KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

EVSEL NİTELİKLİ KATI ATIK İŞLEME VE BERTARAFINDA DIŞSAL MALİYETLERİN YÖNTEM BELİRLEME VE YER SEÇİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

MAHMUT KEMAL KORUCU

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

EVSEL NİTELİKLİ KATI ATIK İŞLEME VE BERTARAFINDA DIŞSAL MALİYETLERİN YÖNTEM BELİRLEME VE YER SEÇİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

MAHMUT KEMAL KORUCU

Prof.Dr. Aykan KARADEMİR **Danışman, Kocaeli Üniv.**	.....
Prof.Dr. Ertan DURMUŞOĞLU **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**	.....
Doç.Dr. Ozan ARSLAN **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**	.....
Prof.Dr. Nihal BEKTAŞ **Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniv.**	.....
Yrd.Doç.Dr. Recep Kaya GÖKTAŞ **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 07.07.2015

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Herhangi bir iktisadi faaliyet, faaliyetin gerçekleştirilmesinde hiç bir yetki ya da sorumluluğu bulunmayan başka kişi ya da kurumları da çeşitli biçimlerde etkiler. Olumlu (pozitif/gelir) ya da olumsuz (negatif/gider) biçimlerde ortaya çıkabilen bu etkiler iktisat terminolojisinde dışsal maliyetler (dışsallıklar) olarak adlandırılır. Mevcut durumda dışsallıklar, iktisadi kararlar açısından çoğu zaman dikkate alınmaz. Öte yandan bu maliyetlerin dikkate alınması ile elde edilecek nihai kararların çevresel zararlar açısından önemli değişimler gösterebildiği, 90'lı yıllarda Amerika'da özellikle enerji sektörü için yapılmış çalışmalarda gösterilmiştir. Atık bertarafı konusunda ise henüz bu türden bilgilere ulaşmak mümkün olmamıştır.

Bu tez çalışmasının temel amacı; evsel katı atık yönetim süreçleri açısından bakıldığında dışsallıkların en büyük sebebi olan atık işleme ve bertaraf faaliyetlerinin hangi yöntemlerle ve nerelerde yapılacağının belirlendiği karar verme uygulamalarının, neden olunan dışsallıklar ile nasıl bir ilişki içerisinde olduğunu sorgulamaktır. Çoğu iktisadi uygulamada olduğu gibi evsel katı atık yönetiminde de, neden olunan dışsallıkların çeşitli yöntemler yardımıyla parasal olarak ifade edilip içselleştirilmesi ve faaliyetin sorumlusuna bir biçimde ödetilmesi zaman zaman karşılaşılan bir uygulamadır. Öte yandan bu içselleştirme uygulaması bazı sorunlu noktaları işaret eder. Öncelikle, neden olunmuş olan negatif dışsallık ne kadar çok ise çevre ve halk sağlığı açısından neden olunan zararlar da o kadar büyüktür. Bu dışsallıkların piyasadaki fiyat karşılılıklarının bir şekilde tespit edilip sorumlusuna ödettirilerek Pigovian bir vergi gelirinin elde edilmesi ilk bakışta sorunsuz bir çözüm yolu olarak görülebilir. Ancak, faaliyetin sorumlusundan tahsil edilen bu miktarların yine aynı sorumlu tarafından fiyatlar aracılığı ile tekrar kamuya yansıtılması mevcut piyasa ekonomisinin en bilindik reflekslerindendir. Bir başka ifadeyle paraya sahip olmak dışsallık oluşturmak gibi bir özgürlüğü sağlamaktadır. Ayrıca, elde edilen bu vergi gelirlerinin doğrudan ilgili alanlarda ve iyileştirme amacıyla harcanıp harcanmadığı da önemli bir soru işaretidir.

Atık yönetimi açısından, yukarıda kısaca söz edilen sorunlu noktalardan aynı anda kurtulabilmek; sorunlu yanları olsa da dışsallık tartışmalarını tümüyle kenara atmadan, "atık yönetiminin neden olacağı dışsallıkların, ilgili tesisler kurulmadan önce en aza indirilmesi mümkün müdür?" türünden yeni sorgulama biçimleri ile mümkün olabilir. Mevcut tüm iktisadi faaliyetler açısından, neden olunan tüm negatif dışsallıkların tamamen ortadan kaldırılması teorik olarak mevcut ekolojik krizin de tamamen ortadan kaldırılması anlamına gelir. Ancak, mevcut küresel iktisadi yapının bir sonucu olarak ortaya çıkan ekolojik krizin, yine bu iktisadi yapı içerisinde ve köklü bir değişim öngörmeksizin geliştirilen, dışsallıkların içselleştirilmesi gibi bir takım politikaların kullanımı ile ortadan kaldırılabileceğini söylemek ise krizin kendisini yok saymak demektir. Yine de, özelde katı atık yönetimi ve genelde tüm iktisadi faaliyetler açısından dışsallıkların en aza indirilmesi için yeni çözüm yolları aramak ve olası sorunları önceden tartışmak, mevcut ekolojik kriz açısından olumlu çabalar olarak değerlendirilebilir.

"Halbuki korkulacak hiç bir şey yoktu ortalıkta
Her şey naylondandı o kadar
Ve ölünce beş on bin birden ölüyorduk güneşe karşı."

Çok küçük de olsa yukarıda sözü edilen türden bir araştırma çabası olarak değerlendirilebilecek ve süreç boyunca hayatıma büyük bir renk ve tecrübe katan bu tez çalışması, çalışma süresince bir biçimde temas ettiğim çok sayıda insanın ortak bir ürünüdür. Bu insanların en başında gelen tez danışmanım Prof. Dr. Aykan Karademir, bu sürecin her anında bir danışmandan çok daha fazlası olmuştur. Bana göre bir doktora öğrencisinin ihtiyaç duyduğu en önemli şey olan, tez danışmanıyla buluşulabilecek ilkel bir eşitlik düzeyine olabildiğince yaklaşabilme olanağını, tüm iş yükü ve yoğunluğuna rağmen karşılıksız olarak sağlayan hocama saygı ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez izleme komitemin süreç boyunca ilgi ve desteklerini esirgemeyen diğer değerli üyeleri Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ertan Durmuşoğlu ve Harita Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Ozan Arslan'a da teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince gerçekleştirilen işlerin büyük bir kısmının disiplinler arası bir bilgi alışverişini gerektiren bir yapısı bulunduğundan, süreç içerisinde desteklerini almak durumunda kaldığım ve kendi uzmanlık alanlarıyla ilgili önemli katkılarda bulunan Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim elemanı Dr. İsmail Özbay'a, Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim elemanları Prof. Dr. Zerrin Aladağ ve Dr. Atakan Alkan'a, dostlarım, Felsefe Bölümü öğretim elemanları, Bora Erdağı ile Fehmi Ünsalan'a ve kendisi olmaksızın altından kalkmamın mümkün olmadığı bir optimizasyon çalışmasını neredeyse tek başına mümkün kılan Endüstri Yüksek Mühendisi Ahmet Cihan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması; Kocaeli Üniversitesi, İzmit Atık ve Atıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş (İZAYDAŞ) ve Kocaeli Kent Konseyi arasında imzalanan bir işbirliği protokolü kapsamında gerçekleştirilen bir proje çalışması ile paralel olarak yürütülmüştür. Söz konusu proje çalışmasında büyük emekleri bulunan İZAYDAŞ Genel Müdürü Muhammet Saraç, proje şefi Onur Uludağ ve tüm proje personeline, Kocaeli Kent Konseyinin başta Sedat Yücel olmak üzere ilgili tüm personeline, proje çalışmasında görev alan karar verme ekibinin tüm katılımcılarına, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi personeli Mehmet Yunus Tekel'e ve Ali Bilgi'ye teker teker teşekkür ederim. Ayrıca tez süreci içerisinde tecrübe ve dostluklarını esirgemeyen Kocaeli Kültür Kolektifi Derneği üyelerine sevgilerimi sunarım.

Ve son olarak; süreç boyunca yaşam alanlarını ve dolayısıyla hayatlarının önemli bir bölümünü koşulsuz bir biçimde paylaşan annem Samiye Korucu ve kardeşim Nilay Korucu'nun önünde saygıyla eğilirim.

" "Hâlbuki geyikli gece ormanda
Keskin mavi ve hışırtılı
Geyikli geceye geçiyorum"
Uzanıp kendi yanaklarımdan öpüyorum." (Geyikli Gece/ Turgut Uyar)

Temmuz - 2015 Mahmut Kemal KORUCU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER iii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 4
1.1. Evsel Nitelikli Katı Atıklar ve Katı Atık Yönetim Modelleri 4
1.2. Atık Yönetiminde Maliyet Kavramı ve Dışsal Maliyetler (Dışsallıklar) 7
2. MALZEME VE YÖNTEM 13
2.1. Çalışma Alanı 14
2.2. Karar Verme Ortaklığı 15
2.3. Karar Verme Ortaklığının Yöntem Seçimi Konusundaki Önceliklerin Belirlenmesi 15
2.3.1. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve analitik ağ prosesi (ANP) uygulaması 18
2.4. Yöntem Seçimi Maliyet Optimizasyon Modeli 20
2.4.1. Modele ait genel kabuller 22
2.4.2. Model kütle dengesi 25
2.4.3. Modelde kullanılmak üzere yapılmış öngörüler 31
2.4.3.1. Nüfus ve atık öngörüleri 31
2.4.3.2. Proseslere ilişkin öngörüler 34
2.4.3.3. Maliyetlere ilişkin öngörüler 37
2.4.4. Model kısıtları 44
2.4.4.1. Proses kısıtları 45
2.4.4.2. Mesafe kısıtları 47
2.4.5. Optimizasyon modeli için dışsallıklar ve Monte Carlo simülasyonu 49
2.4.6. Amaç Fonksiyonu 52
2.4.7. Modelin belirsizlikleri 52
2.5. Karar Verme Ortaklığının Yer Seçimi Konusundaki Önceliklerinin Belirlenmesi 55
2.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Yer Seçimi Modeli 56
2.6.1. Yer seçimi için mevzuat araştırması 56
2.6.2. Yer seçimi modelinin metodolojisi 60
2.6.2.1. Birinci yer seçimi fazı (sınırlandırıcı faz) 62
2.6.2.2. İkinci yer seçimi fazı (azaltıcı faz) 64
2.6.2.3. Üçüncü yer seçimi fazı (düzenleyici faz) 67
2.6.3. Coğrafi bilgi sistemleri destekli yer seçimi modeli için dışsallıklar 68

3. BULGULAR VE TARTIŞMA 70
3.1. Karar Verme Ortaklığının Yöntem Seçimi Önceliklerine İlişkin Bulgular 70
3.2. Yöntem Seçimi Maliyet Optimizasyon Modeline İlişkin Bulgular 74
3.3. Dışsallıkların Maliyet Optimizasyon Modeli Üzerine Etkileri 76
3.4. Karar Verme Ortaklığının Yer Seçimi Önceliklerine İlişkin Bulgular 81
3.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Yer Seçimi Modeline İlişkin Bulgular 81
3.5.1. Birinci yer seçimi fazına ilişkin bulgular 81
3.5.2. İkinci yer seçimi fazına ilişkin bulgular 89
3.6. Dışsallıkların Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Yer Seçimi Modeli Üzerine Etkileri 96
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 103
KAYNAKLAR 109
EKLER 116
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 133
ÖZGEÇMİŞ 135

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bütünleşik bir katı atık yönetim sisteminin bileşenleri 6
Şekil 2.1. Tez çalışmasının metodolojisinin şematik gösterimi 14
Şekil 2.2. Yöntem seçimi için kullanılan karar ağacı 17
Şekil 2.3. Modelde tanımlanan transfer istasyonlarının konumları 23
Şekil 2.4. Maliyet optimizasyon modeli kütle dengesi akış şeması 26
Şekil 2.5. Yer seçimi ölçütlerinin ağırlıklandırılması için oluşturulan karar ağacı 55
Şekil 2.6. Coğrafi bilgi sistemleri destekli yer seçimi modeli süreçlerinin şematik gösterimi 61
Şekil 2.7. Kocaeli iline ait yükseklik dağılımını gösteren rakım planı (metre) 66
Şekil 3.1. Tüm senaryo, taşıma mesafesi ve deponi sayısı kısıtları için E/I değişimi 79
Şekil 3.2. Birinci yer seçimi fazına ait ölçütler (1) 82
Şekil 3.3. Birinci yer seçimi fazına ait ölçütler (2) 83
Şekil 3.4. Birinci yer seçimi fazına ait ölçütler (3) 83
Şekil 3.5. Diğer bazı ölçütler (1) 84
Şekil 3.6. Diğer bazı ölçütler (2) 84
Şekil 3.7. " Önerilen" için ile elde edilen olurlu bölgeler 86
Şekil 3.8. "Mevzuat" için elde edilen olurlu bölgeler 86
Şekil 3.9. Yalnızca mevcut yerleşim bölgelerine göre elde edilen olurlu bölgeler 87
Şekil 3.10. Yerleşim bölgelerinden uzaklık ölçütü için uygunluk sınıflandırması 89
Şekil 3.11. İletim hatları ve altyapıya uzaklık ölçütü için uygunluk sınıflandırması 90
Şekil 3.12. Rakım ölçütü için uygunluk sınıflandırması 90
Şekil 3.13. Eğim ölçütü için uygunluk sınıflandırması 91
Şekil 3.14. Atık taşıma mesafesi ölçütü için uygunluk sınıflandırması 91
Şekil 3.15. Müşterilere yakınlık ölçütü için uygunluk sınıflandırması 92
Şekil 3.16. Risk algısı ölçütü için uygunluk sınıflandırması 92
Şekil 3.17. Görünürlük ölçütü için uygunluk sınıflandırması 93
Şekil 3.18. "Eşit" için uygunluk sınıflandırması 94
Şekil 3.19. "Tablo" için uygunluk sınıflandırması 94
Şekil 3.20. 12 farklı senaryo için ANOVA sonuçları 100

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Atık yönetim faaliyetlerinde dışsallıklar (Weng ve Fujiwara, 2011) 9
Tablo 2.1. Bertaraf senaryoları ve ilgili açıklamalar..... 16
Tablo 2.2. Tüm Kocaeli için öngörülen nüfus, atık ve atık sınıflarına ait miktarlar 32
Tablo 2.3. Proje süresi için oluşması beklenen miktarların nüfusa bağlı değişimleri..... 33
Tablo 2.4. Doğrudan kaynakta geri dönüşüm için yüzdeler 34
Tablo 2.5. Ayırıcıların atık türleri için ayırma verimleri (İZAYDAŞ,2011) 35
Tablo 2.6. Atık bileşenleri için birim taşıma giderleri 39
Tablo 2.7. Ayırıcılarda ayrılan bileşenler için satış fiyatları (İZAYDAŞ, 2011)..... 42
Tablo 2.8. Evsel katı atık işleme ve bertaraf süreçleri için farklı bölgelerde elde edilen maliyet miktarları..... 50
Tablo 2.9. Yer seçimi çalışmalarında kullanılan ölçüt yapısı 60
Tablo 2.10. Çalışmada kullanılan etkensel deney tasarımı yapısı 69
Tablo 3.1. AHP ve ANP modelleri için alternatiflerin öncelik değeri ve öncelik sıralamaları 71
Tablo 3.2. Her iki model için faktör ve alt faktörlerin amaç üzerindeki etki ve öncelik sıralaması sonuçları 72
Tablo 3.3. Dışsallıkların dahil edilmediği yapı için optimizasyon modelinden elde edilen sonuçlar..... 75
Tablo 3.4. İzin verilebilir deponi alan sayısının 2 ile sınırlandırılması (b tipi senaryo) ile elde edilen bulgular..... 77
Tablo 3.5. İzin verilebilir deponi alan sayısının sınırlandırılmaması (a tipi senaryo) ile elde edilen bulgular 78
Tablo 3.6. E/I oranları için kırılma noktaları ve bu noktalardaki yeni yapılar..... 79
Tablo 3.7. Yer seçimi çalışmalarında kullanılan ölçüt yapısı ve ağırlıklar..... 82
Tablo 3.8. Yürütülen sorgulamalar sonucunda tespit edilen olurlu bölge sayıları 88
Tablo 3.9. "Mevzuat" yapısı için uygunluk analizi sonuçları..... 95
Tablo 3.10. "1000_Mevzuat_Tablo" senaryosu için 16 farklı deney tasarımından elde edilen uygunluk sıralamaları..... 97
Tablo 3.11. "1000_Mevzuat_Tablo" senaryosu için normalleştirilmiş değerler..... 98
Tablo 3.12. 1000 dönüm alan ihtiyaçları için ANOVA ve Tukey testi sonuçları 99
Tablo 3.13. Ana etkenler ve ana etkenler arası etkileşim yapıları için elde edilen etki sıralaması ve NED (%) değerleri..... 102
Tablo 3.14. Ana etkenler için elde edilen etki sıralaması ve SED (%) değerleri..... 102

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BBA : Biyobozunabilir atık miktarı, (ton)
BT : Büyük ısıl işlem
C : Müşteri
E : Enerji üretiminde kullanılan atık eşdeğeri, (ton)
F : Transfer İstasyonu
FR : Kaynakta ayrı toplanmış bileşen
H : Kompostlanan bileşen miktarı, (ton)
HD : Taşıma mesafesi, (km)
HV : Isıl değer, (kj/kg)
i : Atık bileşen türü indisi, (1,2,3,4,5,6)
J_l : Düzenli depolama alanlarından sağlanan enerji satış geliri, (Euro)
J_{RM} : Ayrılmış materyal satış geliri, (Euro)
J_x : Hurda satış geliri, (Euro)
J_w : Kompost satış geliri, (Euro)
K : Kompostlaştırma tesisi
L : Düzenli depolama sahası
M : Atık kütlesi, (ton)
m : Alt atık bileşeni kütlesi, (ton)
P : Nüfus, (kişi)
R : Kaynakta geri dönüştürme miktarı, (ton)
r : Kaynakta ayırma verimi, (%)
S : Ayırıcı
T : Küçük ısıl işlem
y : Yıl
Q_g : Yapım, işletim ve bakım giderleri, (Euro)
Q_t : Taşıma giderleri, (Euro)
Q_n : Kullanım sonrası alan iyileştirme giderleri, (Euro)
Q_u : Ön giderler, (Euro)
Q_Z : Dışsallık miktarı, (Euro)
β : Küçük ısıl işlem tesisine gelen atık miktarı, (ton)
γ : Büyük ısıl işlem tesisine gelen atık miktarı, (ton)
δ : Depolama alanına gelen atık miktarı, (ton)
σ : Organik atık işleme tesisine gelen atık miktarı, (ton)
λ : Ayırıcıya gelen atık miktarı, (ton)
φ : Ayırıcıların bileşen bazlı ayırma verimi, (%)
Ψ : Transfer istasyonuna gelen atık miktarı, (ton)

Kısaltmalar

AHP : Analytical Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Prosesi)
ANOVA : Analysis of Variance (Varyans Analizi)
ANP : Analytical Network Process (Analitik Ağ Prosesi)

BOTAŞ	: Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EEEA	: Elektrik-Elektronik Ekipman Atıklar
EKAY	: Evsel Nitelikli Katı Atık Yönetimi
ESD	: Etki Seviyesi Değeri
E/I	: Externalities/Internalities (Dışsal Maliyet/İçsel Maliyet)
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
İSU	: Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İZAYDAŞ	: İzmit Atık ve Atıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş.
Kcal	: Kilokalori
kj	: Kilojoule
kg	: Kilogram
kwh	: Kilowatt hour (kilowatt saat)
MILP	: Mixed Integer Linear Programming (Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama)
MRF	: Material Recovery Facility (Atık İşleme Merkezi)
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NATO	: North Atlantic Treaty Organization (Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü)
NED	: Normalleştirilmiş Etki Değeri
NOx	: Azot Oksitler
SO_2	: Kükürt Dioksit
TESD	: Toplam Etki Seviyesi Değeri
TIN	: Triangulated Irregular Network (Düzensiz Üçgen Ağı)

EVSEL NİTELİKLİ KATI ATIK İŞLEME VE BERTARAFINDA DIŞSAL MALİYETLERİN YÖNTEM BELİRLEME VE YER SEÇİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, evsel katı atık işleme ve bertarafı için yöntem ve yer seçimi kararlarının alınmasında kullanılan karar mekanizmalarında, mevcut uygulama biçiminin aksine dışsallıkların da göz önünde bulundurulmasının nihai kararları nasıl etkileyeceği incelenmiştir. Çalışmanın yöntem seçimine ilişkin bölümünde; tezin çalışma alanı olan Kocaeli ili için bir araya getirilen geniş katılımlı bir karar verme ortaklığı tarafından oluşturulan bir "çok ölçütlü karar verme yapısı" ve yeni bir modelleme yaklaşımını benimseyen bir "karma tam sayılı doğrusal maliyet optimizasyon modeli" kullanılmıştır. Öncelikle dışsal maliyetlerin dikkate alınmadığı ilk haliyle çalıştırılan optimizasyon modeli, ikinci aşamada, literatür yardımıyla saptanan ve belirsizliklerinin tespiti için bir Monte Carlo simülasyonuna tabi tutulan dışsallıkların parasal ifadelerinin de modele ilave edildiği yeni biçimiyle çalıştırılmıştır. Pek çok farklı senaryonun bu iki dışsallık durumu için ayrı ayrı çalıştırılması ile elde edilen nihai kararlar tek başına ve çok ölçütlü karar verme yapısından elde edilen sonuçlarla bir arada değerlendirilmiştir. Çalışmanın yer seçimine ilişkin bölümünde ise öncelikle; karar verme ortaklığının görüşleri, mevzuat ve literatür yardımı ile yeni bir "çok ölçütlü yer seçimi modeli" yapılandırılmıştır. Coğrafi bilgi sistemine entegre bir çok ölçütlü karar verme yapısı uygulaması olan bu yeni yapı; dışsal maliyet yaratma potansiyeli taşıyan ölçütlerin kuramsal olarak tespit edilmesi ve coğrafi bilgi sisteminde yapılandırılmalarının ardından, bu ölçütlerin yapıda var olma ve olmama gibi iki farklı durumunu test eden bir etkensel deney tasarımında, çok sayıda senaryo için uygulanmıştır. Elde edilen nihai kararlar yine bu tez çalışmasında oluşturulan bir istatistiksel metot yardımı ile dışsal ölçütlerin tesis yapımı için uygun alanların öncelik sıralamasında neden olduğu farklılaşmalar açısından değerlendirilmiştir.

Yöntem seçimi konusunda elde edilen bulgulara göre, dışsal maliyetlerin dikkate alındığı durum için elde edilen kararın uygulanması durumunda ilk karara göre dışsal maliyetlerin büyük oranda azaltılabildiği saptanmıştır. Bu azalma tüm senaryolar bir arada değerlendirildiğinde 1-8 Euro/kişi.yıl aralığında gerçekleşmiştir. Binlerce milyon Euro gibi rakamların söz konusu olduğu toplam proje maliyetleri için azalma oranı ise % 2-13 aralığında tespit edilmiştir. Yer seçimi konusunda elde edilen bulgulara bakıldığında ise birer dışsal maliyet ölçütü olarak önerilen "Risk Algısı ve Paydaşların Onayı" ve "Görünürlük" ölçütlerinin, nihai kararı değiştirebilme konusunda istatistiksel olarak oldukça anlamlı etkilere sahip olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Dışsallıklar, Evsel Nitelikli Katı Atık İşleme ve Bertarafı, Maliyet Optimizasyonu, Yer ve Yöntem Seçimi.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF EXTERNAL COSTS ON METHOD AND SITE SELECTION FOR THE TREATMENT AND DISPOSAL OF MUNICIPAL SOLID WASTES

ABSTRACT

In this thesis study, it was fundamentally examined how the final decisions of the method and site selection applications for the treatment and disposal of municipal solid wastes were affected by the addition of the externalities in the decision making process. In the method selection part of the study, a new "multi-criteria decision making model" and a new "mixed integer linear cost optimization model" constituted by a local decision-making group were used for a method selection application. The optimization model was used with the conventional decision approach, which omits the external costs, for Kocaeli. Afterwards, the same optimization model was also used with a new decision structure which considers the external costs evaluated with a Monte Carlo simulation for uncertainties. Finally, the decisions obtained by operating these two structures for the large number of different scenarios were evaluated considering the results of the multi-criteria model. In the site selection part of the study, a new "multi-criteria site selection model" was constituted for Kocaeli. The criteria which has a theoretical externality potential were determined and the model which has a decision making approach integrated with a geographical information system was operated in a factorial experiment design for two externality situations stated before, separately. The final decisions were evaluated with the help of a new statistical method regarding the differentiation capacities of the external criteria on the suitability rankings of the candidate sites.

According to the results of the method selection application, it was determined that the total externalities were substantially reduced by using the structure which considers the externalities. The reduction was 1-8 Euro per person-year and was 2-13% for total costs when the all scenarios evaluated together. Regarding to the site selection application, it was discovered that the "Risk Perception" and the "Visibility" criteria which were considered as an external criteria in the decision structure had high differentiation effects on the final decisions in terms of the suitability rankings.

Keywords: Geographical Information Systems, Externalities, Treatment and Disposal of Municipal Solid Wastes, Cost Optimization, Site and Method Selection.

GİRİŞ

Evsel nitelikli katı atıkların yönetimi (EKAY) kavramı genel olarak atığın üretildiği kaynaktan alınması ve nihai olarak bertaraf edilmesi aşamaları arasında geçen süreci ifade eder. Bu süreç atıkların işleneceği ve/veya bertaraf edileceği tesislerin hangi yöntemi kullanacağı (yöntem seçimi) ve bu tesislerin nerelerde kurulacağı (yer seçimi) şeklindeki son derece önemli iki kararın alınmasını zorunlu kılan karmaşık bir yapıya sahiptir. Sözü edilen her iki kararın da mevcut yönetim anlayışları açısından büyük bir öneme sahip olmasına neden olan temel etken; en yüksek maliyet kalemleri atık işleme ve bertarafı tarafından oluşturulan atık yönetimi sürecinin toplam maliyetinin en aza indirilme zorunluluğudur. Öte yandan toplam maliyeti en aza indirilmiş bir yönetim sürecinin doğa ve toplum sağlığı açısından da mutlak suretle en iyi çözüm olacağını söyleyebilmek oldukça güçtür.

İktisadi bir faaliyetin toplam maliyeti; söz konusu faaliyetin, faaliyetin gerçekleştiricisine yüklediği toplam maliyet giderleri ile sağladığı toplam maliyet gelirleri arasındaki farktır. Mevcut ekonomik yapı içerisinde, bir iktisadi faaliyetin tüm gelirlerinin yalnızca faaliyetin gerçekleştiricileri tarafından elde edildiği ve tüm giderlerinin yine yalnızca faaliyetin gerçekleştiricileri tarafından karşılandığı ideal durumlara rastlamak oldukça zordur. Sosyal maliyet perspektifi olarak bilinen bir iktisadi yaklaşıma göre iktisadi faaliyetlerin gerçekleştiricileri tarafından karşılanan maliyet miktarları faaliyetin özel yani içsel maliyetleridir. Faaliyetin gerçekleştirilmesinde herhangi bir sorumluluğu olmayan kişi, kurum ya da topluluklar tarafından karşılanmak zorunda kalınan maliyet miktarları ise dışsal maliyetler (dışsallık) olarak adlandırılır. Bu doğrultuda, iktisadi birer faaliyet olan atık işleme ve bertaraf etme yöntemlerinin de çeşitli boyutlarda dışsallıklara neden olduğunu söylemek mümkündür.

