ejder BATUR, 1976'da İstanbul'da doğdu. Aslen Erzurumludur. İlkokulu ve ortaokulu Gültepe Ortaokulu'nda, liseyi ise Üsküdar Fen Lisesi'nde tamamladı. İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği bölümünü bitirdi. Yüksek Lisans programını G.T.Ü' de "Standart Yapılarda Sismik İzolasyon" başlığı altında tamamladı. 2005 yılında G.T.Ü. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Akıllı Kent Sistemlerinin Pilot Ölçekte Uygulanabilirliği: Ümraniye İlçesi Katı Atık Bertaraf Yönetimi Modellemesi" başlığı altında doktora programına başlamıştır.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Batur M. E., Cihan A., Korucu M. K., Bektaş N., Keskinler B., (2020), “A mixed integer linear programming model for long-term planning of municipal solid waste management systems: Against restricted mass balances”, Waste Management, 105, 211-222.

Diğer Ekler (CD): Tez Çalışmasındaki Modele Ait “Math” Dosyası İçeriği