Evsel nitelikli katı atıkların işlenmesi ve bertarafı sırasında oluşan dışsallıklar, bu faaliyetlerin neden olduğu çevresel kazanç (pozitif dışsallıklar) ve çevresel zararlar (negatif dışsallıklar) şeklinde ifade edilir. Burada sözü edilen

kazançlar, işleme ve/veya bertaraf yönteminin diğer alternatiflere nazaran sağladığı çevresel kazanımlar tarafından oluşturulur. Yöntemin zararları ise; toprak, hava ve su ortamlarına yapılan deşarjlar, bu deşarjlar yoluyla neden olunan sağlık sorunları ve çeşitli etmenlere bağlı olarak yaratılan hoşnutsuzlukların bir toplamıdır. Sonuç olarak; atık işleme ve bertaraf faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkan tüm dışsallıklar, söz konusu faaliyetin doğaya ve dolayısıyla insana sağladığı kazançlar ve neden olduğu zararlar olarak anlaşılmalıdır. Bu anlamda, atık işleme ve bertaraf faaliyetlerinin negatif dışsallıklarının en düşük seviyede tutulması doğa ve toplum sağlığı açısından mutlak bir zorunluluktur.

Toplumsal bir ortak üretim faaliyetinin ürünü olan büyük atık yığınları günümüzde çoğunlukla özel kurumlar tarafından işlenip bertaraf edilmektedir. Mevcut uygulamalarda bu kurumlar için ortaya çıkan tüm maliyetler belirli bir kar oranının da ilavesinin ardından ilgili bölge yerleşimcilerinden tahsil edilmektedir. Yerleşimcilerden tahsil edilen bu maliyet miktarının, faaliyetin neden olduğu dışsal maliyetleri de içerip içermediği ise önemli bir sorudur. Öte yandan bu sorunun cevabının faaliyetin gerçekleştiricisi açısından pek bir önemi yoktur. Bir atık işleme ve bertaraf faaliyetinin neden olduğu dışsal maliyetler bir şekilde tespit edilip bu maliyetlerin faaliyetin gerçekleştiricisi tarafından ödenmesi çeşitli şekillerde sağlanabilir. Kaldı ki, çeşitli yöntemler yoluyla ve belirli bir ücret üzerinden ifade edilebilen bazı dışsallıkların doğrudan bertaraf faaliyetinin gerçekleştiricilerine yansıtıldığı pek çok uygulama biçimi (vergi, ceza, tazminat vs.) hali hazırda mevcuttur. Öte yandan, ödenmek zorunda kalınan bu dışsallıkların faaliyetin gerçekleştiricileri tarafından içselleştirildiği mevcut uygulamalarda bu maliyet yine yerleşimcilerden tahsil edilmektedir. Bu durumda, faaliyetin negatif dışsallıklarından ötürü zarar gören yerleşimcilerin bir de bu zararın maliyetini ödemek zorunda kaldığı bir çelişki ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan bakıldığında yerleşimciler, karar vericiler tarafından alınan yanlış kararlardan ötürü iki yönlü bir kayıp yaşamaktadırlar. Bu kayıplardan ikincisi olan maddi kayıpların da ortadan kaldırılması yine ilk kayıplar için olduğu gibi dışsallıkların en aza indirilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı; evsel nitelikli katı atık bertarafından kaynaklanan dışsal maliyetlerin henüz karar aşamasındayken olası en düşük seviyeye indirilmesinin mümkün olup olmadığının sorgulanmasıdır. Bir başka ifadeyle tezin

temel sorusu; yöntem ve yer seçimi kararlarında kullanılan araçlar için dışsal ölçütlerin dikkate alınması ya da alınmaması arasında doğa ve toplum sağlığı açısından bir fark olup olmadığıdır. Çalışmanın yöntemi; dışsal maliyet oluşturabileceği düşünülen ölçütlerin karar verme yapısına eklenmesi ya da bu ölçütlerin hâlihazırda uygulandığı biçimiyle karar verme yapısında yok sayılması ile elde edilen iki farklı nihai kararın bir karşılaştırmasını yapmak şeklindedir. Çalışmanın ilk bölümünde evsel katı atık yönetimi kavramı, yöntem ve yer seçimi problemleri ve bu problemlerle ilişkilendirilebilecek dışsallıklar hakkında bazı genel bilgiler sunulmuştur. Çalışmanın malzeme ve yöntem bölümü; yöntem seçimi ve yer seçimi problemleri şeklinde iki ayrı kısım olarak düşünülmüştür. Her iki kısımda da kullanılan tüm yöntemler çalışma sahası olarak belirlenen Kocaeli için oluşturulan geniş katılımlı bir karar verme ortaklığı tarafından şekillendirilmiştir. Karar verme ortaklığının yönelimlerine bağlı kalarak oluşturulan yöntem ve yer seçimi modelleri hakkındaki bilgilerin sunulmasının ardından modellere ilave edilecek olan dışsallıklara ilişkin bilgiler de yine malzeme ve yöntem bölümünde sunulmuştur. Yöntem ve yer seçimi karar verme yapılarının dışsal ölçütler dikkate alınmadan ve dışsal ölçütler dikkate alınarak çalıştırılması ile edilen tüm bulgular “Bulgular ve Tartışma” bölümünde bir arada sunulmuş ve tartışılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise, elde edilen tüm sonuçların ortak bir değerlendirmesi yapılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Evsel Nitelikli Katı Atıklar ve Katı Atık Yönetim Modelleri

Katı atıklar; üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamurunu tanımlayan bir kavramdır. Evsel katı atıklar ise; konutlardan atılan, tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, bahçe, park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen katı atıklar şeklinde tanımlanmaktadır (KAKY, 2005).

Mevcut evsel katı atık yönetim (EKAY) modelleri temel amaçları açısından; eldeki mevcut metotların en iyileştirilmesini (optimizasyonunu) hedefleyen modeller ve metotlar arasında bir uzlaşma sağlamayı hedefleyen modeller olarak iki farklı sınıfta incelenebilir. Bunlardan ilki taşıma ve bertaraf etme gibi tekil temel işlemlerin iyileştirilmesi ile ilgilenirken ikincisi atık yönetiminin farklı aşamalarına ve bu aşamalar arasındaki etkileşime dikkat çeken uzlaştırmacı bütünleşik yönetim sistemidir. Örneğin 70'li yıllarda EKAY modelleri çöp toplama araçlarının rotalarının optimizasyonunu amaç edinen basit ve dar kapsamlı çalışmalar üzerine yoğunlaşmıştır. 80'li yıllara gelindiğinde ise yönetim modellerinin odak noktaları toplam maliyeti azaltmak şeklinde genişletilmiştir (Sua ve diğ., 2007). Öte yandan; geçmişten günümüze evsel atıkların yönetimi alanında tanımlanmış olan yönetim modellerinin çoğu yukarıda sözü edilen ikinci sınıfa giren ve karar verme sürecinin birer parçası olan risk değerlendirmesi, çevresel etki değerlendirmesi, maliyet fayda analizi, çok ölçütlü karar verme ve yaşam döngüsü analizi gibi çeşitli yöntem ve araçlardan faydalanan karar destek modelleridir. Optimizasyon modelleri genel olarak alternatifleri, ilgili ölçütlerin maliyet ve benzeri bir ortak paydaya indirgenmesi yoluyla değerlendirir. Uzlaştırma yöntemlerinde ise alternatifler, karar verici ve paydaşların öncelikleri dikkate alınarak sıraya koyulan ölçütlerin değerlendirilmesi ile ilgilenilir.

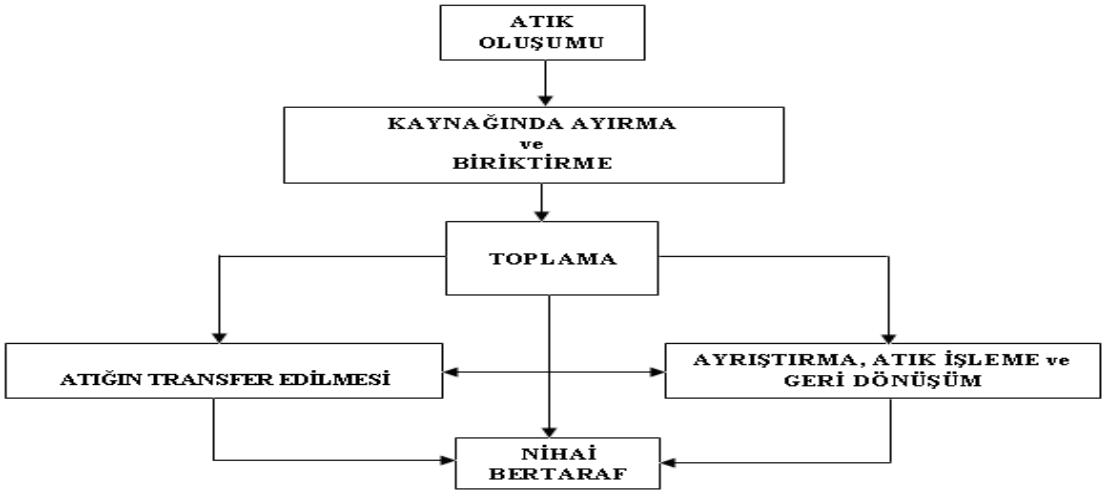
Günümüzde kullanılan atık yönetim modellerinin ortak bir değerlendirilmesi yapıldığında; istisnalar mevcut olmakla birlikte modellerin büyük bir çoğunluğunu kapsayan 3 kategorili bir sınıflandırma yapmak mümkündür. Bu kategoriler; maliyet fayda analizine dayanan modeller, yaşam döngüsü değerlendirmesine dayanan modeller ve çok ölçütlü karar verme tekniklerinin kullanımı üzerine kurulu modeller şeklindedir. Sözü edilen bu model kategorilerinin üçü için de pek çok kez ortaya konulmuş çeşitli sınırlamalar söz konusudur ve bu sınırlamalardan ötürü atıkların kaynağında azaltılması aşamasından nihai bertaraf aşamasına kadar geçen yönetim sürecinin tamamlanması ve sürdürülebilmesi çoğu zaman başarısızlıkla sonuçlanmaktadır (Morrissey ve Browne, 2004).

Mevcut yönetim modellerinin büyük bir çoğunluğu sadece probleme yönelik ortak çoklu ölçütlerin ya da uygulanacak modelin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak Nilsson-Djerf ve McDougall (2000) ile Petts (2000) gibi çalışmalarda da vurgulandığı üzere bir modelin tamamlanmış ve sürdürülebilir olması; çevresel, ekonomik ve sosyal anlamda incelenmiş ve bu üç ölçüt için de aynı anda kabul edilebilir bir çerçeve çizmiş olmasına bağlıdır. Oysa mevcut yönetim modellerinin büyük bir çoğunluğu çevresel ve ekonomik ölçütlere öncelik tanırken sosyal ya da toplumsal ölçütleri yeterince dikkate almaktan oldukça uzaktır. Yakın zamana kadar EKAY sistemlerinde dikkate alınan ölçütleri; hava emisyonları ve su kirliliği gibi çevresel faktörler, sistemin maliyeti ve getirileri gibi ekonomik faktörler ve teknolojinin eskiliği gibi teknolojik faktörler olarak sıralamak mümkündür. Çoğu zaman dikkate alınmasa da bazı araştırmacılar tarafından üzerinde durularak atık yönetiminde birer ölçüt olarak kullanılan sosyal ölçütler ise toplumsal refah (Hernandez ve Martin-Cejas, 2005), kamusal onay, sosyal olarak kabul edilebilirlik (Cheng ve diğ., 2002), sosyal adalet, politik kaygılar (Cheng ve diğ., 2002), kültürel ve ya gelenekler ile ilgili konular ve sosyal maliyetler (Sua ve diğ., 2007) olarak sunulabilir.

Bu anlamda, atık yönetimi için geliştirilen çözümlerde sosyal bir değişken olan halkın sürece katılımı son derece önemli bir adımdır. Bir atık yönetim sisteminin etkin ve ekonomik olarak işletilebilmesi, seçilen stratejilere bakılmaksızın çöpü üreten paydaşların ambalajsız ürün kullanmak, geri dönüşümlü malzemeleri tercih etmek, çöplerini ayrı toplamak gibi yollarla güçlü bir işbirliği yapmasını gerektirir.

Uzun soluklu bir destek için halkın hangi davranışların ve neden yanlış olduğu hakkında bilinçlenmesi gerekir ve bu da kapsamlı bir eğitim programının sağlanması gerektiği anlamına gelir. Halkın doğru yollarla bilinçlendirilmesi atık yönetim kararlarının nasıl alındığına dair bir ilginin uyanmasını tetikler. Vatandaşlar yöneticilerin atık programlarıyla ilgilenmeye başladığında karar verme sürecine aktif katılımı talep etmeye başlarlar. Karar verme sürecine katılımı sağlanmış halk açısından programın doğruluğuna ve şeffaflığına inanmak daha kolaydır ve programın sosyal olarak kabul edilebilirliğini bu yolla tesis etmek mümkündür (US EPA, 1995).

Evsel nitelikli katı atıkların yönetimi çoğunlukla atığın kaynakta oluşumu aşamasından nihai bertarafına kadar geçen süre şeklinde tanımlanmakla birlikte atığın bertarafından sonraki aşamaları da içine alan kapsamlı ve karmaşık bir işlemler dizisidir. Evsel nitelikli katı atıkların oluştuktan sonra kaynağında toplanması ile başlayan bu işlemler dizisi; çok boyutlu bir değerlendirmeyi gerektiren, fiziksel bir niteliği olduğu kadar ekonomik ve sosyal boyutları da bulunan bir süreçtir. Bu süreç adına en ideal koşullar için bir değerlendirme yapıldığında tüm kaynaklardaki oluşum miktarı en aza indirilmiş ve en nihayetinde kaynağından toplanmış evsel katı atıkların yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir ve yeniden değerlendirilebilir kısımlarının atıktan tamamen uzaklaştırılmış ve ardından atığın bertaraf edilmiş olması gerekir. Bütünleşik atık yönetimi olarak adlandırılabileceğimiz ve bertaraf aşaması ile sonuçlanan bu karmaşık süreci özetleyen bir gösterim Şekil 1.1'de sunulmuştur.



Şekil 1.1. Bütünleşik bir katı atık yönetim sisteminin bileşenleri

Evsel nitelikli katı atıkların işlenme ve/veya bertaraf edilme aşamaları; atığın hangi yöntemle işleneceği/bertaraf edileceği (yöntem seçimi) ve atığın nerede işleneceği/bertaraf edileceği (yer seçimi) şeklindeki iki sorunun mutlak suretle cevaplanmasını gerektirir. Bu iki farklı karar verme süreci çoğu zaman ayrı ayrı değerlendirilmesi gereken süreçler olmakla birlikte aralarındaki ilişkinin ne düzeyde ve nasıl olduğu da kapsamlı bir tartışmayı gerektirmektedir. Bütünsel anlamda atıkların yönetimine ilişkin olup özelde atıkların işlenmesi/bertaraf edilmesi aşamasının çözümüne ilişkin olarak tanımlanmış pek çok yönetim modeli mevcut olmakla birlikte (Morrisey ve Browne, 2004) son yıllarda en çok öne çıkan uygulama, pek çok ölçüte bağlı olan atığın işlenmesi/bertarafı probleminin çok ölçütlü karar verme mekanizmaları yardımı ile çözme girişimi olarak gösterilebilir. Uygulamada yer seçimi özelinde çoğu kez coğrafi bilgi sistemleri ile birlikte kullanılan bu mekanizma mevcut durum için en kullanışlı yöntem olarak görünmektedir.

Katı atık yönetimi modellerinin oluşturulması ve katı atık yönetim sistem ve teknolojilerinin seçiminde karar verme yöntemlerinden faydalanılması yeni bir araştırma alanı olmasa da konunun önem kazanması ve gelişmiş tekniklerden faydalanılması özellikle son dönemlere rastlamaktadır. Gerek bir işletmenin gerekse bir şehrin katı atık yönetiminde yıllardan beri süregelen şekilde düşük maliyet ölçütünün dikkate alınması, en uygun alternatifin belirlenmesinde tek başına yeterli olmamakta, artan çevre bilinci ve sınırlı doğal kaynak rezervleri, düşük maliyet ölçütünün yanı sıra sosyal, çevresel ve teknik etmenlerin de göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Katı atık yönetim sistemi seçim problemi, birbiriyle çelişen ve hiyerarşik yapıya sahip, farklı ölçütler içeren yapısıyla çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin uygulanmasına uygun bir zemin oluşturmaktadır (Dursun, 2007).

1.2. Atık Yönetiminde Maliyet Kavramı ve Dışsal Maliyetler (Dışsallıklar)

Evsel katı atık yönetimi sürecinde alınan yöntem ve yer seçimi gibi nihai kararlar çoğunlukla maliyet değişkenleri açısından yapılan değerlendirmelere göre belirlenir. US EPA tarafından geliştirilen "Evsel Katı Atık Yönetimi Açısından Bütünsel Maliyet Hesaplama Yaklaşımı"na göre atık yönetimi çalışmalarında göz önüne alınması gereken maliyet kalemleri 7 ana başlık altında toplanmalıdır. Bunlar; ön

maliyetler, işletim maliyetleri, son maliyetler, kullanım sonrası alan iyileştirme maliyetleri, beklenmeyen maliyetler, çevresel maliyetler ve sosyal maliyetlerdir (US EPA, 1997). Bir başka maliyet perspektifi olan "toplam sosyal maliyetler" yaklaşımı açısından ise bir iktisadi faaliyetin toplam maliyeti olarak değerlendirilmesi gereken toplam sosyal maliyetler; faaliyetin içsel maliyetleri ile dışsal maliyetlerinin (dışsallıklarının) toplamıdır. Buna göre söz gelimi bir atık bertaraf teknolojisinin net sosyal maliyeti; brüt içsel maliyetler ve brüt çevresel maliyetler tarafından oluşturulan brüt sosyal maliyetler ile brüt sosyal maliyet kazanımları arasındaki farka eşittir. Burada brüt sosyal maliyet kazanımları; yöntemin enerji ve madde geri kazanımı gibi içsel maliyet kazanımları ile çevresel maliyet kazanımlarının (pozitif dışsallıklar) toplamıdır. Brüt içsel maliyetler; yapım, işletim, bakım ve kullanım sonrası süreçlerinin işçi ve kapital maliyetleri olmak üzere ikiye ayrılır. Brüt çevresel maliyetler ise; söz konusu teknolojinin negatif dışsallıkların toplamıdır (Dijkgraaf ve Vollebergh, 2004). Pozitif ve negatif dışsallıkların toplamı; toplam sosyal maliyetin dışsal maliyetler kalemini oluşturur.

Dışsallık; bir grubun yaptığı sosyal ya da ekonomik bir faaliyetin diğer başka bir grup üzerinde yaptığı etkilerin maliyet ve kazançlarının toplamı olarak tanımlanır (Eshet ve diğ., 2006). Bu etkiler pazarlanamayan çıktılar oldukları için mevcut fiyatlandırma yapısının dışındadırlar. Dışsal maliyet (negatif dışsallık), insan sağlığı üzerinde ilgili faaliyetlerle ilişkilendirilen herhangi bir bozulmayı ifade eder. Bu bozulmalar her hangi bir ürünün yaşam döngüsü sırasında geçirdiği; ham maddenin elde edilmesi, üretimi, taşınması, kullanımı ve bertarafı gibi çeşitli faaliyetlerden kaynaklanabilir (Eshet ve diğ., 2005).

Atık yönetimi ile ilişkili faaliyetleri; atığın üretimi, saklanması, toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Kendi başlarına birer karar verme problemi olan bu faaliyetlerin her biri çeşitli düzeylerde dışsallıklara neden olurlar (Garrod ve Willis, 1998). Genel olarak tesislerin işletimi ve atığın tesislere taşınmasından kaynaklanan dışsallıkları ortaya çıkaran ana etkiler; havaya, toprağa ve suya giden emisyon salınımları ve hoşnutsuzluk olmak üzere iki sınıfta incelenebilir. Tüm bu etkilerden konvansiyonel kirleticilerin atmosfere salınımı hem yerel hem de küresel ölçekte etkiye sahip olabilirken diğerleri genel olarak yerel etkilere sahiptirler. Ortaya çıkan dışsallık etkileri; atığın bileşimi, arıtma

prosesinin türü, tesisin yeri, teknolojisi ve yaşı gibi karakteristikleri ve yasal sınırlamalar gibi değişkenlerden etkilenirler (Eshet ve diğ., 2007a). Weng ve Fujiwara (2011)'ya göre; atık yönetimine ilişkin olarak ortaya çıkan dışsallıklar Tablo 1.1'de sunulmuştur.

Tablo 1.1. Atık yönetim faaliyetlerinde dışsallıklar (Weng ve Fujiwara, 2011)

Faaliyet	Açıklama	Toplam Maliyete Etki	
Atık Azaltma	Evsel katı atık üretim miktarının azaltılması	Pozitif	-Artan çöp miktarına karşı gelişen hoşnutsuzluğun azalması -Alan kazanımı
Kaynak Geri Kazanma	Atığın kaynak olarak geri dönüşümü	Pozitif	-Ham madde üretimi ve madenciliğe karşı gelişen hoşnutsuzluğun azalması
	Enerji geri kazanımı	Pozitif	-Aşırı kirliliğe neden olan enerji üretim tekniklerine karşı oluşan hoşnutsuzluğun azalması
Hava Kirliliği	Kamyonlar, deponi sahaları, baca ve diğer atık tesislerinden kaynaklanan koku da dâhil hava kirliliği	Negatif	-Bozulan insan sağlığı için tıbbi harcamalar -Küresel ısınmanın zararlarının azaltılması için yapılan harcamalar -Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
Atık Su	Atık işleme tesisleri ya da vahşi depolamadan kaynaklanan atık su kirliliği	Negatif	-Kirlenen toprak ve suların remediyasyonu -Etkilenen diğer ekosistemlerin iyileştirilmesi -Bozulan insan sağlığı için tıbbi harcamalar -Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
Katı Artıklar	Yakma sonucu oluşan kül, cüruf ve kekten kaynaklanan toprak kirliliği	Negatif	-Kirlenen toprak ve suların remediyasyonu -Etkilenen diğer ekosistemlerin iyileştirilmesi -Bozulan insan sağlığı için tıbbi harcamalar -Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
	Vahşi depolamadan kaynaklanan toprak kirliliği	Negatif	-Kirlenen toprak ve suların remediyasyonu -Etkilenen diğer ekosistemlerin iyileştirilmesi -Bozulan insan sağlığı için tıbbi harcamalar -Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
Manzara	Yakın bölgeler için görsel ihlal	Negatif	-Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
	Ömrü dolan depolama alanının remediyasyonu	Pozitif	-Düzenlenen alanın rekreasyon değeri -Düzenlenen alanın ekosistem hizmeti değeri -Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
Trafik	Çöp kamyonlarından kaynaklı düzensizlik	Negatif	-Artan trafik kazalarının tıbbi giderleri -Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
Gürültü	Makine ve ünitelerden kaynaklanan gürültü	Negatif	-Bozulan insan sağlığı için tıbbi harcamalar -Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
Bölgesel Gelişim	İş imkânları	Pozitif	-İş imkanlarındaki artışa bağlı olarak gelişen ekonomik etkiler
	Altyapı seviyesi	Pozitif	-Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler
	Güvenlik riski	Negatif	-Gayrimenkul fiyatlarındaki değişimler

Tablo 1.1'den de anlaşılacağı üzere atık yönetiminde oluşan dışsallık miktarı; kullanılan işleme/bertaraf yönteminin ne olduğunun yanı sıra tesisin nerede olduğu ile de doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda; atıkların hangi yöntemlerle işlenip bertaraf edileceği (yöntem seçimi) ve ilgili tesislerin nerede faaliyete geçirileceği (yer seçimi) kararlarının alınmasında bir maliyet hesabından söz edilecekse, uygulamanın dışsal maliyetleri de dikkate alması gerektiği son derece açıktır. Mevcut uygulamalarda ise bu gerekliliğin yerine getirildiğini söylemek oldukça güçtür.

Bir iktisadi faaliyetin neden olacağı dışsallıkların belirlendiği çalışmalar oldukça pahalı ve karmaşık yapılara sahiptirler. Öte yandan bir çalışma bölgesi için deneysel mali değerlerin bulunamadığı durumlarda kazanç aktarımı olarak bilinen bir yol kullanılmaktadır. Bu yolla birincil düzeyde yapılmış çalışmalardan alınan veriler bazı ekonometrik teknikler kullanılarak ikincil düzeyde türetilmiş değerler olarak kullanılır. Kullanışlı olmakla birlikte bu yolun tercih edilmesi, yeni tahminlere belirli bir düzeyde belirsizlik ilave eder. Çevresel dışsallıkların belirlenmesi için gerçekleştirilen mali değerlendirme yöntem ve tekniklerini 4 grup altında toplamak mümkündür. Bunlar; direkt yöntemler, dolaylı yöntemler, doz-tepki fonksiyonları ve uzman değerlendirmeleri şeklindedir. Ekonometrik kazanç aktarımı yöntemi ise bu tekniklerin tamamıyla ilişkilendirilebilecek bir yöntemdir (Eshet ve diğ., 2006).

Evsel katı atık bertaraf teknolojilerinin dışsal maliyetleri konusunda ön plana çıkan iki yöntem düzenli depolama ve yakma olup bu yöntemler için hesaplanan dışsallıklar referans çalışmalar açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Depolama alanları için tanımlanan dışsal maliyetler çoğunlukla küresel ısınmayı etkileyen sera gazlarının salınımı ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olan sızıntı suyu oluşumuyla, dışsal kazançlar ise alanda oluşan metandan üretilen enerji ile ilişkilendirilir. Yakma tesisleri için dışsal maliyetler partikül, NO_x, dioksinler ve SO_2 gibi hava kirleticilerinin salınımıyla, dışsal kazançlar da tesiste sağlanan enerji geri dönüşümü ile ilişkilendirilir. Yakma tesisleri, depolama alanları ve benzer atık bertaraf tesislerinin neden olduğu bir diğer dışsallık ise bu tip tesislerin varlığında ortaya çıkan hoşnutsuzluk derecesi olarak tanımlanır. Bazı temel farklılıklar göstermekle birlikte yakma ve depolama işlemleri için oluşan bu maliyet cinsinin yapısı aynıdır ve maliyetin derecesi genel olarak koku, toz, serpinti, gürültü, trafik ve görsel etki gibi etmenlerden etkilenir. Hoşnutsuzluğun boyutunu farklılaştıran temel

etmenler ise; prosesten uzaklık, atığın cinsi (tehlikeli veya evsel), prosesin türü (yeni, eski), topografya ve hakim rüzgar yönü olarak gösterilebilir (Eshet ve diğ., 2007a). Kompostlaştırma gibi atık işleme tesislerinin dışsallıkları ise temel olarak hoşnutsuzluk ile tanımlanır (Garrod ve Willis, 1998).

Bir bertaraf tesisinin yakın çevresinde oluşan hoşnutsuzlukla baş edebilmek için en sık kullanılan yöntem yerleşimcilere tazminat ödemektir. Bu uygulama, tesisin neden olduğu hoşnutsuzluktan kaynaklı bir dışsallık olarak düşünülmelidir. Jenkins ve diğ. (2002)'ye göre bu miktarın belirlenmesinde yaşanan süreç iki husus tarafından yönlendirilir. İlk olarak yerleşimciler, tesisin neden olduğu negatif etkileri dengeleyecek bir miktar üzerinde pazarlık yapabilirler. Bu durumda ödenecek miktar ne olursa olsun, tesisi işletecek kurum tarafından nasıl olsa ileride içselleştirilerek tahsis edileceği için (Shmelev, 2011) kolayca kabul edilir. İkinci olarak, bazı durumlarda pazarlık gücü ve ayrımcılık gibi hususlar tarafından yönlendirilen süreç sonunda çıkan tazminat miktarı gerçek sosyal maliyeti yansıtmaz.

Dijkgraaf ve Vollebergh (2004); Hollanda'da metan geri dönüşümü yapan bir depolama alanının içsel maliyetini 36 Euro/ton.atık (metan geri dönüşümsüz tesis için 40 Euro/ton.atık) ve enerji geri dönüşümü sağlayan bir yakma tesisinin içsel maliyetini 79 Euro/ton atık (enerji geri dönüşümsüz 103 Euro/ton.atık) şeklinde bulmuştur. Aynı çalışmada deponi için çevresel dışsal maliyetler 22,14 Euro/ton atık ve yakma için çevresel dışsal maliyetler 17,64 Euro/ton.atık şeklinde bulunmuştur. Çalışma çevresel dışsal maliyetler için; havaya salınan emisyon, suya verilen kirletici, kimyasal atık oluşumu ve alan kullanımı gibi dışsal maliyetlerle birlikte enerji ve materyal geri kazanımı gibi dışsal faydaları da dikkate almıştır. Burada alan kullanımının çevresel maliyeti ihmal edildiğinde ortaya çıkan durum ise deponi için 4,26 Euro/ton.atık (Kinnaman (2006)'ya göre deponi için 5,39-8,76 Dolar/ton.atık) ve yakma için 17,64 Euro/ton.atık (Isely ve Lowen (2007)'ye göre yakma için 5,26 Dolar/ton.atık) şeklinde olmaktadır. Çalışmada deponi için bulunan net sosyal maliyet 58 Euro/ton.atık olurken yakma için bu değer 97 Euro/ton.atık şeklindedir.

Rabl ve diğ., (2008); geri dönüşüm kullanılmayan bir deponi alanı için dışsal maliyetleri 13 Euro/ton.atık ve yakma tesisi için 21 Euro/ton.atık şeklinde bulmuştur. Tesislerde enerji eldesi uygulandığında bu değerler deponi için 10 Euro/ton.atık ve

yakma tesisi için 4 Euro/ton.atık değerlerine kadar düşürülebilmektedir. Ayrıca bu değerlere 1 Euro/ton atık hoşnutsuzluk maliyetleri de eklenerek gerçek dışsal maliyet değerleri bulunmuştur. Bu çalışma için dikkate alınan fazlar; tesislerin inşası (dışsal maliyet ihmal edilmiştir), atığın taşınması (dışsal maliyet ihmal edilmiştir), tesislerden salınan emisyonlar, enerji geri kazanımı sayesinde emisyonlarda elde edilen azalma ve madde geri dönüşümü sayesinde emisyonlarda elde edilen azalma olarak gösterilmiştir. Bu fazlar sonucu oluşan etkiler arasından çalışmada dikkate alınan etkiler ise; insan sağlığına etki, ekinlere etki, malzeme ve binalara etki ve hoşnutsuzluk olarak sıralanmıştır. Kirleticilerin ekosistem üzerindeki etkileri, hava kirliliği sonucu oluşan görüş azalması, sızıntı suyu sonucu oluşan su kirliliği ve yakmadan kaynaklanan artıkların etkileri ihmal edilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasının temel amacı; evsel katı atık işleme ve bertarafı için yöntem ve yer seçimi konularında alınan nihai kararların, dışsallıkların dikkate alınıp alınmamasından etkilenip etkilenmeyeceğini sorgulamaktır. Bu nedenle ilk olarak hem yöntem hem de yer seçimi için dışsallıkların kullanılmadığı birer karar verme modeli oluşturulup nihai kararlar ("Yöntem_Karar_1" ve "Yer_Karar_1") elde edilecektir. Bu modeller geniş katılımlı bir karar verme ortaklığının görüşlerine göre yapılandırılacaktır. Aynı model yapılarına dışsallıkların da ilave edilmesi ile elde edilecek olan yeni nihai kararlar ("Yöntem_Karar_2" ve "Yer_Karar_2"), ilk nihai kararlarla karşılaştırılacak ve sonuçlar değerlendirilecektir. Literatürde, sözü edilen her iki karar tipi için de (yöntem seçimi ve yer seçimi) farklı yaklaşımların kullanıldığı çalışmalara rastlamak mümkündür. Yöntem seçimi konusunda, çok ölçütlü karar mekanizmaları ve optimizasyon modelleri ön plana çıkan iki yaklaşımdır. Bu çalışmada her iki yaklaşım da kullanılacak, ancak çok ölçütlü karar mekanizması, nihai kararı alma değil, nihai kararların alınmasında kullanılacak optimizasyon modeline destek olma bakımından değerlendirilecektir. Optimizasyon modelinde kullanılacak dışsallık miktarları literatür yardımı ile saptanacak ve bir Monte Carlo simülasyonu yardımı ile belirsizlik analizine tabi tutulacaktır. Yer seçimi konusunda ise halihazırda en çok kullanım alanına sahip yaklaşım olan coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yaklaşımı kullanılacaktır. Çok ölçütlü karar mekanizması bu aşamada, CBS uygulamasında kullanılacak katman ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılacaktır. Yer seçimi konusundaki dışsallıkların da CBS içinde oluşturulması sonrasında CBS modeli bu dışsallıkların olması ve olmaması açısından değerlendirilecektir. Çalışmanın metodolojisinde izlenen adımların şematik bir gösterimi Şekil 2.1'de sunulmuştur. Çalışmada kullanılan karar verme uygulamalarının tamamı Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmit Atık ve Atıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş. Genel Müdürlüğü (İZAYDAŞ) ve Kocaeli Kent Konseyi arasında imzalanan bir işbirliği protokolü doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tüm teknik donanım yine bu protokol doğrultusunda temin edilmiş ve çalışma sonunda İZAYDAŞ'a teslim edilmiştir.

TEZİN YÖNTEM SEÇİMİ AŞAMASI ADIMLARI	TEZİN YER SEÇİMİ AŞAMASI ADIMLARI
1- Çalışma Alanı İçin Geniş Katılımlı Bir Karar Verme Ortaklığının Oluşturulması	11- Ortaklığın, Mevzuat ve Literatür Desteğiyle, Yer Seçimi Karar Ağacını Oluşturması
2- Ortaklığın, Literatür Desteğiyle, Yöntem Seçimi Karar Ağacını Oluşturması	12- Ortaklığın, Karar Ölçütlerini AHP Metoduyla Önceliklendirmesi
3- Ortaklığın, Karar Ölçütleri ve Alternatiflerini AHP/ANP Metotlarıyla Önceliklendirmesi	13- Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Tabanlı Bir Yer Seçimi Modelinin ve Ölçütlerin Oluşturulması
4- Ortaklığın Görüşleri Yardımıyla, Doğrusal Bir Maliyet Optimizasyon Modelinin Oluşturulması	14- Yer Seçimi Modeli İçin, Literatür Desteğiyle, Dışsal Ölçütlerin Belirlenmesi ve Oluşturulması
5- Optimizasyon Modeli İçin, Literatür Desteğiyle, Dışsallıkların Parasal Miktarlarının Belirlenmesi	15- Dışsal Ölçütlerin Etkisinin İncelenmesi İçin Etkensel Bir Deney Tasarımının İnşa Edilmesi
6- Monte Carlo Simülasyonu Yardımıyla Dışsallıkların Belirsizliklerinin Belirlenmesi	16- Alan İhtiyaçları, Mevzuat ve Literatürün Ortak Bir Değerlendirmesiyle Senaryoların Teşkili
7- İzin Verilebilir Taşıma Mesafesi ve Deponi Sayıları İçin Senaryoların Oluşturulması	17- Tüm Senaryolar İçin, Deney Tasarımının CBS Tabanlı Modelde Uygulanması
8- Modelin, Senaryolar İçin, Dışsallık Değerleri Olmadan Çalıştırılması	18- Deney Sonuçlarının Değerlendirilebilmesi İçin ANOVA Tabanlı Bir İstatistik Metodunun Teşkili
9- Modelin, Senaryolar İçin, Dışsallık Değerleri Dahil Edilerek Çalıştırılması	19- Deney Tasarımı Sonuçlarının Dışsallıklar Açısından İstatistiksel Değerlendirilmesi
10- Elde Edilen Proses Tipi, Yeri ve Alan İhtiyacı Sonuçlarının, Karar Ağacı Sonuçlarıyla Birlikte, Dışsallıklar Açısından Değerlendirilmesi	20- Yöntem ve Yer Seçimi Açısından Dışsallıkların Ortak Bir Değerlendirmesi

Şekil 2.1. Tez çalışmasının metodolojisinin şematik gösterimi

2.1. Çalışma Alanı

Bu tez çalışmasında yapılan tüm uygulamalarda kullanılan çalışma alanı Kocaeli ilidir. Türkiye'nin en yoğun sanayi bölgelerinden biri olan ve 12 ilçeden oluşan Kocaeli'nin 2008 yılı nüfusu 1.490.904 kişidir. Şehirde 2008 yılında kişi başına yaklaşık 0,99 kg evsel katı atık üretilmiştir (KBB ÇKKDB, 2009) . Şehirde oluşan atıklar halen toplam 4 transfer istasyonunda toplanarak 2 adet depolama alanında (Dilovası ve Solaklar) bertaraf edilmektedir. İlerleyen yıllarda kullanılmak üzere inşa edilmiş 1 adet biyogazifikasyon tesisi ise Solaklar mevkiinde hazır bulunmaktadır. 2015 yılı sonuna kadar depolama alanlarının ömrünün dolacak olmasından ötürü Kocaeli'nde yeni bir evsel atık işleme ve bertaraf yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma alanına ilişkin harita ve detaylar, anlatım bütünlüğü sağlamak ve tekrara düşmemek adına, maliyet optimizasyon modeli bölümünde (Bölüm 2.4) sunulacaktır.

2.2. Karar Verme Ortaklığı

Bu tez çalışmasında yapılan uygulamalara temel oluşturan yöntem ve yer seçimi karar verme modellerinin tamamı, geniş katılımlı bir karar verme ortaklığı aracılığıyla oluşturulmuştur. Sözü edilen karar verme ortaklığı Kocaeli ilinde faaliyet gösteren ve evsel katı atık yönetimi konusunda teknik bilgi birikimine sahip olan olabildiğince çok kurum ya da kuruluşu bünyesinde barındırmayı ilke edinmiştir. Ortaklığın temel amacı; karar verilmesi düşünülen bertaraf senaryosunun seçimi sürecinde temsilcilerin tüm kurumsal bilgi ve tecrübelerini sürece aktarması yoluyla, alınacak kararda söz sahibi olmalarının ve kurumsal eğilimlerini sürece aktarmalarının sağlanmasıdır. Bu amaçla Kocaeli'nde faaliyet gösteren ve sürecin muhatabı olabilecek teknik bilgi birikimine sahip olduğu düşünülen kurumlardan 30 tanesi süreçte aktif bir biçimde rol almak üzere bir araya getirilmişlerdir. Ortaklığa davet edilen kurumlar; 3 kamu kurumu temsilcisi (Grup_1), 3 üniversite temsilcisi (Grup_2), 6 kent sivil toplum kurumu temsilcisi (Grup_3), 3 atık yönetiminden sorumlu işletme (İZAYDAŞ) temsilcisi (Grup_4) ve 15 yerel yönetim temsilcisi (Grup_5) şeklinde 5 gruba ayrılmış olup katılımcı kurumların listesi, katılımcılarla yürütülen çalışma takviminin detayları ve katılımcıların takip durumları EK-A, EK-B ve EK-C'de sunulmuştur.

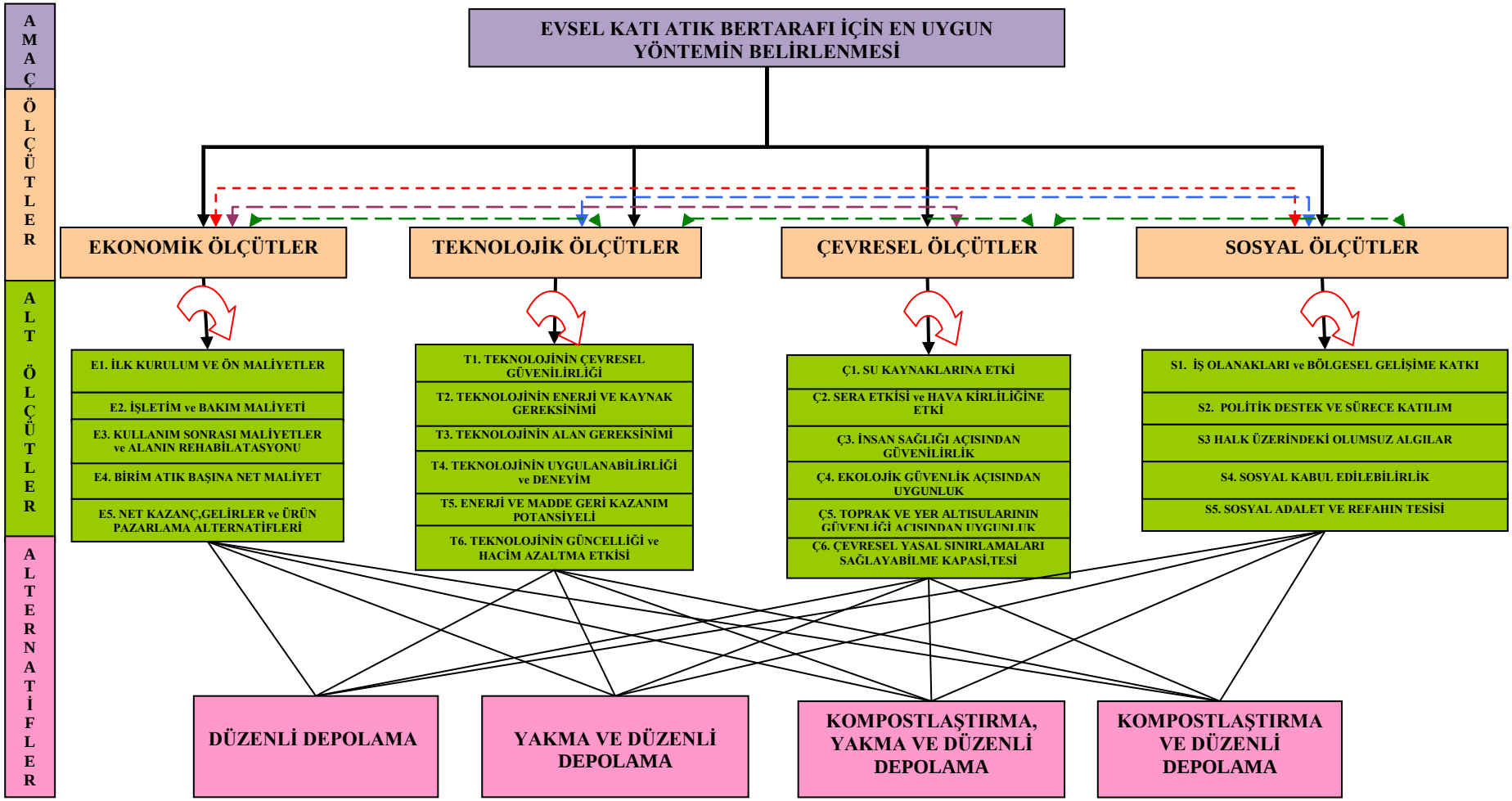
2.3. Karar Verme Ortaklığının Yöntem Seçimi Konusundaki Önceliklerinin Belirlenmesi

Karar verme ortaklığı bileşenlerinin Kocaeli ilinde 2015 yılı sonundan itibaren uygulanmak durumunda olunan yeni evsel katı atık yönetim biçiminin ne şekilde olması gerektiğine ilişkin kurumsal yönelimleri ve önceliklerini belirlemek için bir dizi çalışma yürütülmüştür. Zaman zaman tek başına bir karar verme mekanizması olarak da kullanılabilen bu türden bir öncelik belirleme çalışmasının bu tezde kullanılmasının temel amacı; bir sonraki bölümde detaylandırılacak olan ve asıl karar verme modeli olarak kullanılacak olan maliyet optimizasyon modelinden elde edilecek sonuçlarla bu aşamada elde edilen eğilim ve öncelikler arasında önemli farklılıklar olması durumunda tekrar başa dönmeyi gerektiren bir kontrol mekanizması geliştirmektir. Sözü edilen bu öncelik belirleme çalışmalarında katılımcılara önceden kendilerinden alınan görüşler doğrultusunda oluşturulmuş bir

karar ağacı ve bu karar ağacının çözümlenebilmesi için kullanılacak olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Ağ Prosesi (ANP) metotlarının gerektirdiği ikili karşılaştırmaların bulunduğu formlar sunulmuştur. Çalışmada kullanılan karar ağacında "Amaç"; "Kocaeli'nde Oluşan Evsel Nitelikli Katı Atıkların Bertarafı İçin En Uygun Yöntem Alternatifinin Belirlenmesi" olarak tanımlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak karşılaştırılması istenen ana etken grupları, Hung ve diğ., (2007) tarafından belirtildiği ve yöntem seçimi için sıklıkla kullanıldığı biçimde; ekonomik ölçütler, teknolojik ölçütler, çevresel ölçütler ve sosyal ölçütler olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. Bu ana etken grupları için kullanılacak alt ölçütler katılımcılarla yapılan görüş alışverişleri sonucunda belirlenmiş olup toplam 22 alt ölçüt değerlendirme için uygun bulunmuştur. Karar yapısından katılımcılara değerlendirmeleri için 4 farklı bertaraf senaryosu alternatifi sunulmuştur. Bu alternatifler Tablo 2.1'deki gibidir. Alternatif senaryolar, evsel katı atık yönetiminin nihai bir aşaması olarak şimdilik kaçınılmaz gibi görünen düzenli depolama yönteminin her alternatifte mevcut olması biçiminde düzenlenmiştir. Alternatif senaryoların içerdiği diğer işleme ve bertaraf teknikleri yine katılımcılar tarafından seçilmiştir. Buna göre ısıl bertaraf işlemi olarak yakma (insinerasyon) ve organik atık işleme yöntemi olarak kompostlaştırma belirlenmiştir. Şekil 2.2 çalışmada katılımcılara sunulan karar ağacını göstermektedir.

Tablo 2.1. Bertaraf senaryoları ve ilgili açıklamalar

Alternatif	Ekonomik Kazançlar	Açıklamalar
Düzenli Depolama	-Deponi gazından enerji eldesi	Atıkların geri dönüştürülebilir bileşenlerinin ayrılmasından sonra kalan atığın tamamı uygun alanlarda depolanacaktır.
Yakma ve Düzenli Depolama	-Isıl işlem sonucu oluşan enerjinin buhar ve elektrik üretimi amacıyla kullanılması -Deponi gazından enerji eldesi	Atıkların geri dönüştürülebilir bileşenlerinin ayrılmasından sonra kalan atık yakılacaktır. Yakmaya alınmayan bileşenler ve yakma sonrası kalan kül uygun alanlarda depolanacaktır.
Kompostlaştırma, Yakma ve Düzenli Depolama	- Kompost üretimi -Isıl işlem sonucu oluşan enerjinin buhar ve elektrik üretimi amacıyla kullanılması -Deponi gazından enerji eldesi	Atıkların geri dönüştürülebilir bileşenlerinin ayrılmasından sonra biyobozunabilir atıklar kompostlaştırma tesisinde işlenecek, kalan atık yakılacaktır. Yakmaya alınmayan bileşenler, kompost tesisi artıkları ve yakma sonrası kalan kül uygun alanlarda depolanacaktır.
Kompostlaştırma ve Düzenli Depolama	-Kompost üretimi -Deponi gazından enerji eldesi	Atıkların geri dönüştürülebilir bileşenlerinin ayrılmasından sonra biyobozunabilir atıklar kompostlaştırma tesisinde işlenecektir. Kompostlanamayan bileşenler ve kompost tesisi artıkları uygun alanlarda depolanacaktır.



Şekil 2.2. Yöntem seçimi için kullanılan karar ağacı

2.3.1. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve analitik ağ prosesi (ANP) uygulaması

Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ilk olarak Thomas L. Saaty tarafından sayısal bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir. Saaty (1994) bu yöntemi insanın basit problemler hakkında doğuştan gelen etkin karar verebilme yetisi üzerine kurulu bir karar verme yaklaşımı olarak tanımlamış ve bir önem ölçeği geliştirmiştir. AHP; karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen ölçütler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahmin yapma yöntemi olarak açıklanabilir. AHP bir karar hiyerarşisi üzerinde, önceden tanımlanmış bir karşılaştırma ölçeği kullanarak, gerek kararı etkileyen ölçütler ve gerekse bu ölçütlerin karar noktalarındaki önem değerleri açısından yapılan bire bir karşılaştırmalara dayanmaktadır. Sonuçta önem farklılıkları, karar noktaları üzerinde yüzde dağılıma dönüşmektedir. Yöntemin genel kullanım alanlarını; karar verme, önceliklendirme/değer verme, kaynak dağıtımı, kıyaslama/karşılaştırma, kalite yönetimi, kamu yönetimi, sağlık iyileştirme ve stratejik planlama şeklinde sıralamak mümkündür (Forman ve Gass, 2001). AHP her sorun için amaç, ölçüt, olası alt ölçüt seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır.

AHP; hiyerarşilerin oluşturulması (karar ağacı), önceliklerin belirlenmesi (ikili karşılaştırmalar), mantıksal ve sayısal tutarlılık (kontrol) şeklinde 3 temel prensip üzerine kuruludur (Forman ve Gass, 2001). AHP'nin teorik alt yapısında ise üç aksiyom bulunur. Birinci aksiyom, iki taraflı olma/tersi olma aksiyomudur. Örneğin "a" elemanı "b" elemanının 3 katı büyüklüğünde ise "b", "a"nın 3'de 1'i büyüklüğündedir. İkincisi bağımsız olma aksiyomudur. Hiyerarşide belirli kademeye ait elemanlara ilişkin yargıların veya önceliklerin başka kademedeki elemanlardan bağımsız olmasını ifade eder. Üçüncüsü ise homojenlik aksiyomudur. Karşılaştırılan elemanların birbirinden çok farklı olmaması gerektiğini aksi halde yargılarda hataların olabileceği anlamını taşır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

AHP gibi Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş olan bir diğer çok ölçütlü karar analizi metodu da Analitik ağ prosesi (ANP) olarak bilinir. ANP metodu AHP metodundan türetilmiş bir genel yapıdır. Karar ağını oluşturan etkenlerin birbirinden bağımsız olması durumunda AHP yöntemi kullanılır. Etkenlerden bir veya birkaçının

başka etkenlere bağlı olarak değişebildiği durumlarda problemin çözümü için ise ANP yöntemi daha uygundur (Yang ve diğ., 2009). ANP metodu; AHP metodundan farklı olarak kararı etkileyen değişkenler üzerindeki etkileşimden kaynaklanan belirsizlikleri de dikkate alır (Begievi ve diğ., 2010). ANP yönteminde kullanılan işlem basamakları AHP ile aynı olup temel farklılık, ANP için karar ağacındaki etkenler açısından iç ve dış bağımlılıkların da dikkate alınmasıdır.

Bu tez çalışmasında, Şekil 2.2'de sunulan karar modeli için AHP ve ANP yöntemleri kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiş ve bu matrislerin bir arada bulunduğu bir değerlendirme anketi karar verme ortaklığının tüm katılımcılarına, yüz yüze uygulanmıştır. Sonuç değerlendirme işlemleri "Tüm Katılımcıların Bir Arada Değerlendirilmesi" ve "Rastsal Değerlendirme" şeklinde iki farklı biçimde yürütülmüştür. Tüm katılımcıların değerlendirmeye tabi tutulduğu ilk aşamada, yöntemde kullanılacak ikili karşılaştırmaların tamamını yöntem tutarlılık katsayısı açısından uygun olarak geri verebilen kurum sayısı 14'tür. Bu kurumlar; İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, İSU Genel Müdürlüğü, Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğü, Kocaeli Sanayi Odası, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Kent Konseyi, İZAYDAŞ, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi, Kartepe Belediyesi, İzmit Belediyesi, Gölcük Belediyesi, Gebze Belediyesi, Başiskele Belediyesi, Dilovası Belediyesi şeklindedir. Kalan kurumlar değerlendirmelerinin eksik olması ve/veya tutarlılık katsayılarını sağlayamadıkları için dikkate alınmamıştır. "Rastsal Değerlendirme" aşamasında ise tutarlı katılımcılardan alınan anketler arasından her grubu temsil edecek belli sayıdaki anket rastsal olarak seçilmiştir. Buna göre; 1 kamu kurumu temsilcisi (Grup_1 adına), 1 üniversite temsilcisi (Grup_2 adına), 2 sivil toplum kuruluşu temsilcisi (Grup_3 adına), 1 atık yönetiminden sorumlu kurum temsilcisi (Grup_4 adına), 1 Büyükşehir Belediyesi temsilcisi ve 2 ilçe belediyesi temsilcisi (Grup_5 adına) üzere toplam 8 temsilcinin cevapları incelenmek üzere ayrılmıştır. Rastsal değerlendirme adımı için yapılan tüm işlemler bu 8 katılımcı üzerinden yapılmıştır.

Şekil 2.2'de sunulan karar yapısındaki alt ölçütlerin kendi ölçüt grupları için iç bağımlılık ve diğer ölçüt gruplarında bulunan diğer alt ölçütler ile dış bağımlılık durumları olmadığı varsayılarak bir AHP modeli oluşturulmuştur. Bu modele göre ortaya çıkan toplam 31 karşılaştırma matrisi ve bu matrisler içerisinde bulunan

toplam 188 ikili karşılaştırmanın katılımcılar tarafından değerlendirilmesi sağlanmıştır. Katılımcılar tarafından yapılan karşılaştırmalar, geometrik ortalamalarının alınmasının ardından Saaty (2004) ve Saaty (2006) tarafından önerilen yöntem ile değerlendirilmiş ve nihai sonuçlar elde edilmiştir.

Yine Şekil 2.2'de sunulan karar yapısı için, alt ölçütlerin kendi ölçüt grupları için iç bağımlılık ve diğer ölçüt gruplarında bulunan diğer alt ölçütler ile dış bağımlılık durumlarının tamamının da geçerli olabileceği kabul edilerek bir ANP modeli oluşturulmuştur. Bu modele göre ortaya çıkan toplam 53 karşılaştırma matrisi ve bu matrisler içerisinde bulunan toplam 1.228 ikili karşılaştırmanın katılımcılar tarafından değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu karşılaştırmalardan 188 tanesi AHP modeli için yapılan karşılaştırmalarla aynıdır. Nihai sonuçlar yine Saaty (2004) ve Saaty (2006) tarafından önerilen yöntem ile elde edilmiştir.

2.4. Yöntem Seçimi Maliyet Optimizasyon Modeli

Evsel katı atık yönetimi (EKAY); çevresel etkinlik, ekonomik uygunluk, sosyal kabul edilebilirlik ve benzeri pek çok açıdan değerlendirilmesi gereken karmaşık bir sorundur (Liamsanguan ve Gheewala, 2008). Evsel katı atık problemlerinin bu karmaşık doğası bu konuda yapılan çalışmaların da farklılaşmasına ve çoğalmasına neden olmaktadır (Sua ve diğ., 2007). Çok sayıda belirsizlik ve değişken içeren bu karmaşık yönetim sürecinin kilit öneme sahip adımlarından biri "en uygun bertarafı yönteminin belirlenmesi" aşamasıdır (Abou Najm ve El-Fadel, 2004; Li ve diğ., 2008). 70'li yıllardan bu yana doğrusal ve doğrusal olmayan programlama yaklaşımlarını içeren çok sayıda yeni yaklaşım bu önemli problemin çözümüne odaklanmıştır (Hung ve diğ., 2007). Doğrusal optimizasyon modellerinin de içinde bulunduğu konveks optimizasyon uygulamalarında yerel optimal nokta yani nihai karar, aynı zamanda küresel optimal noktayı tanımlar (Bazaraa, 2006). Doğrusal olmayan programlamada ise birbirine yakın uygun sonuçlar arasından amaç fonksiyonunun minimizasyonu anlamına gelen yerel optimizasyon metotları üzerine odaklanıldığı için sonucun en uygun amaç fonksiyonu değeri olduğu garanti edilemez (Boyd, 2004). Bu olumsuzluk doğrusal modeller ile ortadan kaldırılabilirken doğrusal modellerin tercih edilmesi atık yönetimi açısından pek çok belirsizliği de göz ardı etmek anlamına gelebilir (Boyd, 2004; Huang ve diğ., 2005).

Son yıllarda üzerinde en çok durulan doğrusal programlama yaklaşımlarının karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP - Mixed Integer Linear Programming) yaklaşımları olduğu söylenebilir (Badran ve El-Haggar, 2006). Evsel katı atık yönetimi açısından en uygun bertaraf yönteminin belirlenmesinde MILP uygulamaları son derece kullanışlı birer araçtırlar. Öte yandan konvansiyonel MILP uygulamaları, çok sayıda belirsizlik içeren ve bu belirsizlikler arasındaki etkileşimlerin son derece karmaşık olduğu yöntem seçimi problemlerinin gerçek hayattaki biçimlerine tam anlamıyla bir karşılık vermekte yetersiz kalmaktadır (Maqsood ve diğ., 2004). MILP uygulamalarının bu eksikliklerine cevap bulmaya çalışan farklı yaklaşımlar geçmişte çok defa kullanılmıştır. Bu yaklaşımlardan bazıları; belirsiz-karma tam sayılı doğrusal programlama (Cheng ve diğ., 2003; Su ve diğ., 2008), iki aşamalı belirsiz-karma tam sayılı doğrusal programlama (Maqsood ve diğ., 2004; Li ve Huang, 2006), iki aşamalı stokastik programlama (Li ve diğ., 2008), bulanık-stokasitik-aralık doğrusal programlama (Li ve Chen, 2011; Wang ve diğ., 2012) ve MILP uygulamalarını içeren diğer karışım uygulamalar (Li ve diğ., 2007; Nie ve diğ., 2007; Guo ve diğ., 2008; Guo ve Huang, 2009; He ve diğ., 2009; Jing ve diğ., 2009; Lu ve diğ., 2009; Guo ve Huang, 2010; Li ve Huang, 2010; Tan ve diğ., 2010; Xi ve diğ., 2010; Xu ve diğ., 2010; Zhu ve Huang, 2011) olarak gösterilebilir.

Yukarıda sözü edilen MILP yaklaşımlarının her biri belirsizlikler sorununun çözümü için farklı yollar önermektedir. Ancak sözü edilen bu çalışmaların kütle dengelerine bakıldığında birden fazla atık girişi olan ve bu atık kütlesini başka bir yönteme (prosese) gönderen her hangi bir yapının olmaması son derece dikkat çekicidir. Bu anlamda gerçek hayattaki atık yönetim biçimleri açısından birden fazla atık girişi mümkün olabilen organik atık işleme ve ısıl işlem gibi proseslerin çıkışındaki atık kompozisyonunun, bir bütün halinde hareket eden atık kütlesi açısından doğrusal programlama ile nasıl çözülebildiği halen önemli bir soru işaretidir.

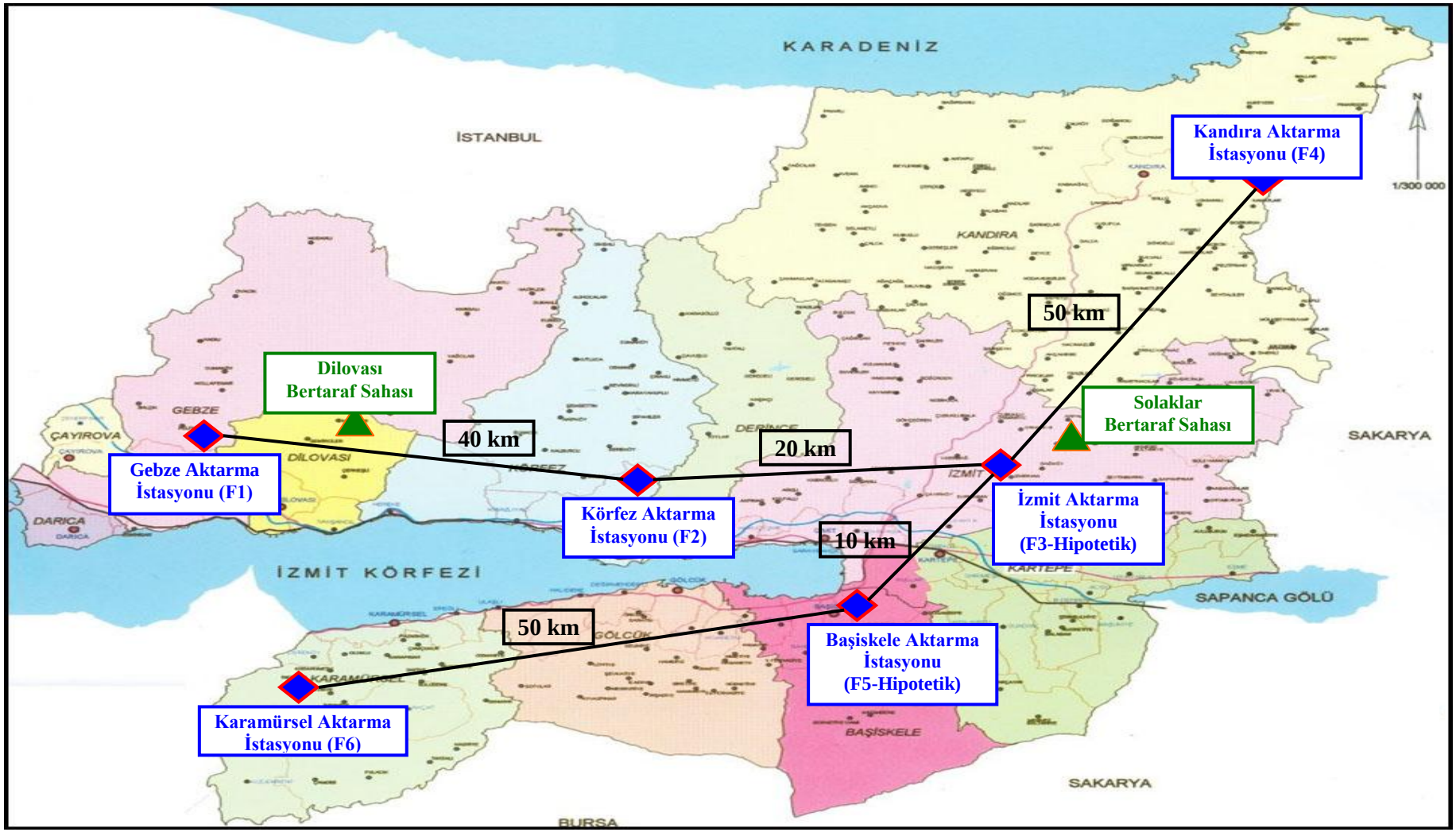
Bu tez kapsamında yapılacak olan dışsallık değerlendirmesine temel teşkil etmesi için geliştirilen yöntem seçimi modeli; karma tam sayılı doğrusal bir maliyet optimizasyon modelidir. İlk olarak Solano ve diğ. (2002a) ve Solano ve diğ. (2002b) tarafından "yapay kütle akış bölümleri" şeklinde tanımlanmış olan ve yukarıda da sözü edilen çıkış kütlelerinin doğrusal programlama ile belirlenememesi problemi bu tez çalışmasında söz konusu türden proseslerin proses giriş sayısı kadar parçaya

ayrılması yaklaşımı ile ortadan kaldırılacaktır. Model; proje süresince birim atık başına yerel yönetim tarafından ödenmesi gereken ücretin en aza indirilmesi esasına dayanmaktadır. Tez kapsamında bu model Kocaeli ilinin 2015-2040 yılları arasındaki 25 yıllık proje süresi için yapılandırılmıştır. Modelin detayları aşağıda sunulmuş olup modelde kullanılan bilgilerin kaynakları gerekli görülen yerlerde yanlarına yazılmıştır. Kaynak olarak (İZAYDAŞ, 2011) şeklinde belirtilen bilgiler doğrudan İZAYDAŞ yönetici raporları ve mühendislerinden edinilen bilgilerdir.

2.4.1. Modele ait genel kabuller

Yöntem seçimi için oluşturulan maliyet optimizasyon modelinin yapılandırılması için yapılan genel kabuller şunlardır:

1. Olası tesislerin tamamı 2015 yılı sonunda bitirilmiş ve 2016 Ocak ayında işletmeye alınacak şekilde hazır olacaktır. Planlanan projenin kullanım süresi 2040 yılı Aralık ayında sona erecektir (25 yıl proje süresi).
2. Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan 4 adet atık transfer istasyonunun mevcut konumları korunacaktır. Bu istasyonlara ilave olarak 2 adet transfer istasyonu, model için hipotetik olarak tanımlanmıştır. Bu istasyonlardan birinin Başiskele ilçesi Yeniköy Organize Sanayi Bölgesi yakınlarında, diğerinin de İzmit ilçesi Yahya Kaptan Mahallesi yakınlarında olduğu kabul edilecektir. Model sonuçlarına göre bu iki olası istasyonun durumları yeniden değerlendirilecektir. Bu iki istasyonun yapım maliyetleri modelde ihmal edilmiştir. Sözü edilen istasyon dağılımlarının durumu ve istasyonlar arası yaklaşık atık taşıma mesafeleri (İZAYDAŞ,2011) Şekil 2.3'de sunulmuştur.
3. Modele göre kaynaktan çıkan her atık en yakın transfer istasyona gelmek zorundadır. Atıkların oluştuğu kaynaklardan transfer istasyonlarına getirilmeleri için gereken taşıma giderleri ihmal edilmiştir. Bu ihmalin gerekçesi ise şöyledir: Bölgede ambalaj atıklarının kaynakta ayrı toplanması işlemi özel şirketler tarafından yapılıp bu ürünlerin satışı yine bu şirketler tarafından yapılmakta olduğu için ambalaj atığı geri dönüşümü işi için bir gider ya da gelir olmayacaktır. Bunun yerine şirketlerin, atığın kaynaktan istasyonlara taşıma giderlerini karşılayacağı varsayılacaktır.



Şekil 2.3. Modelde tanımlanan transfer istasyonlarının konumları

4. Modelin önerebileceği atık ayırıcı ve/veya organik atık işleme tesisi sayısı en az 0 ve en fazla 6 olacaktır. Sözü edilen bu tesislerin mevcut olma durumlarında bulunacağı konumlar transfer istasyonları ile aynı bölgeler olacaktır. Bu bölgeler çalışma boyunca MRF (Material Recovery Facility) olarak adlandırılacaktır. Bu 6 adet MRF bölgesinde hangi ilçelerin atıklarının toplanacağı ve bölgelerin kodları ise şu şekilde belirlenmiştir:

- Gebze-Dilovası-Çayırova-Darıca : F1
- Körfez-Derince : F2
- İzmit : F3
- Kandıra : F4
- Kartepe-Başiskele-Gölcük : F5
- Karamürsel : F6

5. MRF bölgelerinde ayrılan ambalaj atıkları ve organik ürünler müşteriler tarafından bölgeden alınacağından bu iş için oluşacak taşıma giderleri ihmal edilmiştir.

6. Modeldeki ısıl işlem tesisleri yap-işlet-devret modeline göre yapılacaktır. Buna göre, elektrik ve buhar gibi ürünlerin satışının geliri yüklenici firma tarafından alınacağından bu gelirler modele katılmamıştır.

7. Şehirde oluşan park-bahçe atıklarının bir kısmı proje süresince ayrı toplanıp bu kısmın belirli bir miktarı Solaklar'da bulunan Biyogaz tesisine getirilecektir. Tesise günde en az 7 ton en fazla 11 ton atık gelebilmektedir. Bu durumda; yılda 330 gün çalıştırılacak olan tesise proje süresince her yıl her ilçenin park bahçe atığının yaklaşık % 40'ı (2.500-3.500 ton/yıl) getirilebilir. Maliyet çalışmalarında biyogaz tesisinin gelir ve giderleri, tesis hâlihazırda kurulu olduğu için ihmal edilmiştir. Bu noktadan itibaren tez içerisinde verilen tüm kütle bilgileri biyogaz tesisine gönderilecek park-bahçe atıklarının toplam kütleden çıkarılmasından sonraki kısmı ifade eder.

8. 2016 yılı başından 2040 yılı sonuna kadar uygulanacak olan evsel katı atık yönetimi modelinde kullanılmak üzere Kocaeli ili için oluşan evsel katı atık kütlesi; (M) Fiorucci ve diğ., (2003)'deki yapılandırmaya benzer biçimde, evsel nitelikli arıtma çamurlarının kapsam dışı bırakılmasıyla 7 farklı bileşene [m_i (i=0,1,2,3...,6)] ayrılmıştır. Bu tasnif biçimi aşağıda sunulmuştur:

m_0 : Diğer yanamayanlar (İnert maddeler, inşaat atığı, kül); Diğer hacimli yanamayanlar (iri hacimli yanamayan atıklar ve hurdalar); Elektrik-alektronik ekipman atıklar (EEEA); Tehlikeli atıklar

m_1 : Biyobozunabilir Mutfak Atıkları ve Park-Bahçe Atıkları

m_2 : Kağıt, Karton ve Hacimli Karton

m_3 : Plastik

m_4 : Cam

m_5 : Metaller ve Hacimli Metaller

m_6 : Diğer Yanabilir ve Diğer Hacimli Yanabilir Atıklar (Tekstil Ürünleri, Ağaç Malzeme, Tahta Mobilya)

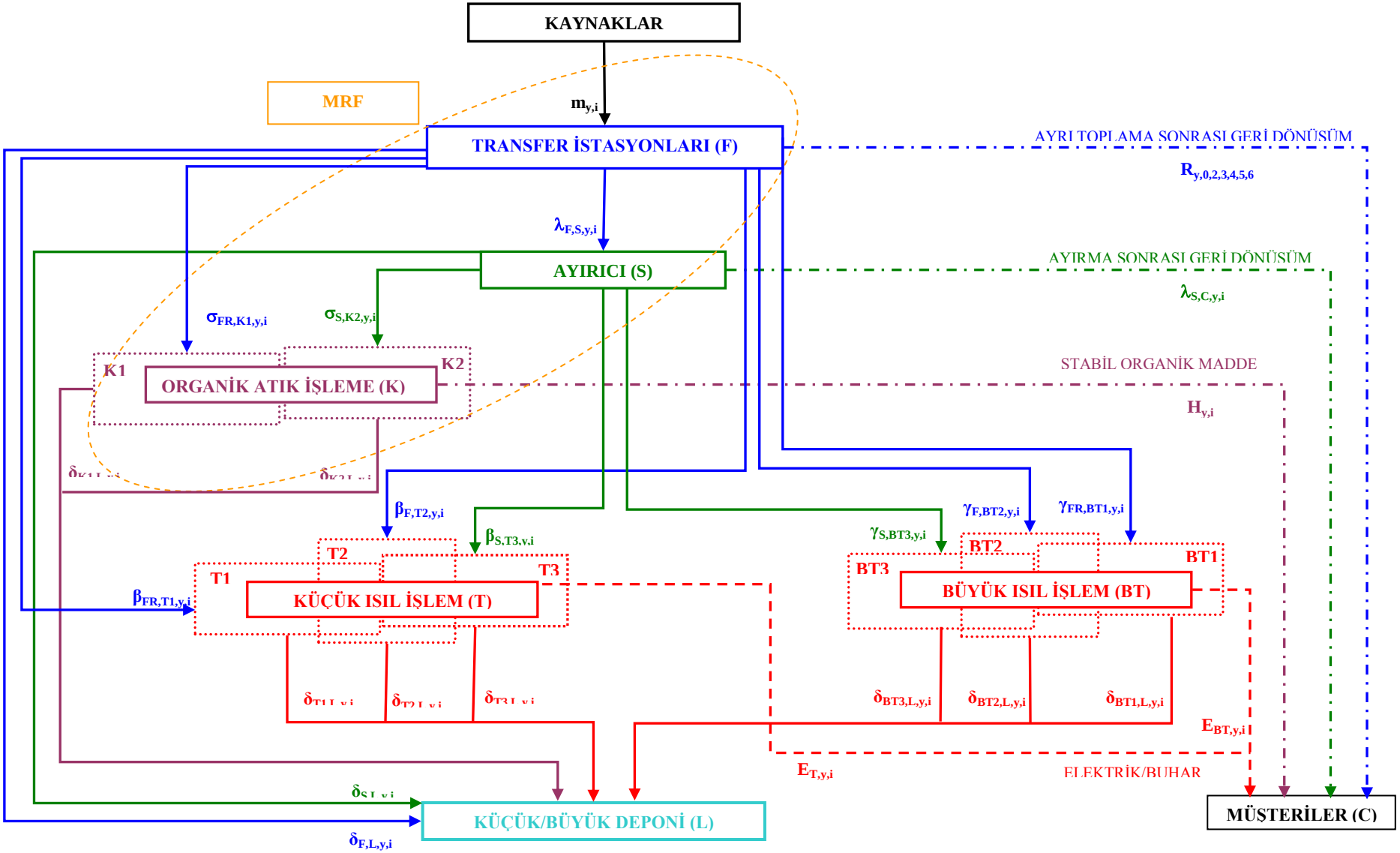
2016-2040 yılları arasında her hangi bir y yılı için ilde oluşan toplam atık miktarı, söz konusu yılda oluşan 7 bileşen miktarının toplamına eşit olup bu durum modelde Denklem (2.1)'deki gibi;

$$M_y = m_{y,0} + m_{y,1} + m_{y,2} + m_{y,3} + m_{y,4} + m_{y,5} + m_{y,6} \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

2.4.2. Model kütle dengesi

Yukarıda detaylandırılan kabuller doğrultusunda bir maliyet optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu toplam maliyetleri en aza indiren bertaraf senaryosunu tespit etmek olan bu model için bir kütle dengesi kurulmuştur. Bu kütle dengesinin akış diyagramı Şekil 2.4'de sunulmuştur. Kütle dengesi için kullanılan prosesler, karar verme ekibinin görüşleri doğrultusunda seçilmiş olup istendiği takdirde modele ekleme ve çıkarmalar yapmak mümkündür. Bu modelde; olası işleme ve bertaraf yöntemlerinden RDF (Refuse Derived Fuel)ünitesi şehrin atıklarının ısıl değerlerinin yeterli düzeyde olmasından ötürü, anaerobik biyolojik işlem ünitesi İZAYDAŞ'daki biyogaz tesisinden ötürü ve ikinci bir tür ısıl işlem alternatifi ise elde bu tür bir yönteme ilişkin maliyet bilgilerinin olmamasından ötürü modele eklenmemiştir. Ayrıca söz konusu kütle dengesinde atıkların herhangi bir noktadan başka bir yere taşınması sırasında oluşan su muhtevası kayıpları ve biyobozunma sonucu oluşan gaz oluşumu miktarları ihmal edilmiştir.



Şekil 2.4. Maliyet optimizasyon modeli kütle dengesi akış şeması

Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi bir optimizasyon modeli, problemin doğasına bağlı olarak doğrusal ve ya doğrusal olmayan biçimlerde yapılandırılabilir. Doğrusal modellerin doğrusal olmayan modellere göre sahip olduğu en önemli üstünlük; elde edilen sonucun tanımlanan amaç fonksiyonu açısından en doğru sonuç olma konusundaki kesinliktir. Doğrusal olmayan modellerde ise böyle bir kesinlikten söz etmek oldukça güçtür. Büyük oranda nüfus ve atık projeksiyonlarına bağlı olarak değişen katı atık miktarlarının doğrusal olarak tanımlanması önemli sapmalara neden olabilmekle birlikte doğrusal modellerin sağladığı kesinlik avantajını kullanabilmek adına bu miktarlar doğrusal olarak tanımlanabilir. Bu tez çalışması; dışsallıklı ve dışsallıksız iki farklı karar arasında bir karşılaştırma yapmayı hedeflediği için her çözüm denemesinde doğrulanabilecek mutlak kararlara ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle bu çalışmada kullanılan optimizasyon modeli karma tam sayılı doğrusal bir optimizasyon modeli olarak belirlenmiştir. Atık transfer hareketlerinin doğrusal denklemlerle tanımlanma işi doğrusal optimizasyon modellerinin en önemli sorunudur. 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 her hangi 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 ısıl 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 kütlesinin 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 2 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 konvansiyonel atık kütle dengesi biçiminde bazı değişikliklere ihtiyaç vardır. Temel olarak sistemin tümünde, çıkış kompozisyonuna ihtiyaç duyulan her işleme ve bertaraf yönteminin (bir başka ifadeyle modeldeki her düğümün, deponi hariç tüm proseslerin) doğrusal olarak modellenebilmesi için yalnızca bir girişi olmak zorundadır. Buna göre Şekil 2.4'ten de görülebileceği üzere; birden fazla girişi olan ve bir başka prosese çıktı veren organik atık işleme ve ısıl işlemler gibi proseslerin parçalı biçimde düşünülmesi ile bu koşul yerine getirilmiştir. Bundan sonra her prosesin çıkışlarındaki kompozisyonun ne olacağı kolayca modellenebilir. Örneğin organik atık işleme tesisinin 2. kısmından (K2) depolamaya giden i=1 bileşen türünün toplam kütle içerisindeki yüzdesi; transfer istasyonlarından K2'ye gelen toplam atık içerisindeki i=1 yüzdesinin belirli bir miktarının organik ürüne dönüştürülmesinin ardından kalan miktarın kalan toplam kütle içerisindeki yüzdesi şeklindedir. Benzer biçimde her proses çıkışlarındaki kompozisyonlar teker teker belirlenerek atık hareketi bütüncül hale getirilmiştir. Bu amaçla kullanılan yüzdeler ve hangi değişkenler için geçerli olduğunu özetleyen bir tablo EK-D'de sunulmuştur. Kullanılan modele ait kütle dengesinin son halinin detayları aşağıdaki şekildedir:

1) İl genelinde oluşan evsel katı atıkların tamamı oluştuğu bölgeden ilgili transfer istasyonuna (F) getirilecektir. y yılı için henüz kaynakta iken ayrılıp geri dönüştürülen i. bileşen (i=1 hariç) miktarı $R_{y,i}$; her bir transfer istasyonunda söz konusu yıl için i. bileşenin ayrılan miktarlarının toplamına eşittir. y yılı için henüz kaynakta iken ayrılıp geri dönüştürülen toplam atık miktarı R_y ise; söz konusu yıl için tüm bileşenlerin ayrılan miktarları toplamına eşittir. Bu iki durum modelde Denklem (2.2) ve (2.3)'deki gibi;

$$R_{y,i} = R_{F1,y,i} + R_{F2,y,i} + R_{F3,y,i} + R_{F4,y,i} + R_{F5,y,i} + R_{F6,y,i} \quad (2.2)$$

$$R_y = R_{F1,y} + R_{F2,y} + R_{F3,y} + R_{F4,y} + R_{F5,y} + R_{F6,y} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

2) y yılı için i. bileşen türünün transfer istasyonlarına gelen miktarı $\Psi_{F,y,i}$; kaynakta oluşan i. bileşen türünün toplam miktarına ($m_{y,i}$) eşittir. Ayrıca bu miktar; transfer istasyonlarından ayırıcılara gönderilen i. bileşen miktarı ($\lambda_{F,S,y,i}$), transfer istasyonlarından doğrudan organik atık işleme tesislerine gönderilen i. bileşen miktarı ($\sigma_{FR,K1,y,i}$), transfer istasyonlarından ısıl işlem tesislerine gönderilen i. bileşen miktarları ($\beta_{FR,T1,y,i}$, $\beta_{F,T2,y,i}$, $\gamma_{FR,BT1,y,i}$ ve $\gamma_{F,BT2,y,i}$), transfer istasyonlarından doğrudan düzenli depolama alanlarına gönderilen i. bileşen miktarları ($\delta_{F,L,y,i}$) ve transfer istasyonuna kaynakta bir r_i ayrı toplama yüzdesi ile ayrılmış olarak gelen ve burada doğrudan müşterilere satılan ayrı toplanmış i. bileşen miktarının ($R_{y,i}$) toplamına eşittir. Bu iki durum modelde Denklem (2.4) ve (2.5)'deki gibi;

$$\Psi_{F,y,i} = m_{y,i} \tag{2.4}$$

$$\Psi_{F,y,i} = \lambda_{F,S,y,i} + \sigma_{FR,K1,y,i} + \beta_{FR,T1,y,i} + \beta_{F,T2,y,i} + \gamma_{FR,BT1,y,i} + \gamma_{F,BT2,y,i} + \delta_{F,L,y,i} + R_{y,i} \tag{2.5}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Transfer istasyonlarından taşınan $\sigma_{FR,K1,y,i}$, $\beta_{FR,T1,y,i}$ ve $\gamma_{FR,BT1,y,i}$ kütleleri; kaynakta bir r ayırma verimi ile ayrılmış ve kapasite gereği biyogaz tesisine gidemeyen i=1 bileşenleridir. Bu bileşenler doğrudan bir müşteriye satılamayacağından, ayrılmış bir materyal olduğu için ayırıcılara gitmesine gerek olmadığından ve mevzuat gereği (ADDDY, 2010) doğrudan düzenli depolamaya gidemeyeceğinden dolayı organik atık işleme ve ısıl işlem tesislerine gidebilir.

3) y yılı için i. bileşen türünün ayırıcılara gelen miktarı $\lambda_{F,S,y,i}$; her bir istasyondan ilgili ayırıcıya gönderilen i. bileşen miktarlarının toplamına eşittir.Ayrıca bu miktar; ayırıcılardan organik atık işleme tesisine gönderilen i. bileşen miktarı ($\sigma_{S,K2,y,i}$), ayırıcılardan ısıl işlemlere gönderilen i. bileşen miktarları ($\beta_{S,T3,y,i}$ ve $\gamma_{S,BT3,y,i}$), ayırıcılardan düzenli depolama alanlarına gönderilen i. bileşen miktarı ($\delta_{S,L,y,i}$) ve ayırıcılarda bir φ_i ayırımla verimi ile ayrılıp müşterilere satılan i. bileşen miktarının ($\lambda_{S,C,y,i}$) toplamına eşittir. Bu iki durum modelde Denklem (2.6) ve (2.7)'deki gibi;

$$\lambda_{F,S,y,i} = \lambda_{F,F1S,y,i} + \lambda_{F,F2S,y,i} + \ldots\ldots + \lambda_{F,F6S,y,i} \tag{2.6}$$

$$\lambda_{F,S,y,i} = \sigma_{S,K2,y,i} + \beta_{S,T3,y,i} + \gamma_{S,BT3,y,i} + \delta_{S,L,y,i} + \lambda_{S,C,y,i} \tag{2.7}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

4) y yılı için i. bileşen türünün organik atık işleme tesislerine gelen miktarı $\sigma_{K,y,i}$; tüm transfer istasyonlarından ilgili organik atık işleme tesisine gönderilen i. bileşen miktarı ($\sigma_{FR,K1,y,i}$) ile ayırıcılardan ilgili organik atık işleme tesisine gönderilen i. bileşen miktarının ($\sigma_{S,K2,y,i}$) toplamına eşittir. Ayrıca bu miktar; organik atık işleme tesislerinden düzenli depolama alanlarına gönderilen işlenememiş atık içerisindeki i. bileşen miktarı ($\delta_{K1,L,y,i}$ ve $\delta_{K2,L,y,i}$) ve organik atık işleme tesisinde % 35 oranında kompostlanıp müşteriye satılan atık içerisindeki i. bileşen miktarının ($H_{y,i}$) toplamına eşittir. Organik atık işleme tesislerinden ısıl işlem tesislerine doğru bir atık hareketi karar verme ortaklığı tarafından istenmemiş olup sözü edilen iki durum modelde Denklem (2.8) ve (2.9)'daki gibi;

$$\sigma_{K,y,i} = (\sigma_{FR,F1K1,y,i} + \sigma_{S,F1K2,y,i}) + \ldots\ldots + \ldots\ldots + (\sigma_{FR,F6K1,y,i} + \sigma_{S,F6K2,y,i}) \quad (2.8)$$

$$\sigma_{K,y,i} = \delta_{K1,L,y,i} + \delta_{K2,L,y,i} + H_{y,i} \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

5) Modelde büyük ısıl işlem (BT) ve küçük ısıl işlem (T) olmak üzere iki farklı kapasitede yakma tesisi tanımlanmıştır. Sunulacak olan denklikler küçük ısıl işlem için verilmekte olup aynı denklikler büyük ısıl işlem içinde geçerlidir. Buna göre y yılı için i. bileşen türünün küçük ısıl işlem tesislerine gelen miktarı $\beta_{T,y,i}$; transfer istasyonlarından ilgili ısıl işlem tesisine gönderilen i. bileşen miktarları ($\beta_{FR,T1,y,i}$ ve $\beta_{F,T2,y,i}$) ve ayırıcılardan ilgili ısıl işlem tesisine gönderilen i. bileşen miktarının ($\beta_{S,T3,y,i}$) toplamına eşittir. Ayrıca bu miktar; ısıl işlem tesislerinden düzenli depolama alanlarına gönderilen kül içerisindeki i. bileşen miktarları ($\delta_{T1,L,y,i}$, $\delta_{T2,L,y,i}$ ve $\delta_{T3,L,y,i}$) ve yakma tesislerinde kütle azaltmayla sağlanan enerji üretiminin atık eşdeğeri içerisindeki i. bileşen miktarının ($E_{y,i}$) toplamına eşittir. Bu iki durum modelde Denklem (2.10) ve (2.11)'deki gibi;

$$\beta_{T,y,i} = (\beta_{FR,F1T1,y,i} + \beta_{F,F1T2,y,i} + \beta_{S1,F1T3,y,i}) + \ldots + (\beta_{FR,F6T1,y,i} + \beta_{F,F6T2,y,i} + \beta_{S1,F6T3,y,i}) \quad (2.10)$$

$$\beta_{T,y,i} = \delta_{T1,L,y,i} + \delta_{T2,L,y,i} + \delta_{T3,L,y,i} + E_{T,y,i} \quad (2.11)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

6) y yılı için i. bileşen türünün düzenli depolama alanlarına gelen miktarı $\delta_{L,y,i}$; transfer istasyonlarından ilgili düzenli depolama alanına gönderilen i. bileşen miktarları ($\delta_{F,L,y,i}$), ayırıcılardan ilgili düzenli depolama alanına gönderilen i. bileşen miktarı ($\delta_{S,L,y,i}$), organik atık işleme tesislerinden çıkıp ilgili düzenli depolama alanına gönderilen işlenememiş atık içerisindeki i. bileşen miktarı ($\delta_{K1,L,y,i}$ ve $\delta_{K2,L,y,i}$) ve yakma tesislerinden çıkan külün içerisindeki i. bileşen miktarlarının toplamına eşittir. Bu durum modelde Denklem (2.12)'deki gibi;

$$\delta_{L,y,i} = \delta_{F,L,y,i} + \delta_{S,L,y,i} + \delta_{K1,L,y,i} + \delta_{K21,L,y,i} + \delta_{T1,L,y,i} + \delta_{T2,L,y,i} + \delta_{T3,L,y,i} + \delta_{BT1,L,y,i} + \delta_{BT2,L,y,i} + \delta_{BT3,L,y,i} \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

7) y yılı için kaynakta oluşan i. bileşenin toplam miktarı $m_{y,i}$; düzenli depolama alanlarına gelen i. bileşen miktarı ($\delta_{L,y,i}$), ısıl işlem tesislerinde kütle azaltmayla sağlanan enerji üretiminin atık eşdeğeri içerisindeki i. bileşen miktarları ($E_{T,y,i}$ ve $E_{BT,y,i}$), organik atık işleme tesisinde belirli bir oranda işlenip müşteriye satılan atık içerisindeki i. bileşen miktarı ($H_{y,i}$), ayırıcılarda bir φ_i ayrılma verimi ile ayrılıp müşterilere satılan i. bileşen miktarı ($\lambda_{S,C,y,i}$) ve transfer istasyonuna kaynakta bir r_i ayrı toplama yüzdesi ile ayrılmış olarak gelen ve burada doğrudan müşterilere satılan ayrı toplanmış i. bileşen miktarlarının($R_{y,i}$) toplamına eşittir. Bu durum modelde Denklem (2.13)'deki gibi;

$$m_{y,i} = \delta_{L,y,i} + E_{y,i} + E_{BT,y,i} + H_{y,i} + \lambda_{S,C,y,i} + R_{y,i} \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

2.4.3. Modelde kullanılmak üzere yapılmış öngörüler

2.4.3.1. Nüfus ve atık öngörüleri

Oluşturulan modelde giriş parametreleri olarak kullanılmak için proje süresince hizmet verilecek olan nüfus ve işlenecek atık miktarlarının yıllık bazda önceden tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu miktarlar modelin sağlıklı sonuçlar vermesi açısından son derece önemli parametrelerdir. Oluşacak gerçek değerlerden çok düşük ya da çok büyük değerlerin kullanılması model sonuçları üzerinde çok büyük

belirsizliklere neden olacaktır. Söz konusu parametrelerin öngörülmesi için İZAYDAŞ ile yapılan ortak bir değerlendirme sonrası hem il geneli hem de MRF bölgeleri için ayrı ayrı yıllık nüfus (P_y) ve atık bileşen miktarları ($m_{y,i}$) tespit edilmiştir. Bu ortak çalışmada nüfus ve atık tahminleri için tespit edilen değerler Kocaeli Büyükşehir Belediyesi (KBB ÇKKDB, 2009), Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü (KOÜ ÇEVRE, 2008) ve iki kurum tarafından ortak yürütülen bazı karakterizasyon çalışmalarının (Yenice ve diğ, 2009) bir arada değerlendirilmesi ile bulunan sonuçlardır. Nüfus ve atık tahminleri için söz konusu çalışmalarda yapılan öngörüler 2030 yılı ile sınırlı olduğu için 2040 yılına kadarki değerler mevcut değerlerin uyumlu bir biçimde ötelenmesi ile bulunmuştur. Nüfus öngörüleri için çalışmalarda kullanılmış olan artış modeli; azalan hızlı geometrik artış yaklaşımını benimseyen İTÜ modelidir. Kocaeli il geneli için 2016-2040 yılları için belirlenmiş olan yıllık nüfus miktarları (P_y), her yıl biyogaz tesisine doğrudan gidecek olan atık miktarı ve her bir atık bileşen türünün yıllık miktarları Tablo 2.2'de sunulmuştur.

Tablo 2.2. Tüm Kocaeli için öngörülen nüfus, atık ve atık sınıflarına ait miktarlar

	P_y (kişi)	Biyogaz (ton)	$m_{y,0}$ (ton)	$m_{y,1}$ (ton)	$m_{y,2}$ (ton)	$m_{y,3}$ (ton)	$m_{y,4}$ (ton)	$m_{y,5}$ (ton)	$m_{y,6}$ (ton)
2016	1.796.633	2.480,3	80.771,3	245.552,0	203.000,5	76.482,6	22.158,5	25.017,7	59.327,6
2017	1.830.098	2.572,9	83.785,5	254.715,2	210.575,8	79.336,7	22.985,4	25.951,2	61.541,5
2018	1.864.235	2.668,1	86.886,1	264.141,5	218.368,7	82.272,7	23.836,0	26.911,6	63.819,0
2019	1.899.057	2.766,0	90.075,6	273.837,8	226.384,7	85.292,8	24.711,0	27.899,5	66.161,7
2020	1.934.580	2.577,6	97.487,2	255.185,0	247.848,7	94.182,5	26.437,2	28.915,7	73.528,5
2021	1.965.450	2.685,9	101.582,3	265.904,6	258.260,1	98.138,8	27.547,7	30.130,3	76.617,2
2022	1.996.852	2.774,3	104.925,4	274.655,5	266.759,5	101.368,6	28.454,3	31.121,9	79.138,6
2023	2.028.793	2.888,0	109.225,1	285.910,7	277.691,0	105.522,6	29.620,4	32.397,3	82.381,7
2024	2.061.284	2.981,2	112.750,0	295.137,4	286.652,5	108.927,9	30.576,3	33.442,8	85.040,2
2025	2.094.335	2.721,7	120.306,4	269.446,8	313.585,4	119.320,2	32.541,9	36.486,4	91.708,9
2026	2.123.773	2.824,1	124.834,5	279.588,4	325.388,4	123.811,3	33.766,7	37.859,7	95.160,7
2027	2.153.658	2.929,0	129.468,2	289.966,4	337.466,4	128.407,0	35.020,1	39.265,0	98.693,0
2028	2.183.999	3.058,2	135.182,3	302.764,1	352.360,5	134.074,3	36.565,7	40.997,9	103.048,8
2029	2.214.802	3.168,3	140.047,7	313.660,9	365.042,3	138.899,8	37.881,8	42.473,5	106.757,7
2030	2.246.074	3.052,2	148.419,7	302.165,7	390.200,1	152.010,5	40.695,7	44.286,5	116.102,5
2031	2.273.027	3.131,1	152.258,3	309.980,6	400.291,9	155.941,9	41.748,2	45.431,9	119.105,2
2032	2.300.303	3.211,5	156.167,6	317.939,6	410.569,6	159.945,8	42.820,1	46.598,4	122.163,4
2033	2.327.907	3.293,4	160.148,8	326.044,9	421.036,4	164.023,4	43.911,8	47.786,3	125.277,7
2034	2.355.842	3.376,8	164.203,1	334.299,0	431.695,3	168.175,8	45.023,4	48.996,1	128.449,2
2035	2.384.112	3.244,5	172.404,2	321.201,2	447.979,4	179.191,8	47.513,0	51.585,5	134.393,8
2036	2.407.953	3.318,9	176.360,6	328.572,4	458.259,9	183.304,0	48.603,3	52.769,3	137.478,0
2037	2.432.032	3.394,5	180.379,0	336.058,8	468.701,3	187.480,5	49.710,7	53.971,7	140.610,4
2038	2.456.353	3.471,3	184.460,1	343.662,2	479.305,7	191.722,3	50.835,4	55.192,8	143.791,7
2039	2.480.916	3.549,3	188.604,7	351.384,0	490.075,3	196.030,1	51.977,7	56.432,9	147.022,6
2040	2.505.725	3.324,9	195.850,3	329.165,1	519.230,9	206.477,8	54.655,9	57.692,3	151.821,9

Yukarıda sözü edilen değerlerin MRF bölgeleri için ne şekilde olduğunu gösteren veriler ise EK-E'de detaylı bir biçimde sunulmuştur. Tüm bu veriler modelin giriş değerleri olarak kullanılmıştır. Bu miktarların bulunmasında kullanılan karakterizasyon öngörüleri ise Tablo 2.3'de sunulmuştur.

Tablo 2.3. Proje süresi için oluşması beklenen miktarların nüfusa bağlı değişimleri

					ATIK KARAKTERİZASYONU (%)									
	Nüfus (kişi)	Nüfus Artış Hızı (%)	Atık Üretimi (kg/kişi.gün)	Atık Miktarı (ton)	Diğer Yanmayanlar	Diğer Hacimli Yanmayanlar	EEEA	Tehlikeli Atıklar	Mutfak-Park Bahçe Atıkları	Kağıt-Karton Atıkları	Plastik	Cam	Metal ve Hacimli Metal	Diğer Yanabilir Atıklar
2016	1.796.633	1,86	1,09	714.790,4	8,5	1,7	0,6	0,5	34,7	28,4	10,7	3,1	3,5	8,3
2017	1.830.098	1,87	1,11	741.464,2	8,5	1,7	0,6	0,5	34,7	28,4	10,7	3,1	3,5	8,3
2018	1.864.235	1,87	1,13	768.903,7	8,5	1,7	0,6	0,5	34,7	28,4	10,7	3,1	3,5	8,3
2019	1.899.057	1,87	1,15	797.129,2	8,5	1,7	0,6	0,5	34,7	28,4	10,7	3,1	3,5	8,3
2020	1.934.580	1,60	1,17	826.162,4	8,9	1,8	0,6	0,5	31,2	30,0	11,4	3,2	3,5	8,9
2021	1.965.450	1,60	1,20	860.867,1	8,9	1,8	0,6	0,5	31,2	30,0	11,4	3,2	3,5	8,9
2022	1.996.852	1,60	1,22	889.198,2	8,9	1,8	0,6	0,5	31,2	30,0	11,4	3,2	3,5	8,9
2023	2.028.793	1,60	1,25	925.636,8	8,9	1,8	0,6	0,5	31,2	30,0	11,4	3,2	3,5	8,9
2024	2.061.284	1,60	1,27	955.508,2	8,9	1,8	0,6	0,5	31,2	30,0	11,4	3,2	3,5	8,9
2025	2.094.335	1,41	1,29	986.117,6	9,2	1,8	0,7	0,5	27,6	31,8	12,1	3,3	3,7	9,3
2026	2.123.773	1,41	1,32	1.023.233,8	9,2	1,8	0,7	0,5	27,6	31,8	12,1	3,3	3,7	9,3
2027	2.153.658	1,41	1,35	1.061.215,0	9,2	1,8	0,7	0,5	27,6	31,8	12,1	3,3	3,7	9,3
2028	2.183.999	1,41	1,39	1.108.051,9	9,2	1,8	0,7	0,5	27,6	31,8	12,1	3,3	3,7	9,3
2029	2.214.802	1,41	1,42	1.147.931,9	9,2	1,8	0,7	0,5	27,6	31,8	12,1	3,3	3,7	9,3
2030	2.246.074	1,20	1,46	1.196.932,8	9,4	1,8	0,7	0,5	25,5	32,6	12,7	3,4	3,7	9,7
2031	2.273.027	1,20	1,48	1.227.889,1	9,4	1,8	0,7	0,5	25,5	32,6	12,7	3,4	3,7	9,7
2032	2.300.303	1,20	1,50	1.259.416,0	9,4	1,8	0,7	0,5	25,5	32,6	12,7	3,4	3,7	9,7
2033	2.327.907	1,20	1,52	1.291.522,7	9,4	1,8	0,7	0,5	25,5	32,6	12,7	3,4	3,7	9,7
2034	2.355.842	1,20	1,54	1.324.218,6	9,4	1,8	0,7	0,5	25,5	32,6	12,7	3,4	3,7	9,7
2035	2.384.112	1,00	1,56	1.357.513,3	9,5	1,9	0,8	0,5	23,9	33,0	13,2	3,5	3,8	9,9
2036	2.407.953	1,00	1,58	1.388.666,5	9,5	1,9	0,8	0,5	23,9	33,0	13,2	3,5	3,8	9,9
2037	2.432.032	1,00	1,60	1.420.307,0	9,5	1,9	0,8	0,5	23,9	33,0	13,2	3,5	3,8	9,9
2038	2.456.353	1,00	1,62	1.452.441,4	9,5	1,9	0,8	0,5	23,9	33,0	13,2	3,5	3,8	9,9
2039	2.480.916	1,00	1,64	1.485.076,5	9,5	1,9	0,8	0,5	23,9	33,0	13,2	3,5	3,8	9,9
2040	2.505.725	1,00	1,66	1.518.219,1	9,6	2,0	0,8	0,5	21,9	34,2	13,6	3,6	3,8	10,0

2.4.3.2. Proseslere ilişkin öngörüler

Bu bölümde optimizasyon modelinin nihai kararda verebileceği olası prosesler olarak belirlenen tüm temel işlemler için model girdisi olarak kullanılan öngörüler detaylandırılmıştır.

1. Transfer İstasyonları İçin Öngörüler: Kaynakta oluşum sonrası atık transfer istasyonlarına gelen atıkların bir kısmı kaynakta ayrı toplanmış olacağı için sisteme giriş yapmadan direkt olarak üreticilere geri dönüştürülecek ve/veya diğer olası tesislere gidecektir. Ambalaj atıkların kontrolü yönetmeliği (AAKY, 2011) ambalaj atık türleri için 2020 yılına kadar kaynakta geri dönüşüm için sağlanması gereken nihai hedefi % 60 olarak belirlemiştir. Atık transfer istasyonlarından her bir atık bileşen türünün geri dönüştürülme yüzdeleri (r_i); karar verme ortaklığı ile yapılan çalışmalarda katılımcıların bilgi ve tecrübelerinin bir arada değerlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Gerek yasal sınırlamalar gerekse de karar verme ortaklığının görüşleri doğrultusunda belirlenen değerler Tablo 2.4'deki şekildedir. Geri dönüşümü için herhangi bir yasal sınırlama olmayan organik atık bileşenlerinin geri dönüşüm oranlarının belirlenmesinde Büyükşehir Belediyeleri için önerilerde bulunan bir bakanlık çalışmasından yararlanılarak (EHCIP, 2005) bazı değerler kullanılmıştır. Kaynakta ikili toplama sonucu r_1 oranında ayrı toplanan i=1 organik atık bileşenleri, inşa edilmesi durumunda doğrudan organik atık işleme tesisi ve/veya ısıl işlem tesisine gidecektir. Bu kabullere göre toplam atık kütlesinin (biyogaza giden hariç) yaklaşık % 47'si doğrudan kaynakta ayrıştırılmış olacaktır.

Tablo 2.4. Doğrudan kaynakta geri dönüşüm için yüzdeler

Periyot	r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
2016-2020	0	0,05	0,60	0,60	0,60	0,60	0,15
2021-2025	0	0,05	0,60	0,60	0,60	0,60	0,15
2026-2030	0	0,10	0,60	0,60	0,60	0,60	0,15
2031-2035	0	0,10	0,60	0,60	0,60	0,60	0,15
2036-2040	0	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,15

2. Ayırıcılar İçin Öngörüler: Modelin yapacağı maliyet minimizasyonuna bağlı olarak en az 0 ve en fazla 6 adet ayırıcının yeterli olacağı öngörülmüştür. Bu ayırıcılar modelin gerekli gördüğü bölgeler için ilgili bölgeye ait transfer istasyonunun hemen yanında olacak şekilde konumlandırılmıştır. Yılda 330 gün çalıştırılması planlanan 300 ton/gün kapasiteli ayırıcılarla ilgili teknik bilgiler İZAYDAŞ (2011)'den alınmıştır. Bu bilgiler ışığında; hurda, metal, kağıt-karton ve plastik atık türleri için ayırma işlemi yapan söz konusu ayırıcıların kullanım ömürleri boyunca ayırma verimlerinin değişmeyeceği kabul edilmiştir. Söz konusu ayırıcılar için İZAYDAŞ tarafından önerilen ayırma verimleri Tablo 2.5'de sunulmuştur. Ayırıcılarda bir φ_i verimi ile ayrılan i. bileşenin y yılı için müşterilere satılan miktarı $\lambda_{S,C,y,i}$; ayırıcıya gelen atık bileşen miktarına ($\lambda_{F,S,y,i}$) bağlı olacaktır. Bu durum modelde Denklem (2.14)'deki gibi;

$$\lambda_{S,C,y,i} = (\lambda_{F,S,y,i}) \text{ x } (\varphi_i) \qquad (2.14)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Tablo 2.5. Ayırıcıların atık türleri için ayırma verimleri (İZAYDAŞ,2011)

Periyot	φ_0	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6
2016-2040	0,02	0,00	0,05	0,30	0,00	0,15	0,00

3. Organik Atık İşleme Tesisleri İçin Öngörüler: Tüm model parametreleri dikkate alındığında Kocaeli'nde oluşan evsel nitelikli katı atıkların organik kısımlarından ekonomik olarak yararlanma seçeneği için organik atık işlemi tesislerinin kurulması gerekebilir. Bu olasılık açısından karar verme ortaklığında yapılan fikir alışverişleri, organik atık işleme seçeneği olarak tünel kompostlama (8 haftalık aerobik fermantasyon sırasında eleme, pozitif ve negatif havalandırma, nemlendirme, koku için biyofiltre) tekniğinin kullanımının uygun olduğunu göstermiştir. Modelin yapacağı maliyet minimizasyonuna bağlı olarak en az 0 ve en fazla 6 adet kompostlaştırma tesisinin yeterli olacağı öngörülmüştür. Bu tesisler modelin gerekli gördüğü bölgeler için ilgili bölgeye ait transfer istasyonunun yanında konumlandırılacaktır. Yılda 330 gün işletilmesi planlanan 700 ton/gün kapasiteli tesislerle ilgili teknik bilgiler İZAYDAŞ (2011)'den alınmıştır. Bu bilgiler ışığında

söz konusu kompostlaştırma tesislerine giren birim atık miktarının yalnızca i = 1 bileşeninin % 35'inin komposta dönüşeceği ve bu miktarın proje süresince sabit kalacağı öngörülmüştür (İZAYDAŞ, 2011). Ayırıcı çıkışından sonra karışık olarak tesise girebilecek olan atığın yalnızca biyobozunabilir kısımlarının kompostlanması söz konusu olduğundan kompostlanma oranı yalnızca i=1 bileşeni için kullanılmıştır. y yılı için müşterilere satılan kompost içerisindeki i. bileşen türünün miktarı $H_{y,i}$; tesise gelen atık bileşen miktarına ($\sigma_{K,y,i}$) bağlı olacaktır. Bu durum modelde Denklem (2.15)'teki gibi;

$$H_{y,i} = (\sigma_{K,y,i}) \text{ x } (0,35) \text{ (yalnızca i=1 için)} \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

4. Isıl İşlemler İçin Öngörüler: Karar verme ortaklığı tarafından ısıl işlemler için uygun bulunan proses türü; döner fırınlı atık yakma tesisidir. Karar verme ortaklığı tarafından; en az 0 ve en fazla 2 adet yakma tesisi kurulması uygun bulunmuştur. Bu tesisler modelin gerekli gördüğü MRF bölgelerinin alanına giren ilgili ilçelerden en uygun olanına inşa edilecektir. Modelde oluşacak ihtiyaç olasılıklarına daha anlamlı cevaplar verebilmek adına yapılabilecek yakma tesisi kapasitesi 750 ton/gün (küçük ısıl işlem-T) ve 1800 ton/gün (büyük ısıl işlem-BT) olmak üzere 2 farklı şekilde belirlenmiştir. Yılda 330 gün işletilmesi planlanan tesislerle ilgili teknik bilgiler İZAYDAŞ (2011)'den alınmıştır. Bu bilgiler ışığında her iki kapasitedeki tesiste de; söz konusu yakma tesislerine giren birim atık miktarının i=0 (inert, yanamayan ve ayrı toplanması gereken özel atıklar), i=4 (cam atıklar) ve i=5 (metal ve hacimli metal) bileşenleri dışındaki bileşen türlerinin kütlesel olarak % 90'ının enerji dönüşümünde kullanılarak kütle azalması sağlanacağı ve bu miktarın proje süresince sabit kalacağı öngörülmüştür (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda, örneğin küçük tesis için y yılında müşterilere satılan enerji eşdeğeri atık miktarı içerisindeki i. bileşen türünün miktarı $E_{T,y,i}$; tesise gelen atık bileşen miktarına ($\beta_{T,y,i}$ ve $\beta_{BT,y,i}$) bağlı olarak değişecektir. Bu durum modelde Denklem (2.16)'deki gibi;

$$E_{T,y,i} = (\beta_{T,y,i}) \text{ x } (0,90) \text{ (i=0, 4 ve 5 hariç)} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

5. Düzenli Depolama Alanları İçin Öngörüler: Uygulanan modelde atıkların gideceği nihai nokta kaçınılmaz olarak düzenli depolama tesisleridir. Modelin yapacağı maliyet minimizasyonuna bağlı olarak en az 1 ve en fazla 6 adet düzenli depolama alanının yeterli olacağı öngörülmüştür. Bu tesisler modelin gerekli gördüğü MRF bölgelerinin alanına giren ilgili ilçelerden en uygun olanına inşa edilecektir. Düzenli depolama alanları için 4.000 dönüm ve 8.000 dönüm kullanılabilir alana sahip 2 farklı kapasite bilgisi modele girilmiştir.

2.4.3.3. Maliyetlere ilişkin öngörüler

Bu çalışmada yöntem maliyetleri için kullanılan para birimi Euro olarak belirlenmiştir. Proje süresince Euro-Türk Lirası paritesinin sabit kalacağı ve bu büyüklüğün 1 Euro = 2 TL şeklinde seyredeceği kabul edilmiş olup ödemeler ve değişimlere ilişkin herhangi bir ekonometrik analiz yapılmamıştır. Aynı zamanda herhangi bir iskonto oranı da tespit edilmemiştir.

Çalışmada bertaraf teknolojilerinin içsel maliyet kalemlerinin neler olduğunun belirlenmesi için US EPA (1997) tarafından "Full Cost Accounting" olarak isimlendirilen yaklaşımda sunulan maliyet kalemlerine olabildiğince sadık kalınmaya çalışılmıştır. Bu yaklaşımda sunulan maliyet kalemleri için mevcut durumda ulaşılamaz olanları kapsam dışında bırakılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan içsel maliyetler; ön giderler, taşıma giderleri, ünite yapım, işletim ve bakım giderleri, kullanım sonrası giderleri gibi içsel maliyet giderleri ve geri dönüştürülmüş atık satışı, kompost satışı, enerji satışı ve hurda bedeli gibi içsel maliyet gelirleri şeklindedir.

1. Ön Giderler: Çalışmada kullanılan ön giderler yalnızca arazi bedelleri ile sınırlandırılmış ve ruhsat bedeli ihmal edilmiştir. Yer seçimi yapılmadan önce arazinin bedeli bilinemeyeceği için il genelinde bir dönüm arazi için ortalama 2000 TL (İZAYDAŞ, 2011) yıllık kira bedeli temel alınmış olup arazi giderlerinin hesaplanma biçimleri modelde Denklem (2.17) - (2.22)'de gösterildiği gibi;

- Bir ayırıcı için toplam 4 dönüm arazi gerekmektedir (İZAYDAŞ, 2011). Ayırıcıların yıllık ön gider miktarı $Q_{ua,y}$;

$Q_{ua,y}$ = 4.000 x a Euro (2.17)

- Bir kompostlaştırma tesisi için toplam 50 dönüm arazi gerekmektedir (İZAYDAŞ, 2011). Kompostlaştırma tesislerinin yıllık ön gider miktarı $Q_{ub,y}$;

$Q_{ub,y}$ = 50.000 x b Euro (2.18)

- Isıl işlemlerin yıllık ön gider miktarı $Q_{uc,y}$ (tesis yap işlet devret modeli ile yapılacağı için yüklenici firmaya aittir);

$Q_{uc,y}$ = 0 x c Euro (2.19)

- Düzenli depolama alanlarının yıllık ön gider miktarı $Q_{ud,y}$;

$Q_{ud,y}$ = 4.000.000 x d Euro (küçük kapasite için) (2.20)

$Q_{ud,y}$ = 8.000.000 x d Euro (büyük kapasite için) (2.21)

- ve y yılına ait toplam ön giderler $Q_{u,y}$;

$Q_{u,y} = (Q_{ua,y} \text{ x a}) + (Q_{ub,y} \text{ x b}) + (Q_{uc,y} \text{ x c}) + (Q_{ud,y} \text{ x d})$ Euro (2.22)

şeklinde tanımlanmıştır. Bu denklemlerde ve ilerleyen denklemlerde; "a" modelin vereceği ayırıcı sayısı, "b" kompostlaştırma tesisi sayısı, "c" yakma tesisi sayısı ve "d" düzenli depolama sahası sayısıdır.Proje süresince oluşacak toplam ön giderler (Q_u) ise modelde Denklem (2.23)'deki gibi;

$Q_u = Q_{u,2016} + Q_{u,2017} + Q_{u,2018} + \ldots\ldots + Q_{u,2040}$ Euro (2.23)

şeklinde tanımlanmıştır.

2. Taşıma Giderleri: 2011 yılı için atık bileşen türlerinin 1 tonunun kaynaktan transfer istasyonlarına taşınması sırasında 1 km mesafe için oluşan taşıma giderleri Tablo 2.6'da sunulmuştur. İZAYDAŞ (2011)'den edinilen bu taşıma giderleri herhangi bir temel işlem sonrasında atığın fiziksel özelliklerindeki değişime bağlı olarak değişir. Ancak elimizde Kocaeli'nde söz konusu prosesler arasındaki taşıma sırasında oluşan giderler için herhangi bir veri mevcut olmadığından bu birim fiyatların tüm taşıma aralıkları için eşit olduğu ve proje süresince değişmeyeceği

kabul edilmiştir. Bu durumda bileşen türlerinin transfer istasyonlarından ayırıcılara ($Q_{t,F,S,y,i}$), transfer istasyonlarından kompostlaştırma tesislerine ($Q_{t,FR,K1,y,i}$), transfer istasyonlarından yakma tesislerine ($Q_{t,FR,T1,y,i}$, $Q_{t,F,T2,y,i}$, $Q_{t,FR,BT1,y,i}$, $Q_{t,F,BT2,y,i}$), transfer istasyonlarından düzenli depolama alanlarına ($Q_{t,FR,L,y,i}$ ve $Q_{t,F,L,y,i}$), ayırıcılardan kompostlaştırma tesislerine ($Q_{t,S,K2,y,i}$), ayırıcılardan yakma tesislerine ($Q_{t,S,T3,y,i}$, $Q_{t,S,BT3,y,i}$), ayırıcılardan düzenli depolama alanlarına ($Q_{t,S,L,y,i}$), kompostlaştırma tesislerinden düzenli depolama alanlarına ($Q_{t,K1,L,y,i}$, $Q_{t,K2,L,y,i}$) ve yakma tesislerinden düzenli depolama alanlarına ($Q_{t,T1,L,y,i}$, $Q_{t,T2,L,y,i}$, $Q_{t,T3,L,y,i}$, $Q_{t,BT1,L,y,i}$, $Q_{t,BT2,L,y,i}$, $Q_{t,BT3,L,y,i}$) yapılacak taşınmaları için birim gider miktarları eşit kabul edilmiştir. Hesaplamalar modelde Denklem (2.24) ve (2.25)'de olduğu gibi;

- y yılına ait toplam taşıma giderleri $Q_{t,y}$;

$$Q_{t,y} = Q_{t,F,S,y,\,i} + Q_{t,FR,K1,y,i} + Q_{t,FR,T1,y,i} + Q_{t,F,T2,y,i} + Q_{t,FR,BT1,y,i} + Q_{t,F,BT2,y,i} + Q_{t,FR,L,y,i} + Q_{t,F,L,y,i} + Q_{t,S,K2,y,i} + Q_{t,S,T3,y,i} + Q_{t,S,BT3,y,i} + Q_{t,S,L,y,i} + Q_{t,K1,L,y,i} + Q_{t,K2,L,y,i} + Q_{t,T1,L,y,i} + Q_{t,T2,L,y,i} + Q_{t,T3,L,y,i} + Q_{t,BT1,L,y,i} + Q_{t,BT2,L,y,i} + Q_{t,BT3,L,y,i} \quad \text{Euro} \qquad (2.24)$$

- Proje süresince oluşacak toplam taşıma giderleri Q_t ;

$$Q_t = Q_{t,2016} + Q_{t,2017} + \ldots\ldots\ldots, + Q_{t,2040} \quad \text{Euro} \qquad (2.25)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Tablo 2.6. Atık bileşenleri için birim taşıma giderleri

Atık Bileşeni	Birim Taşıma Giderleri (Euro/ton.km)
Diğer Yanmayanlar (i = 0)	0,011
Diğer Hacimli Yanmayanlar (i = 0)	0,002
EEEA (i = 0)	0,001
Tehlikeli Atık (i = 0)	0,001
Mutfak Atığı + Bahçe Atığı (i = 1)	0,043
Karton+ Hacimli Karton +Kağıt (i = 2)	0,036
Plastik (i = 3)	0,013
Cam (i = 4)	0,004
Metal + Hacimli Metal (i = 5)	0,004
Diğer Yanabilenler+Diğer Hacimli Yanabilen (i = 6)	0,010

3. Ünite Yapım, İşletim ve Bakım Giderleri: Prosesler için yapım, işletim ve bakım giderleri aşağıdaki açıklanmış ve modelde Denklem (2.26)-(2.33)'deki gibi;

- Bir ayırıcının yapım, işletim ve bakım giderlerinin proje süresi için yıllık bazda 645.000 Euro olacağı düşünülmektedir (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda ayırıcıların yıllık yapım, işletim ve bakım gideri $Q_{g,S,y}$;

$$Q_{g,S,y} = 645.000 \text{ x a} \quad \text{Euro} \tag{2.26}$$

- Bir tünel kompostlaştırma tesisinin yapım, işletim ve bakım giderlerinin proje süresi için yıllık bazda 3.750.000 Euro olacağı düşünülmektedir (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda kompostlaştırma tesislerinin yıllık yapım, işletim ve bakım gideri $Q_{g,K,y}$;

$$Q_{g,K,y} = 3.750.000 \text{ x b} \quad \text{Euro} \tag{2.27}$$

- Bir yakma tesisinin yapım, işletim ve bakım giderleri karşılığında yüklenici firma tarafından belediyeden alınacak olan birim ton atık başına yakma bedelinin (tipping fee); 750 ton/gün kapasiteli tesisler için 20 Euro/ton ve 1.800 ton/gün kapasiteli tesisler için 17 Euro/ton olacağı düşünülmektedir (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda yakma tesislerinin (örneğin küçük kapasite için) yıllık yapım, işletim ve bakım gideri $Q_{g,T,y}$;

$$Q_{g,T,y} = \beta_{T,y} \text{ x } 20 \text{ x c} \quad \text{Euro (küçük kapasite için)} \tag{2.28}$$

$$Q_{g,T,y} = \beta_{T,y} \text{ x } 17 \text{ x c} \quad \text{Euro (büyük kapasite için)} \tag{2.29}$$

- Bir düzenli depolama alanının yapım maliyetinin küçük kapasiteli tesis için 80.000.000 Euro ve büyük kapasiteli tesis için 160.000.000 Euro olacağı düşünülmektedir. Söz konusu tesislerin birim atık başına işletim ve bakım maliyetlerinin ise 25 Euro/ton olması beklenmektedir (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda düzenli depolama alanlarının yıllık yapım, işletim ve bakım gideri $Q_{g,L,y}$;

$$Q_{g,L,y} = (\delta_{L,y} \text{ x } 25 \text{ x d}) + (\delta_{L,y} \text{ x } 7,62 \text{ x d}) \text{ Euro (küçük kapasite için)} \tag{2.30}$$

$$Q_{g,L,y} = (\delta_{L,y} \text{ x } 25 \text{ x d}) + (\delta_{L,y} \text{ x } 7,62 \text{ x d}) \text{ Euro (büyük kapasite için)} \tag{2.31}$$

- y yılı için toplam ünite yapım, işletim ve bakım giderleri ($Q_{g,y}$);

$Q_{g,y} = Q_{g,S,y} + Q_{g,K,y} + Q_{g,T,y} + Q_{g,L,y}$ Euro (2.32)

- Proje süresince oluşacak toplam ünite yapım, işletim ve bakım giderleri (Q_g);

$Q_g = Q_{g,2016} + Q_{g,2017} + \ldots\ldots + Q_{g,2040}$ Euro (2.33)

şeklinde ifade edilmiştir.

4. Kullanım Sonrası Alan İyileştirme Giderleri: Tüm proses ve yöntemler için kullanım sonrası alan iyileştirme giderleri aşağıda açıklanmış ve modelde Denklem (2.34)- (2.40)'deki gibi;

- Bir ayırıcı için, ayırıcının kullanım ömrünü tamamlamasının ardından kurulu olduğu bölgede bir kullanım sonrası iyileştirme ve bakım giderine neden olacağı düşünülmemektedir (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda a ayırıcı sayısına bağlı olarak ayırıcıların neden olacağı kullanım sonrası iyileştirme giderlerinin y yılı için değeri $Q_{n,S,y}$;

$Q_{n,S,y} = 0 \text{ x } a$ Euro (2.34)

- Bir kompostlaştırma tesisi için, tesisin kullanım ömrünü tamamlamasının ardından kurulu olduğu bölgede bir kullanım sonrası iyileştirme ve bakım giderine neden olacağı düşünülmemektedir (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda b kompost tesisi sayısına bağlı olarak kompost tesislerinin neden olacağı kullanım sonrası iyileştirme giderlerinin y yılı için değeri $Q_{n,K,y}$;

$Q_{n,K,y} = 0 \text{ x } b$ Euro (2.35)

- Bir yakma tesisi için, tesisin kullanım ömrünü tamamlamasının ardından kurulu olduğu bölgede bir kullanım sonrası iyileştirme ve bakım giderine neden olacağı düşünülmemektedir (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda c yakma tesisi sayısına bağlı olarak yakma tesislerinin neden olacağı kullanım sonrası iyileştirme giderlerinin y yılı için değeri $Q_{n,T,y}$;

$Q_{n,T,y} = 0 \text{ x } c$ Euro (2.36)

- Bir düzenli depolama alanı için, tesisin kullanım ömrünü tamamlamasının ardından kurulu olduğu bölgede depolanan ton atık başına neden olacağı kullanım

sonrası iyileştirme ve bakım gideri miktarının tesisin ton atık başına yatırım giderine eşit olacağı düşünülmektedir. Olası tesislerin dolmadan kullanım dışı bırakılması söz konusu olamayacağı varsayılırsa kapatma maliyeti küçük tesis için 80.000.000 Euro ve büyük tesis için 160.000.000 Euro olarak alınabilir (İZAYDAŞ, 2011). Bu durumda düzenli depolama alanlarının neden olacağı kullanım sonrası iyileştirme giderlerinin y yılı için değeri $Q_{n,L,y}$;

$$Q_{n,L,y} = \delta_{L,y} \text{ x } 7{,}62 \text{ x d Euro (küçük kapasite için)} \quad (2.37)$$

$$Q_{n,L,y} = \delta_{L,y} \text{ x } 7{,}62 \text{ x d Euro (büyük kapasite için)} \quad (2.38)$$

- y yılına ait toplam kullanım sonrası alan iyileştirme gideri ($Q_{n,y}$);

$$Q_{n,y} = Q_{n,S,y} + Q_{n,K,y} + Q_{n,T,y} + Q_{n,L,y} \text{ Euro} \quad (2.39)$$

- Proje süresince oluşacak toplam kullanım sonrası alan iyileştirme gideri (Q_n);

$$Q_n = Q_{n,2016} + Q_{n,2017} + \ldots\ldots + Q_{n,2040} \text{ Euro} \quad (2.40)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

5. Ayrılmış Materyal Satışı Geliri: Prosesler için ayrılmış materyal satış gelirleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

- Ayırıcılarda ayrılan hurda (i=0), kağıt-karton (i=2), plastik (i=3) ve metal (i=5) bileşenlerinin 2011 yılı için Kocaeli'nde birim satış fiyatları Tablo 2.7'de sunulan değerler olarak belirlenmiş ve bu fiyatların proje süresince değişmeyeceği varsayılmıştır (İZAYDAŞ, 2011).

Tablo 2.7. Ayırıcılarda ayrılan bileşenler için satış fiyatları (İZAYDAŞ, 2011)

Bileşen	Birim Satış Fiyatı(Euro/ton)
Metal	200
Hurda	250
Plastik	225
Kağıt	100

Ayrılmış materyal satış gelirlerine ilişkin öngörüler modelde Denklem (2.41) ve (2.42)'deki gibi;

- Ayırıcılarda ayrılan bileşen türlerinin y yılı için söz konusu yılda ayrılan miktarlarına ($\lambda_{S,C,y,i}$) bağlı olarak ayrılmış materyal satışından elde edilen gelir miktarı $J_{RM,y}$;

$$J_{RM,y} = (\lambda_{S,C,y,0} \text{ x } 250) + (\lambda_{S,C,y,2} \text{ x } 100) + (\lambda_{S,C,y,3} \text{ x } 225) + (\lambda_{S,C,y,5} \text{ x } 200) \quad \text{Euro} \quad (2.41)$$

Proje süresince ayrılmış materyal satışından elde edilecek gelir miktarı J_{RM};

$$J_{RM} = J_{RM,2016} + J_{RM,2017} + \ldots\ldots + J_{RM,2040} \quad \text{Euro} \quad (2.42)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

6. Kompost Satışı Geliri: Kompost satışı geliri aşağıda açıklanmış ve modelde Denklem (2.43) ve (2.44)'deki gibi;

- Kompostlaştırma tesislerinde oluşan kompostun birim atık başına piyasa satış fiyatı 40 Euro/ton olarak belirlenmiş ve bu değerin proje süresince değişmeyeceği kabul edilmiştir (İZAYDAŞ, 2011). Organik kompostun y yılı için söz konusu yılda oluşan miktarına (H_y) ve söz konusu yıl için birim satış fiyatına ($H_{C,y}$ = 40 Euro) bağlı olarak kompost satışından elde edilen gelir miktarı $J_{w,y}$;

$$J_{w,y} = H_y \text{ x } 40 \text{ Euro} \quad (2.43)$$

- Proje süresince kompost satışından elde edilecek gelir miktarı J_w;

$$J_w = J_{w,2016} + J_{w,2017} + \ldots\ldots + J_{w,2040} \quad \text{Euro} \quad (2.44)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

7. Enerji Satışı Geliri: Yakma tesisinde atık yakma sırasında elde edilen enerjinin satış gelirleri yüklenici firma tarafından alınacağı için bu yolla bir gelir elde edilemeyecektir. Bu miktarın deponi alanları için nasıl hesaplandığı ise aşağıda açıklanmış ve modelde Denklem (2.45) ve (2.46)'deki gibi;

- Proje süresince düzenli depolama alanlarından elde edilecek deponi gazının çevrimi ile elde edilecek enerji miktarlarının küçük tesis için 250.000.000 kwh ve büyük tesis için 500.000.000 kwh olacağı düşünülmektedir. Bu durumda yakma tesislerinden gelebilecek olan kül hariç düzenli depolamaya gelen her 1 ton atık

başına 23 kwh enerji üretileceği öngörülmektedir. Bu enerjinin birim satış fiyatı 2011 yılı için 0,104 Euro/kwh olup bu fiyatın proje süresince değişmeyeceği varsayılmıştır (İZAYDAŞ, 2011). Düzenli depolama alanlarından y yılı için elde edilen enerji satış geliri $J_{l,y}$;

$$J_{l,y} = \delta_{L,y} \text{ x } 23 \text{ x } 0{,}104 \text{ Euro} \quad (2.45)$$

- Proje süresince enerji satışından elde edilecek gelir miktarı J_l;

$$J_l = J_{l,2016} + J_{l,2017} + \ldots\ldots + J_{l,2040} \quad \text{Euro} \quad (2.46)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

8. Hurda Satışı Geliri: Kurulması planlanan olası tesislerin kullanım ömürlerinin dolmasının ardından kalan hurda malzemenin satışından elde edilecek gelirler konusunda yalnızca yakma tesislerinin bu açıdan değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Proje süresinin bitiminde satılacak yakma tesisi hurdalarından elde edilmesi düşünülen toplam gelir küçük kapasiteli tesis için 10.000.000 Euro, büyük kapasiteli için 15.000.000 olarak kabul edilmektedir ve bu değer maliyet analizinde 25 yıla eşit olarak dağıtılacaktır (İZAYDAŞ, 2011). Bu gelir aşağıda açıklanmış ve modelde Denklem (2.47)-(2.49)'deki gibi;

- Yakma tesisi hurdalarının satışından y yılı için elde edilecek gelir $J_{x,y}$ ve Proje süresince hurda satışından elde edilecek gelir miktarı J_x;

$$J_{x,y} = 400.000 \text{ x c Euro (küçük kapasite için)} \quad (2.47)$$

$$J_{x,y} = 600.000 \text{ x c Euro (büyük kapasite için)} \quad (2.48)$$

$$J_x = J_{x,2016} + J_{x,2017} + \ldots\ldots + J_{x,2040} \quad \text{Euro} \quad (2.49)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

2.4.4. Model kısıtları

Optimizasyon modelinde, modelin amaca ulaşmak için deneyebileceği sayısal olasılıkların sınırlarını belirlemek amacıyla kullanılan kısıtlar bu çalışmada proses kısıtları ve mesafe kısıtları olmak üzere iki alt sınıfa ayrılmıştır.

2.4.4.1. Proses kısıtları

1. Ayırıcılar İçin Kısıtlar: Model için ayırıcı sayısı en az 0 ve en fazla 6 olabilecek ve her istasyonda sadece bir ayırıcı bulunabilecektir. Yılda 330 gün çalışacak şekilde tasarlanmış ve atık girişi olduğu takdirde inşa edilmiş kabul edilecek (non-zero kısıtı) olan bir ayırıcıya günde en fazla 300 ton atık alınabilecektir (İZAYDAŞ,2011). Bir ayırıcıya y yılı için gelebilecek atık kütlesi $\lambda_{F,S,y}$ için kısıt modelde Denklem (2.50)'deki gibi;

$$\lambda_{F,S,y} \leq 99.000 \text{ ton} \tag{2.50}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

2. Kompostlaştırma Tesisleri İçin Kısıtlar: Kompostlaştırma tesisi sayısı en az 0 ve en fazla 6 olabilecek ve her istasyonda sadece bir kompostlaştırma tesisi bulunabilecektir. Yılda 330 gün çalışacak şekilde tasarlanmış ve atık girişi olduğu takdirde inşa edilmiş kabul edilecek olan bir kompostlaştırma tesisine günde en fazla 450 ton atık alınabilecektir (İZAYDAŞ,2011). Bir kompostlaştırma tesisine y yılı için gelebilecek atık kütlesi $\lambda_{K,y}$ için kısıt modelde Denklem (2.51)'deki gibi;

$$\sigma_{K,y} \leq 148.500 \text{ ton} \tag{2.51}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

3. Yakma Tesisleri İçin Kısıtlar: Yakma tesisi sayısı en az 0 ve en fazla 2 olabilecek ve her istasyon bölgesinde sadece bir yakma tesisi bulunabilecektir. Yılda 330 gün çalışacak şekilde tasarlanmış ve atık girişi olduğu takdirde inşa edilmiş kabul edilecek olan bir yakma tesisine kabul edilebilecek yıllık atık miktarı en az yıllık toplam kapasitenin % 85'i kadar olmak zorundadır. Aynı şekilde yıllık maksimum atık miktarı normal kapasitenin en çok % 15'i kadar fazla olabilir (İZAYDAŞ,2011). Bir yakma tesisine y yılı için gelebilecek atık kütlesi $\beta_{T,y}$ için kısıtlar modelde Denklem (2.52) ve (2.53)'deki gibi;

$$210.375 \leq \beta_{T,y} \leq 284.625 \text{ ton (750 ton/gün kapasiteli tesis için)} \tag{2.52}$$

$$504.900 \leq \beta_{T,y} \leq 683.100 \text{ ton (1800 ton/gün kapasiteli tesis için)} \tag{2.53}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

- Kalorifik değer; 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 ve diğ., 2007). Evsel katı atıklar için verilebilecek tipik kalorifik değer aralığı 3.000-10.000 kJ/kg şeklindedir (Ruth 1998; Kathirvale ve diğ., 2003) ve bir yakma tesisinde ilave yakıt kullanmaksızın enerji elde etmek için atığın kalorifik değeri 8.000-9.000 kJ/kg olmalıdır (Kaçar, 1999). Bu çalışmada; bir yakma tesisine gelen atık kütlesinin ısıl değeri HV en az 8.000 kJ/kg (1910 kcal/kg) ile kısıtlanmıştır. y yılı için bir ısıl işleme gelecek atığın ısıl değer kısıtı modelde Denklem (2.54)'deki gibi;

$$8.000 \leq HV_{T,y} \tag{2.54}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu eşitsizlikte her bileşen için kullanılacak olan ısıl değerler Tchobanoglous ve Kreith (2002)'den alınmıştır. Buna göre; yaş ağırlık üzerinden i=0 için kalorifik değer 250 kJ/kg, i=1 için kalorifik değer 5.000 kJ/kg, i=2 için kalorifik değer 16.500 kJ/kg, i=3 için kalorifik değer 32.500 kJ/kg, i=4 için kalorifik değer 150 kJ/kg, i=5 için kalorifik değer 700 kJ/kg ve i=6 için kalorifik değer 18.000 kJ/kg olarak tanımlanmıştır.

4. Düzenli Depolama Alanları İçin Kısıtlar: Düzenli depolama alanı sayısı en az 1 ve en fazla 6 olacak ve her istasyon bölgesinde sadece bir düzenli depolama alanı bulunabilecektir. Yıl boyunca atık kabul edecek şekilde tasarlanmış ve atık girişi olduğu takdirde inşa edilmiş kabul edilecek olan bir düzenli depolama alanının minimum kullanım ömrü için 20 yıl esas alınacak ve böylece bir düzenli depolama alanının 20 yıldan önce dolması engellenmiş olacaktır. 8.000 dönüm alan için tasarlanan bir tesis kullanım ömrü boyunca dolgu malzemesi de dâhil olmak suretiyle 21.000.000 ton evsel atık alabilmektedir. 4.000 dönüm için tasarlanan tesiste bu değer 10.500.000 tona eşittir (İZAYDAŞ,2011). Bu durumda bir düzenli depolama alanına y yılı için gelebilecek atık kütlesi $\delta_{L,y}$ için proses kısıtı modelde Denklem (2.55) ve (2.56)'daki gibi;

$$\delta_{L,y} \leq 525.000 \text{ ton (4.000 dönüm alan için)} \tag{2.55}$$

$\delta_{L,y} \leq 1.050.000$ ton (8.000 dönüm alan için) (2.56)

şeklinde tanımlanmıştır.

- Mevzuat açısından bakıldığında Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikteki (ADDDY, 2010) Geçici Madde 1'e göre, söz konusu yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl içerisinde, doğrudan depolanacak 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. 2005 yılı Kocaeli ili nüfusu yaklaşık olarak 1.450.000 kişidir. 2005 yılındaki atık üretim hızı 0,9 kg/kişi.gün ve bu atığın yaklaşık olarak % 75'inin biyobozunabilir olduğu varsayılırsa 2005 yılında düzenli depolamaya giden BBA miktarı 357.244 ton olur. Yönetmelik 2010 yılında yürürlüğe girdiğine göre hedef yıllar 2015, 2018 ve 2025 şeklindedir. Modelin bu kısıtı, 2025-2040 aralığı için 2025 yılında kullanılan kısıtla aynı olacak şekilde sabitlenmiştir (İZAYDAŞ, 2011). Düzenli depolama alanlarına gelebilecek yıllık maksimum biyobozunabilir atık miktarlarının belirlenmesinde i=1, i=2 ve i=3 (i=3 için % 75'inin biyobozunabilir olduğu varsayılarak) bileşenleri kullanılmıştır. Bu değerlendirmelere göre düzenli depolamaya transfer istasyonlarından ve ayırıcılardan gelebilecek toplam maksimum biyobozunabilir atık miktarı δ_{BBA} için proses kısıtı modelde 2016-2040 yılları arası için Denklem (2.57) ve (2.58)'deki gibi;

$\delta_{BBA,2016} \leq 237.933$ ton (2.57)

…

...

$\delta_{BBA,2040} \leq 125.035$ ton (2.58)

şeklinde tanımlanmıştır.

2.4.4.2. Mesafe kısıtları

1. Modelin önereceği ayırıcılar ve kompostlaştırma tesisleri, ilgili transfer istasyonlarının hemen yanında olmak zorundadır. Söz konusu taşıma mesafeleri için kısıtlar (HD) modelde Denklem (2.59)-(2.61)'deki gibi;

$HD_{F,S} = 0$ km (2.59)

$HD_{S,K} = 0$ km (2.60)

$HD_{F,K} = 0$ km (2.61)

şeklinde tanımlanmıştır.

2. Bir transfer istasyonundan ayırıcı ve/veya kompostlaştırma tesisine taşınacak atık ya kendi bölgesinde bulunan ya da kendisine en yakın ayırıcı ve/veya kompostlaştırma tesisine taşınmak zorundadır ve bu mesafe 60 km'den fazla olamaz. İlgili kısıtlar modelde Denklem (2.62) ve (2.63)'deki gibi;

$HD_{F,Sa} \leq 60$ km (2.62)

$HD_{F,Kb} \leq 60$ km (2.63)

şeklinde tanımlanmıştır.

3. Depolama alanları ve yakma tesisleri transfer istasyonlarına 60 km'den uzak olamaz. İlgili kısıtlar modelde Denklem (2.64) ve (2.65)'deki gibi;

$HD_{F,Tc} \leq 60$ km (2.64)

$HD_{F,Ld} \leq 60$ km (2.65)

şeklinde tanımlanmıştır.

4. Bir ayırıcının kompostlaştırma tesisleri, yakma tesisleri ve depolama alanlarına uzaklığı 60 km'den fazla olamaz. İlgili kısıtlar modelde Denklem (2.66)-(2.68)'deki gibi;

$HD_{Sa,Kb} \leq 60$ km (2.66)

$HD_{Sa,Tc} \leq 60$ km (2.67)

$HD_{Sa,Ld} \leq 60$ km (2.68)

şeklinde tanımlanmıştır.

5. Bir kompostlaştırma tesisinin yakma tesisleri ve depolama alanlarına uzaklığı 60 km'den fazla olamaz. İlgili kısıtlar modelde Denklem (2.69) ve (2.70)'deki gibi;

$$HD_{Kb,Tc} \leq 60 \text{ km} \quad (2.69)$$

$$HD_{Kb,Ld} \leq 60 \text{ km} \quad (2.70)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

6. Bir yakma tesisi depolama alanlarına 60 km'den uzak olamaz. İlgili kısıt modelde Denklem (2.71)'deki gibi;

$$HD_{Tc,Ld} \leq 60 \text{ km} \quad (2.71)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Bu eşitsizliklerdeki 60 km değeri, karar verme ortaklığının mesafe kısıtı için yaptığı bir tercih olup, Kocaeli'nin transfer istasyonlarının dağılım durumu göz önünde bulundurularak belirlenen farklı taşıma mesafelerine (30, 40, 50, 70, 80, 110 ve sınırsız) göre de ayrı ayrı düzenlenecek ve modele etkisi incelenecektir.

2.4.5. Optimizasyon modeli için dışsallıklar ve Monte Carlo simülasyonu

Başta yakma ve depolama olmak üzere atık işleme ve bertaraf süreçlerinin birim atık başına neden olacağı dışsallıklara ilişkin olarak yürütülmüş çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda elde edilen verilerden bir kısmı Tablo 2.8'de sunulmuştur. Tablo 2.8'de sunulan bilgiler, çeşitli çalışmacılar tarafından farklı bölgelerde yürütülen çalışmalara ilişkin bulgulardır.

Bilindiği üzere dışsal maliyetler ve Dışsal maliyet/İçsel maliyet oranları (E/I) bölgeden bölgeye önemli farklılıklar gösterebilmektedir (Kinnaman, 2009). Bu durum Tablo 2.8'den de rahatlıkla anlaşılabilmektedir. Dışşsallıkların belirlenmesi için yürütülen çalışmalar oldukça pahalı ve karmaşık bir yapıya sahip olduklarından her bölge için ayrı bir çalışma yürütmek çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Herhangi bir çalışmanın yürütülmediği bölgeler için dışsallıkların belirlenmesinde ise Tablo 2.8'de sunulan türden bilgilere çeşitli ekonometrik modeller uygulamak sıklıkla başvurulan bir yoldur. (Eshet ve diğ., 2006).

Tablo 2.8. Evsel katı atık işleme ve bertaraf süreçleri için farklı bölgelerde elde edilen maliyet miktarları

Yöntem	İçsellikler (1 ton atık için Euro)	Dışsallıklar (1 ton atık için Euro)	Dışsallık/İçsellik (E/I)
İnsineratör (Elektrik geri dönüşümlü)	51,23 [a] 103 [c]	60,55 – 69,67 [a] 3,89 [e] 22 [f]	1,18 – 1,36 [a]
İnsineratör (Elektrik ve ısı geri dönüşümlü)	68,18 [a] 79 [c] 40 – 135 [h] 16 – 19 [i]	38,73 – 48,21 [a] 17,64 [c] 5 [f] 3,7 – 23,68 [h] 15 – 90 [i]	0,57 – 0,71 [a] 0,22 [c] 0,09 – 0,18 [h] 0,79 – 4,74 [i]
Düzenli Depolama	9,12 [a] 40 [c] 5,92 – 40 [h]	21,63 – 29,54 [a] 1,92 – 2,75 [b] 14 [f] 11,84 [g] 1,48 - 10,36 [h]	2,37 – 3,24 [a] 0,25 – 0,26 [h]
Düzenli Depolama (Enerji geri dönüşümlü)	7,7 [a] 36 [c] 45 [i]	16,27 – 21,01 [a] 1,52 – 2,18 [b] 22,14 [c] 3,99 – 6,48 [d] 11 [f] 2,96 – 6,66 [g] 7 – 42 [i]	2,11 – 2,73 [a] 0,62 [c] 0,16 – 0,93 [i]
Kompostlaştırma/ Geri Dönüştürme (MRF kaynakta ayırmalı)	19,7 [a] 20 [i]	0,47 – 2,65 [a] 1 – 6 [i]	0,02 – 0,14 [a] 0,1 – 0,6 [i]

[a] (Jamasb ve Nepal, 2010) [b] (Defra, 2003) [c] (Dijkgraaf ve Vollebergh, 2004)
[d] (Kinnaman, 2006) [e] (Isely ve Lowen, 2007) [f] (Rabl ve diğ., 2008)
[g] (Nahman, 2011) [h] (Miranda ve Hale, 1997) [i] (Bu çalışma)

Bu çalışmada, proseslerin birim atık başına neden olacakları dışsallık miktarının belirlenmesi için herhangi bir ekonometrik dönüşüm uygulanmamıştır. Bunun yerine, Jamasb ve Nepal (2010) tarafından elde edilen değerler referans alınarak bazı senaryoların oluşturulması tercih edilmiştir. Bu sayede daha geniş bir çalışma aralığının sağlanması amaçlanmıştır. Jamasb ve Nepal (2010)'in tercih edilmesinin temel nedeni ise; çalışmamızda kullanılan doğrusal modelimizde yer alan tüm atık işleme ve bertaraf süreçlerinin her biri için, söz konusu çalışmada birer dışsallık değeri verilmiş olmasıdır. İlgili çalışmalar incelendiğinde tüm atık prosesleri için aynı anda birer dışsallık miktarı sunan bir çalışmaya ulaşmanın kolay olmadığı anlaşılacaktır. Çalışma periyodumuz için oldukça güncel ve Euro bazlı değerler sunan bu çalışmadaki değerler de zaten literatürden herhangi bir dönüşüm yapılmaksızın elde edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilecek sonuçlar, dışsallıklar için doğrudan literatür verileri kullanıldığı için belli oranda bir belirsizlik içerecektir. Çalışmada kullanılan dışsallık miktarları, Kocaeli için herhangi bir ekonomik veri setine sahip olmadığımızdan ötürü bir belirsizlik analizine tabi tutulamamıştır. Bunun yerine bir simülasyon çalışması yapılarak, kullanılan veri aralıkları ile literatürdeki veri aralıklarının bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu amaçla lisanslı bir @Risk (Palisade Inc.) yazılımı vasıtasıyla, çalışmada kullanılan dışsallık veri aralıkları aynı proses tipi için literatürde elde edilen veri aralıkları (bkz. Tablo 2.8) ile sınırlandırılmış ve bu yeni aralıkların olasılık dağılımları elde edilmiştir. Aralıkların dağılım fonksiyonu, normal dağılımın bir versiyonu olup minimum ve maksimum değerlerin kullanımına olanak sağlayan bir fonksiyon olan genelleştirilmiş beta dağılımı olarak belirlenmiş ve simülasyonlar 1.000.000 iterasyon sayısı için gerçekleştirilmiştir. Monte Carlo simülasyonu olarak bilinen bu işlemler Microsoft Excel yardımı ile yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan modelin içerdiği atık işleme ve bertarafı süreçleri (prosesleri, yöntemleri); atık ayırıcı, kompostlaştırma, küçük kapasiteli bir enerji ve ısı geri dönüşümlü insineratör, büyük kapasiteli bir enerji ve ısı geri dönüşümlü insinerator ve enerji geri dönüşümlü düzenli depolama alanı (küçük/büyük) şeklindedir. Jamasb ve Nepal (2010) tarafından bu atık işleme ve bertarafı tipleri için verilen birim atık başına dışsallık miktarları sırasıyla yaklaşık olarak; 3 Euro, 3 Euro, 45 Euro, 45 Euro ve 21 Euro (3,3,45,45,21) şeklindedir. Çalışmamızda bu değerlerin kullanılacağı ve şehrin mevcut durumunu yansıttığı varsayılan senaryo "Orta_Düzey_Dışsallık" olarak isimlendirilecektir.

Proje aralığı olan 2015-2040 yılları arasında, Kocaeli için geçerli olabilecek dışsallık miktarlarının bu değerlerden daha düşük ya da daha yüksek olması olasıdır. Bu nedenle bazı yeni senaryolara ihtiyaç duyulmuştur. Bu senaryolar oluşturulurken, tüm dışsallık tiplerinin birbirleriyle aynı oranda doğrusal olarak azalıp artacağı varsayılmıştır. Buna göre; "Orta_Düzey_Dışsallık" değerlerinin 1/3 oranında azalması ile elde edilen senaryo (2,2,30,30,14) "Alt_Orta_Düzey_Dışsallık" ve 1/3 oranında artmasıyla elde edilen senaryo (4,4,60,60,28) "Üst_Orta_Düzey_Dışsallık" olarak adlandırılmıştır. Aynı şekilde; "Orta_Düzey_Dışsallık" değerlerinin 2/3 oranında azalması ile elde edilen senaryo (1,1,15,15,7) "Düşük_Düzey_Dışsallık" ve 2/3 oranında artmasıyla elde edilen senaryo (5,5,75,75,35)

"Yüksek_Düzey_Dışsallık" olarak adlandırılmıştır. Hiçbir dışsallık miktarının olmadığı senaryo (0,0,0,0,0) "Sıfır_Düzey_Dışsallık" olarak adlandırılırken "Orta_Düzey_Dışsallık" değerlerinin tümünün aynı anda 2 kat arttığının varsayıldığı senaryo (6,6,90,90,42) ise "Aşırı_Düzey_Dışsallık" olarak adlandırılmıştır. Önceki bölümlerde detaylandırılan yöntem seçimi maliyet optimizasyon modeli; tüm bu senaryolar ve farklı taşıma mesafeleri için tek tek çalıştırılacak ve bu yolla dışsallıkların nihai karar üzerindeki etkileri incelenecektir.

2.4.6. Amaç fonksiyonu

Toplam sosyal maliyeti oluşturan miktar (Q) içsel maliyetler ile dışsal maliyetlerin toplamına eşittir. Bir başka ifade ile bu toplam, projenin oluşturduğu gelirler ile giderlerin farkına eşittir. Bu toplamı oluşturan alt gider kalemleri; Ön Giderler (Q_u), Taşıma Giderleri (Q_t), Ünite Yapım, İşletim ve Bakım Giderleri (Q_g), Kullanım Sonrası Alan İyileştirme Giderleri (Q_n) ve Dışsallıklar (Q_z) şeklindedir. Alt gelir kalemleri ise; Ayrılmış Materyal Satışı Geliri (J_{RM}), Kompost Satışı Geliri (J_w), Enerji Satışı Geliri (J_l) ve Hurda Bedeli Geliri (J_x) şeklindedir. Optimizasyon modelinin amacı; proje süresince oluşacak Q toplam sosyal maliyet miktarını en aza indiren alternatif senaryonun bulunmasıdır. Buna göre modelin toplam maliyeti en aza indirecek olan amaç fonksiyonu modelde Denklem (2.72)'deki gibi;

$$Q = Q_u + Q_t + Q_g + Q_n + Q_z - (J_{RM} + J_w + J_l + J_x) \quad \text{Euro} \qquad (2.72)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

2.4.7. Modelin belirsizlikleri

Bir modelinin vereceği sonuçların uygulama açısından doğruluğu, model oluşturulurken girilen parametrelerdeki belirsizliklerin boyutlarına bağlı olarak değişir. Dolayısıyla belirsizlikler ve bu belirsizliklerin sonucu etkileme oranları ne kadar az olursa elde edilen sonuçların da o kadar gerçekçi olduğu söylenebilir. Bu çalışmada oluşturulan maliyet optimizasyon modeli açısından söz konusu belirsizlikler şunlardır:

1) Model sonuçlarını etkileme potansiyeli olan belirsizlikler arasından en etkin olanının nüfus ve atık projeksiyonları için yapılan öngörülerdeki belirsizlikler olduğu söylenebilir. Modelin vereceği sonuçlar; nüfus tahminleri ve dolayısıyla atık miktarları ile atık karakterizasyonu verilerine son derece bağımlıdır. Bu nedenle sözü edilen bu büyüklükler için uygulama sırasında ortaya çıkabilecek salınımlar, elde edilen sonuçların doğruluğunu bu olası salınım miktarlarının büyüklüğü oranında şüpheye düşürecektir. Model oluşturulurken bu parametreler için girilen değerlerin proje süresince nasıl değişeceğine dair öngörüler KBB ÇKKDB (2009), KOÜ ÇEVRE (2008) ve Yenice ve diğ, (2009) tarafından yürütülmüş çalışmalara bağlı kalınarak yapılmış olduğundan bu belirsizliğin miktarı da yapılan bu çalışmaların belirsizliği tarafından belirlenecektir.

2) Modelde, maliyet açısından önemli bir gider olarak değerlendirilebilecek olan, atıkların oluştuğu kaynaklardan transfer istasyonlarına getirilmeleri için gereken taşıma giderleri ihmal edilmiştir. Transfer istasyonları açısından yapılan bazı hipotetik kabuller bu maliyetlerin miktarı konusunda bir öngörüde bulunmayı imkansız kılmaktadır. Bu nedenle söz konusu maliyetlerin ihmal edilip ambalaj atıklarının satışını yapan özel şirketler tarafından karşılanacağı kabulü belirli bir oranda belirsizlik içermektedir.

3) Modelde atıkların herhangi bir noktadan başka bir yere taşınması ve diğer işlemler sırasında oluşan su muhtevası kayıpları ile biyobozunma sonucu oluşan gaz kaybı miktarları ihmal edilmiştir. Bu miktarın büyüklüğünün ne olacağının bu aşamada kestirilmesi çok zor olup, bu miktarın ihmal edilmesi de sonuçları etkileme açısından bazı belirsizliklere sahiptir.

4) Kompostlaştırma tesislerinde işlenen i=1 ürünlerin % 35'inin komposta dönüştürülüp satılacağı ve bu oranın proje süresi boyunca sabit kalacağı öngörülmüştür. Uygulama sırasında bu oranda oluşabilecek artı ya da eksi sapmalar modelin önerdiği sonucun doğruluğunun belirsizliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Aynı durum yakma tesislerinin kütle azaltma etkisi için kabul edilen % 90 oranı için de geçerlidir.

5) Modelde doğrudan kaynakta geri dönüşüm oranları için yasal sınırlamalar dikkate alınarak öngörülen geri dönüşüm yüzdeleri; beşer yıllık periyotlarla sabit kalacağı kabulünün belirsizliğinin yanı sıra bu yüzdelerin hangi boyutta gerçekleştirilebileceği açısından da önemli bir belirsizlik taşımaktadır. Ayrıca yasal

sınırlamalardan bağımsız olarak organik atıkların kaynakta ayrı toplanması için öngörülen miktarların ne şekilde sağlanabileceği de önemli bir soru işaretidir. Bu değerlerdeki salınımlar model sonuçlarının doğruluğunu etkileyebilecek kapasiteye sahiptirler. Bu belirsizliğin boyutu uygulama sırasında belediyelerin performansları tarafından belirlenecektir.

6) Ayırıcıların atık bileşenleri bazında ayırma verimleri için proje süresince sabit olacağı öngörülen değerlerin uygulama sırasında yapacağı salınımların belirsizliği sonuçların doğruluğunu etkileme potansiyeline sahiptir.

7) Arazi maliyetleri için yapılan kira bedeli öngörüsü, uygulama sırasında oluşacak arazi maliyetlerinin değişimleri açısından önemli bir belirsizlik içermektedir.

8) Herhangi bir atık bileşenin tüm taşıma mesafeleri için birim taşıma giderlerinin eşit ve proje süresince değişmeyeceği öngörüsü uygulama açısından gerçekçi değildir. Bu değişimlerin Kocaeli için ne şekilde olacağına dair herhangi bir çalışmanın olmayışı önemli bir belirsizliğe neden olmaktadır.

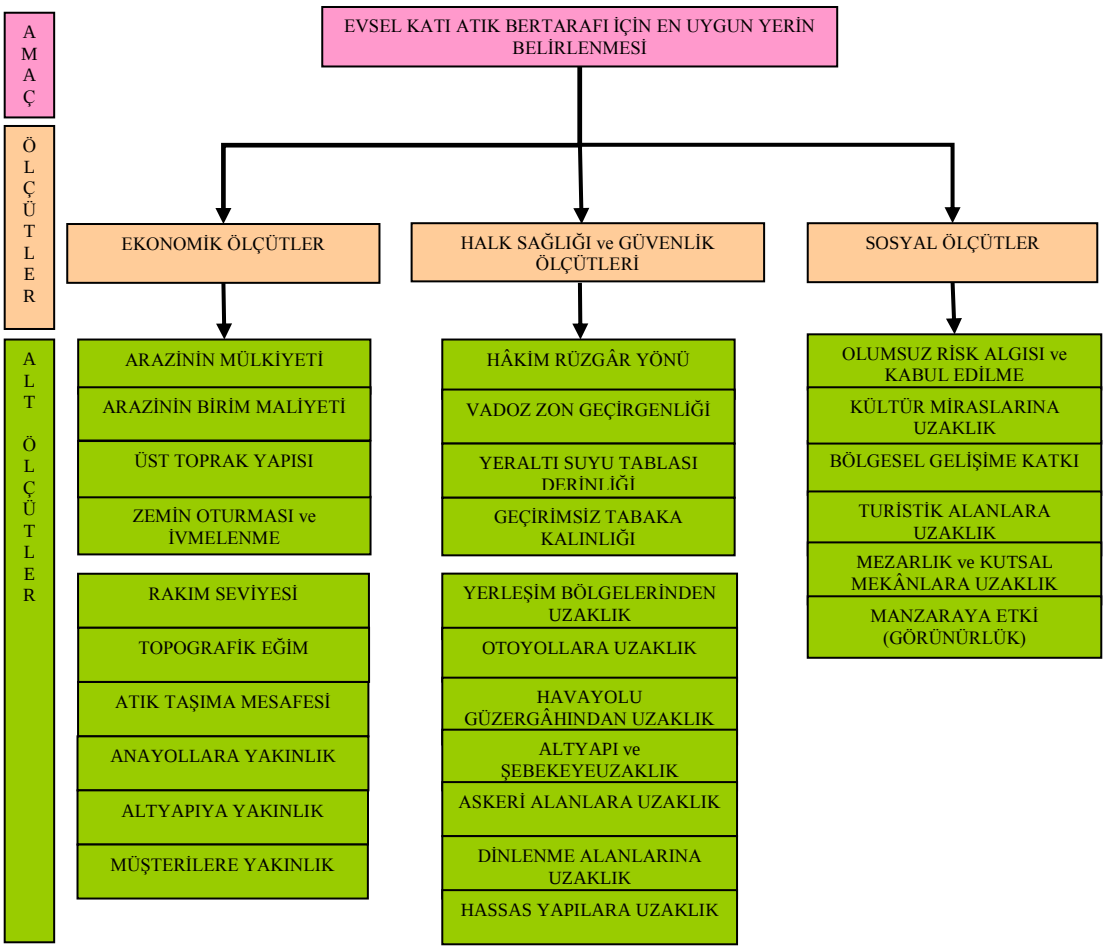
9) Temel işlemler sonucunda elde edilen ekonomik değerlerin (ayrılmış atıklar, kompost, deponi gazı ve hurda bedelleri) piyasa karşılıkları konusundaki öngörülerin uygulama sırasında oluşturacağı değişimler model sonuçlarının doğruluğu açısından bir belirsizliğe neden olacaktır.

10) Nihayetinde; proje süresi için yapılan ve başta dışsallık miktarları olmak üzere tüm maliyet girdileri önemli düzeyde belirsizlik içerirler. Ayrıca bu belirsizlik Euro-Türk Lirası paritesinin olası değişimleri ve iskonto oranlarının kullanılmamış olmasından ötürü de belirsizlik içerir.

Çalışma kapsamında, yukarıda sözü edilen belirsizliklerden yalnızca dışsallık miktarlarının ihtiva ettiği belirsizliğe ilişkin bir simülasyon çalışması yürütülmüştür. Bu anlamda çalışma sonucunda elde edilen bulguların önemli miktarda belirsizlik içerdiği söylenebilir. Öte yandan; çalışmada kullanılan karma tam sayılı optimizasyon modeli, bu güne kadar kullanılan modellerden farklı olarak mutlak bir sonucu garanti ettiği için, ilerleyen dönemlerde sözü edilen belirsizliklerin ayrı ayrı modele entegre edilmesi son derece kolay olacaktır. Fakat bu entegrasyon işlemi bu tez çalışmasının kapsamına alınmamıştır.

2.5. Karar Verme Ortaklığının Yer Seçimi Konusundaki Önceliklerinin Belirlenmesi

Olası bertaraf tesisleri için coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımı ile yer belirleme ve en uygun olanını seçme işlemine başlamadan önce, kullanılacak yer seçimi ölçüt ve ağırlıklarının belirlenmesi için bir ön çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada, kapsamlı bir literatür çalışması yapılarak ve karar verme ortaklarının görüşleri alınarak oluşturulan bir karar ağacının içerdiği yer seçimi ölçütlerinin ağırlıklandırılması sağlanmıştır. Bunun için katılımcılardan söz konusu ölçütlerin bir önem sırasına koyulabilmesi adına bu ölçütleri önem bakımından ikili olarak karşılaştırmaları istenmiştir. Katılımcılara verilen karar ağacı Şekil 2.5'de sunulmuştur. Kullanılan bu karar ağacının yapısı, bölüm 2.6.1'de detaylandırılacak olan mevzuat değerlendirmesi ile birlikte son halini alacak ve nihai yer seçimi yapısını oluşturacaktır. Bu yapının gerekçelerine Korucu ve Erdağı (2012a, 2012b)'den ulaşmak mümkündür.



Şekil 2.5. Yer seçimi ölçütlerinin ağırlıklandırılması için oluşturulan karar ağacı

Karar ağacının içerdiği alt ölçütlerin tümü için ikili karşılaştırma yapma olanağı sunan bir matris çalışması tüm katılımcılara uygulanmış olup alınan geri bildirimler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme süreci Bölüm 2.3.1'de sunulan AHP süreciyle aynı şekilde yürütülmüştür. Yer seçimi için yapılan ikili karşılaştırma sayısı 171 adettir. Katılımcılardan alınan geri dönüşlerden tutarlılık indeksini sağlayabilen katılımcı sayısı 16 olup ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde yalnızca bu sonuçların geometrik ortalamaları kullanılmıştır.

2.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Yer Seçimi Modeli

2.6.1. Yer seçimi için mevzuat araştırması

Çalışmada kullanılacak olan yer seçimi yapısının belirlenmesi için yapılan literatür taramasına göre, evsel katı atık bertaraf tesislerinin yer seçimi için doğrudan kullanılabilecek yönetmelikler "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" (ADDDY, 2010) ve "Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik" (AYİY, 2010) şeklindedir. AYİY (2010) yer seçimi için her hangi bir zorunluluk içermemektedir. ADDDY (2010) ise düzenli depolama alanlarının yer seçimi için kullanılacak ölçütleri Madde 15'de sunmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılacak olan tüm bertaraf tesisi türleri için bu madde referans alınmıştır.

Madde 15'de, yer seçimi ölçütleri için getirilen tek sayısal tampon zorunluluğu yerleşim bölgeleri için olup II. sınıf (evsel atıklar için) depolama tesisleri için bu değer 250 metre şeklindedir. Diğer dikkate alınması gereken ölçütler için herhangi bir sayısal değer verilmemekle birlikte bu ölçütlerin (- hava ulaşım güvenliği,- orman alanları, ağaçlandırma alanları, yaban hayatı ve bitki örtüsü, - yeraltı ve yüzeysel su kaynakları ve koruma havzaları, - sahanın topografik, jeolojik, jeomorfolojik, jeoteknik ve hidrolojik durum, - taşkın, heyelan, çığ, erozyon ve yüksek deprem riski, -hakim rüzgar yönü ve yağış durumu, - doğal veya kültürel miras durumu dikkate alınır. Ayrıca sahada akaryakıt, gaz ve içme/kullanma suyu naklinde kullanılan boru hatları ve yüksek gerilim hatları bulunamaz gibi) seçim yapısında kullanılması zorunlu olduğundan sözü edilen ölçütlerin kullanılacak olan yer seçimi yapısında yer almaları mevzuat açısından yeterlidir.

Yönetmelik konusunda başvurulan ikinci adres, yukarıda sözü edilen Madde 15'in 4. fırkası gereği referans alınması gereken Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği (ÇEDY, 2008) olarak belirlenmiştir. ÇEDY (2008)'e göre; çevresel etki değerlendirmesi uygulanacak projelerin listesi yönetmeliğin ek kısmında verilmiş olan bertaraf tesisleri ile ilgili madde EK-1/12'de "Günlük kapasitesi 100 ton ve üzeri katı atıkların yakma, kompost ve diğer tekniklerle ara işleme tabi tutulması ve bertaraf edilmesi için kurulan tesisler ve/veya alanı 10 hektardan büyük veya hedef yılı da dahil depolanacak katı atık miktarının günlük 100 ton ve üzeri olan katı atık depolama tesisleri, atık barajları, atık havuzları" şeklinde belirtilmiştir. Bir çevresel etki değerlendirmesi sırasında, faaliyetin yapılacağı yer için göz önünde bulundurulması gereken ölçütler ise aynı yönetmeliğin EK-4/2 kısmında verilmiştir. Bu maddede vurgulanan "duyarlı yöreler" kavramı yönetmeliğin EK-5 kısmında açıklanmış olup, bu duyarlı yöreler ve duyarlı yörelerin hangi mevzuatla koruma altına alındığı tanımlanmıştır. Bu tanımlara göre, ÇED yönetmeliği açısından Kocaeli'nde kurulacak bir bertaraf tesisinin yer seçimi aşamasında dikkate alınması gereken duyarlı yöreler, ilgili mevzuat maddeleri ve söz konusu maddelerde duyarlı yöreler için getirilen yer seçimi sınırlamaları aşağıdaki şekildedir:

1. 9/8/1983 tarihli ve 2873 sayılı Milli Parklar Kanunu'nun 2 nci maddesinde tanımlanan ve bu kanunun 3 üncü maddesi uyarınca belirlenen "Milli Parklar", "Tabiat Parkları", "Tabiat Anıtları" ve "Tabiat Koruma Alanları": Sözü edilen alanların kendisinin kullanımı dışında herhangi bir sınırlandırma yoktur.
2. 1/7/2003 tarihli ve 4915 sayılı Kara Avcılığı Kanunu uyarınca Çevre ve Orman Bakanlığı'nca belirlenen "Yaban Hayatı Koruma Sahaları ve Yaban Hayvanı Yerleştirme Alanları": Sözü edilen alanların kendisinin kullanımı dışında herhangi bir sınırlandırma yoktur.
3. 21/7/1983 tarihli ve 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nun 3 üncü maddesinin birinci fıkrasının "Tanımlar" başlıklı (a) bendinin 1, 2, 3 ve 5 inci alt bentlerinde "Kültür Varlıkları", "Tabiat Varlıkları", "Sit" ve "Koruma Alanı" olarak tanımlanan ve aynı kanun ile 17/6/1987 tarihli ve 3386 sayılı Kanunun (2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nun Bazı Maddelerinin Değiştirilmesi ve Bu Kanuna Bazı Maddelerin Eklenmesi Hakkında

Kanun) ilgili maddeleri uyarınca tespiti ve tescili yapılan alanlar: Sözü edilen alanların kendisinin kullanımı dışında herhangi bir sınırlandırma yoktur.

4. 22/3/1971 tarihli ve 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu kapsamında olan Su Ürünleri İstihsal ve Üreme Sahaları: Sözü edilen alanların kendisinin kullanımı dışında herhangi bir sınırlandırma yoktur.

5. 31/12/2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin 17, 18, 19 ve 20 nci maddelerinde tanımlanan alanlar: Sözü edilen maddelerde tanımlanan " İçme ve Kullanma Suyu Temin Edilen Kıta içi Yüzeysel Sular" için tanımlanmış mutlak, kısa mesafe, orta mesafe ve uzun mesafe koruma alanlarından yalnızca uzun mesafeli koruma alanı içerisine bir bertaraf tesisi yapılması Bakanlık izni almak koşulu ile mümkündür. Buna göre kıta içi yüzeysel suları rezervuarlarının maksimum su seviyesini referans alan 2 km genişliğindeki koruma bölgesine herhangi bir bertaraf tesisi yapılamaz.

6. 2/11/1986 tarihli ve 19269 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nin 49 uncu maddesinde tanımlanan "Hassas Kirlenme Bölgeleri": Sözü edilen alanların kendisinin kullanımı dışında herhangi bir sınırlandırma yoktur.

7. 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 9 uncu maddesi uyarınca Bakanlar Kurulu tarafından "Özel Çevre Koruma Bölgeleri" olarak tespit ve ilan edilen alanlar: Sözü edilen alanların kendisinin kullanımı dışında herhangi bir sınırlandırma yoktur.

8. 31/8/1956 tarihli ve 6831 sayılı Orman Kanunu uyarınca orman alanı sayılan yerler: Sözü edilen alanların kendisinin kullanımı dışında herhangi bir sınırlandırma yoktur.

9. 4/4/1990 tarihli ve 3621 sayılı Kıyı Kanunu gereğince yapı yasağı getirilen alanlar: Söz konusu kanuna göre; kıyı kenar çizgisinden itibaren kara yönünde yatay olarak en az 100 metre genişliğindeki alanı tanımlayan sahil şeridine hiçbir yapının yapılmasına izin verilmemektedir. Bu durumda; deniz, tabii ve suni göl ve akarsularda, kıyı çizgisinden sonraki kara yönünde su hareketlerinin oluşturulduğu kumluk, çakıllık, kayalık, taşlık, sazlık, bataklık ve benzeri alanların doğal sınırı olarak tanımlanan kıyı kenar çizgisinden itibaren oluşturulacak 100 metrelik tampon bölgeye bir bertaraf tesisi yapılamaz.

10. 25/2/1998 tarihli ve 4342 sayılı Mera Kanunu'nda belirtilen alanlar: Sözü edilen alanların kendisinin kullanımı dışında herhangi bir sınırlandırma yoktur.
11. 17/5/2005 tarihli ve 25818 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği'nde belirtilen alanlar: Sulak alan havzasının coğrafi durumu, topoğrafik özellikleri ve arazinin mevcut kullanım durumuna göre; sulak alan ekosistemini korumak maksadı ile ayrılan ve sulak alanın su toplama sınırını geçmemek veya topoğrafik, coğrafik olarak bir sınır değeri bulunmayan düz alanlarda varsa ekolojik etkilenme bölgesinden yoksa sulak alan bölgesinden itibaren azami 2500 metreyi geçmemek üzere ayrılan bölge olarak tanımlanan alana bir bertaraf tesisinin yapılması yasaktır.

Bu mevzuata ilave olarak, çalışmanın kapsamı açısından değerlendirildiğinde büyük önem arz eden 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu da incelenmiş olup tarım alanları gibi alanlar açısından herhangi bir yaklaşma sınırı değerine rastlanmamıştır. Ayrıca 22990 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Karayolları Kenarında Yapılacak ve Açılacak Tesisler Hakkında Yönetmelik" Madde 24/b'de verilen ve tüm karayollarını kapsayan yapı yaklaşma sınırı olan 25 metre değeri tüm karayolları ile altyapı-iletim hatları için tampon değeri olarak kullanılmıştır.

Tüm bu bilgiler bir arada değerlendirilerek, Tablo 2.9'da sunulacak olan yapının 1. Fazında verilen tüm ölçütler için birer tampon bölge değeri belirlenmiştir. Bölgede bulunan kuyu ve su kaynaklarına yaklaşma sınırı için ise İSU ve İSKİ tarafından tanımlanmış olan değerler kullanılmıştır. Buna göre dere dışındaki kaynaklar için uzun mesafe koruma sınırı başlangıç değeri olan 2000 metre tampon büyüklüğü kullanılırken dereler için ise her iki kurum tarafından da aynı kabul edilen 100 metre tampon büyüklüğü kullanılmıştır. Yukarıda sözü edilen tüm mevzuat içerisinde her hangi bir sayısal değer tanımlanmamış olan 1. faza ait diğer ölçütler için ise, 1. fazda kullanılan en düşük tampon değeri olan 100 metre yaklaşma sınırı kullanılacaktır.

Şekil 2.5'deki karar ağacı ve yukarıda sunulan bilgiler bir arada değerlendirilerek, yer seçimi uygulamasında kullanılmak üzere hazırlanan yer seçimi yapısı Tablo 2.9'da sunulmuştur. Bu yapının gerekçeleri Korucu ve Erdağı (2012a, 2012b)'de detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo 2.9. Yer seçimi çalışmalarında kullanılan ölçüt yapısı

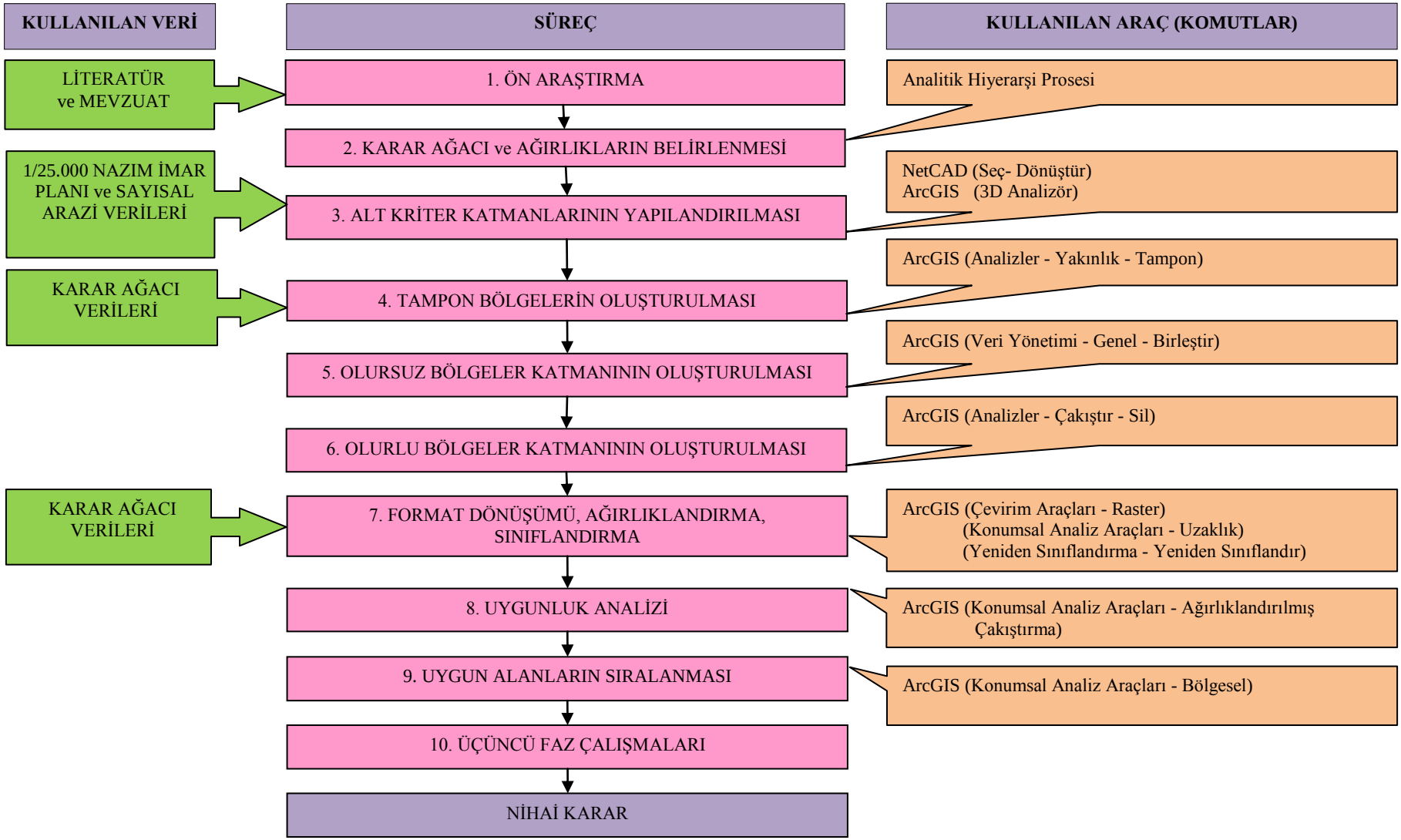
Faz 1: Sınırlandırıcı Faz	Faz 2: Azaltıcı Faz		
Ölçüt Grubu 1: Ekolojik Güvenlik Ölçütleri	Ölçüt Grubu 2: Halk Sağlığı ve Güvenliği Ölçütleri	Ölçüt Grubu 3: Ekonomik Ölçütler	Ölçüt Grubu 4: Sosyal Ölçütler
Yüzeysel Sular, Kıyılar ve Sulak Alanlar [a] (100 ve 2000 m tampon)	Yerleşim Bölgelerinden Uzaklık [a] (250 m tampon)	Rakım	Olumsuz Risk Algısı ve Paydaşların Onayı
Taşkın, Erozyon ve Heyelan Alanları (100 m tampon)	Otoyollardan Uzaklık [a] (25 m tampon)	Topoğrafik Eğim	Kültür Miraslarından Uzaklık
Doğal Kuyu ve İçme Suyu Kaynakları [a] (2000 m tampon)	Havaalanı Mânia Bölgesinden Uzaklık	Atık Taşıma Mesafesi	Bölgesel Gelişim ve İstihdama Katkı
Orman Alanları (100 m tampon)	Altyapı ve İletim Hatlarından Uzaklık	Ana Yollara Yakınlık [a] (25 m tampon)	Turistik Alanlardan Uzaklık
Aktif Volkan, Maden ve Jeolojik Fay Alanları (100 m tampon)	Askeri Alanlardan Uzaklık	Altyapıya Yakınlık [a] (25 m tampon)	Mezarlık ve Kutsal Alanlardan Uzaklık
Alan Kullanımı ve Zirai Uygunluk (100 m tampon)	Dinlenme Alanlarından Uzaklık	Müşterilere Yakınlık (Endüstri Bölgeleri vs.)	Görünürlük ve Manzaraya Etki
Flora &Fauna (100 m tampon)	Özel Alanlardan Uzaklık (Okul, Hastane vs.)		

Faz 3: Düzenleyici Faz	
Ölçüt Grubu 2: Halk Sağlığı ve Güvenliği Ölçütleri	Ölçüt Grubu 3: Ekonomik Ölçütler
Hakim Rüzgar Yönleri	Arazi Mülkiyeti
Vadoz Zon Geçirgenliği	Arazinin Birim Maliyeti
Yer altı Su Tablası Derinliği	Geçirimsiz Tabaka Kalınlığı
Zemin Oturması ve İvmelenme	Üst Toprak Litolojisi

[a] Türkiye Cumhuriyeti mevzuatları tarafından zorunlu tutulan tampon uygulaması.

2.6.2. Yer seçimi modelinin metodolojisi

Çalışmada uygulanan coğrafi bilgi sistemleri destekli yer seçimi modelinin metodolojisini özetleyen şematik bir gösterim Şekil 2.6'da sunulmuştur. Yer seçimi uygulaması için coğrafi bilgi sistemleri yardımı ile yapılacak analizlerde kullanılmış olan tüm harita ve veriler Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin ilgili birimlerimden temin edilmiştir. Temin edilen haritalar Kocaeli iline ait 1/25.000 nazım imar planlarının sayısal haritalarıdır. Bu haritalar Tablo 2.9'da verilen ölçüt harita katmanlarının ayrı ayrı oluşturulması için ön işlemlere tutularak sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.6. Coğrafi bilgi sistemleri destekli yer seçimi modeli süreçlerinin şematik gösterimi

Yer seçimi uygulaması sırasında yapılan tüm işlemler İZAYDAŞ'a ait olan lisanslı Arc-GIS ve NETCAD yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Yer seçimi analizi için yürütülen süreç ve analiz çalışmalarında kullanılmış olan ölçütlerin nazım imar planlarındaki karşılıkları aşağıda detaylandırılmıştır.

2.6.2.1. Birinci yer seçimi fazı (sınırlandırıcı faz)

Yer seçimi aşamasının birinci fazı olan bu sınırlandırıcı fazda yalnızca birinci ölçüt grubu olan ekolojik güvenlik ölçütleri kullanılmıştır. Sözü edilen bu ölçütlerin ifade ettiği alanlar; her bir ölçüt için hâlihazırda kullanımda olan alanlar ve ilgili tampon bölgelerin birleştirilmesinden sonra elde edilen alanlardır. Atık işleme ve bertaraf tesisi yapımı için "Olursuz Bölgeler" olarak ifade edeceğimiz bu alanlar ilerleyen aşamalarda tüm Kocaeli'yi gösteren "Ana Plan"dan çıkarılacaktır. Bu yolla, bertaraf tesisi için yer seçiminde kullanılacak olan "Olurlu Bölgeler" planı elde edilecektir. Birinci fazda kullanılan alt ölçütlerin açıklamaları şu şekildedir:

Birinci Ölçüt Grubu (Ekolojik Güvenlik Ölçütleri):

- Yüzeysel Sular, Kıyılar ve Sulak Alanlar (2000 ve 100 metre tampon bölge): Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan deniz, göl, sulak alan, ekolojik etki bölgeleri ve İSKİ ile DSİ kurumları tarafından denetlenen dere, kanal ve isale hatları.

a) 2000 metre tampon bölge: deniz, göl, sulak alan ve ekolojik etki bölgeleri.

b) 100 metre tampon bölge: dere, kanal ve isale hatları.

- Taşkın, Erozyon ve Heyelan Riskli Alanlar (100 metre tampon bölge): MTA tarafından saptanmış olan, Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan erozyon bölgeleri.
- İçme Suyu Kaynakları ve Kuyular (2000 metre tampon bölge): Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan, İSU, İSKİ ve DSİ kurumları tarafından denetlenen baraj göl-göletleri ve göl-gölet sulama alanları.
- Orman Arazileri (100 metre tampon bölge): Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan kamuya ait ve özel orman arazilerinin tamamı.
- Aktif Volkan, Maden ve Jeolojik Fay Bölgeleri (100 metre tampon bölge): MTA tarafından saptanmış olan, Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan aktif volkan, maden ve jeolojik fay bölgeleri.
- Alan Kullanımı ve Zirai Açıdan Uygunsuz Bölgeler (100 metre tampon bölge): Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan sit alanları ve tarım koruma alanları.

- Koruma Altındaki Flora ve Faunalar (100 metre tampon bölge): Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan mevcut ağaçlık alanlar ile tabiat parkları (tabiat parkları sit alanları içerisinde olduğundan burada yeniden ele alınmamıştır).

Birinci yer seçimi fazında yapılacak olan iş; halen farklı amaçlarla kullanılmakta olan ve kullanımı planlanan alanlar ile tampon bölgelerin ana plandan çıkarılması işlemidir. Ana plandan çıkarılacak olan bu alanlar tesislerin yapımı için olursuz bölgeler olarak ifade edilecektir. Ana plandan çıkarma işlemi sonrasında kalacak olan alanların tamamı ise tesislerin yapılması olanaklı olan olurlu bölgelerdir.

Sözü edilen olurlu bölgelerin bulunması için birinci fazda yapılan işleri şu şekilde özetlemek mümkündür: Tablo 2.9'da birinci faz olarak verilen ölçütlerin ve ilgili tampon bölgelerin, 1/25.000 plandan NetCAD yardımıyla ayrı ayrı katmanlar şeklinde oluşturulması sağlanmıştır. Bu katmanlara ilave olarak; ikinci fazda verilen ölçütlerden hâlihazırda kullanılmakta olan, kullanılması planlanan ve/veya kullanılması yasak olan diğer alanları temsil edenler için de ilgili katmanlar ayrı olarak oluşturulmuştur. Hâlihazırda kullanılan ve farklı amaçlarla kullanımı planlan bölgeleri ifade eden katmanlardan yerleşim bölgeleri katmanı 250 metre, altyapı ve iletim katmanları da 25 metre tampon değerleri ile genişletilerek mevzuatla uyum sağlanmıştır. Ayrıca bölgede bulunan havaalanının mânia bölgesi de bu olursuz bölgelere ilave edilmiştir. Oluşturan tüm katmanlar CBS yardımıyla birleştirilip Kocaeli iline ait olursuz bölgeler katmanı elde edilmiştir. Ana planın bu olursuz bölgeler katmanı ile kesiştiği noktalar silinerek (Olurlu Bölgeler = Ana Plan – Olursuz Bölgeler) Kocaeli ili için olurlu bölgeler katmanı oluşturulmuştur.

2.6.2.2. İkinci yer seçimi fazı (azaltıcı faz)

Birinci yer seçimi fazı sonucunda elde edilen olurlu bölgeler katmanında bulunan tüm alanlar tesisler için uygun yerler olup bu alanlardan en uygun olanının seçilmesi işlemi ikinci ve üçüncü yer seçimi fazında gerçekleştirilecektir. Bu fazlarda kullanılacak olan ölçütler; halk sağlığı ve güvenliği ölçütleri, ekonomik ölçütler ve sosyal ölçütler olmak üzere 3 alt gruba ayrılmıştır. Halk sağlığı ve güvenliği ölçütleri ile ekonomik ölçütlerden bir kısmı ikinci faz olan azaltıcı fazda kullanılmayacak olup bu ölçütler azaltıcı fazın ardından gelen son faz olan düzenleyici fazda kullanılacaktır. Bunun nedeni; sözü edilen ölçütlerin tüm Kocaeli için dağılımını

tespit etmenin çok zor olması olup bu ölçütlerin olurlu bölge alternatifleri azaltıldıktan sonra nihai karar için kullanılmasının daha akılcı olacağıdır. İkinci faz olan azaltıcı fazda kullanılacak olan ikinci, üçüncü ve dördüncü ölçüt gruplarına ait alt ölçütlerin açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

İkinci Ölçüt Grubu (Halk Sağlığı ve Güvenliği Ölçütleri): İkinci faz ikinci ölçüt grubu için kullanılan alt ölçütler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

- Yerleşim Bölgelerinden Uzaklık (250 metre tampon bölge): Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan büyük kamusal alanlar, kentsel çalışma alanları, konut dışı çalışma alanları, tali iş merkezleri, merkezi iş alanları, mevcut kentsel ve kırsal konut alanları ile gelişimi planlanan bağ-bahçe, çok seyrek, seyrek, orta ve sık yoğunluklu konut alanlarından uzaklık.
- Otoyollardan Uzaklık (25 metre tampon bölge): Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan il yolu, devlet yolu ve ana arterlerden uzaklık.
- Havaalanı Mânia Bölgesinden Uzaklık: Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan havalimanı mânia bölgesinden uzaklık.
- Altyapı ve İletim Hatlarından Uzaklık: Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan tüm demiryolu, iskele, liman, teknik altyapı ile BOTAŞ ve NATO petrol boru hatlarından uzaklık.
- Askeri Bölgelerden Uzaklık: Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan tüm askeri bölgeler ve yapı yasaklı askeri bölgelerden uzaklık.
- Dinlenme Alanlarından Uzaklık: Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan tüm bölge parkı, fuar-festival alanları, kentsel yeşil alanlar ve rekreasyon alanlarından uzaklık.
- Hastane ve Okul gibi Özel Alanlardan Uzaklık: Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan hipodrom, kentsel spor tesisi, sağlık tesisi ve öğretim yapıları gibi özel alanlardan uzaklık.

Üçüncü Ölçüt Grubu (Ekonomik Ölçütler): İkinci faz üçüncü ölçüt grubu için kullanılan alt ölçütler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

- Arazi Yüksekliği (Rakım): Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından oluşturulmuş olan ".ncz" dosya formatındaki üçgen sayısal arazi modelinin ".dwg" dosya formatına dönüştürülüp "shape" dosyası olarak kaydedildikten sonra "TIN"

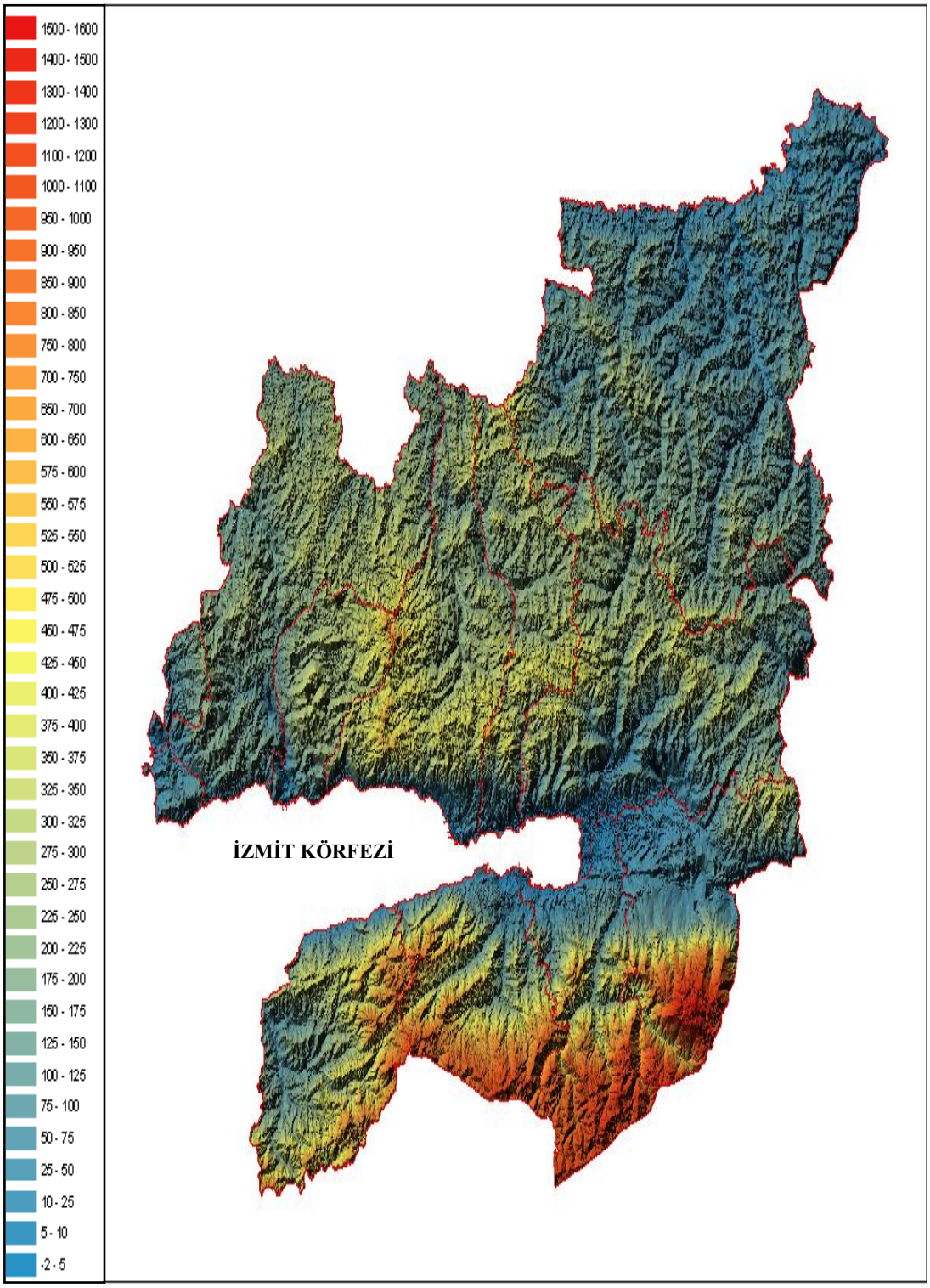
dosyası haline getirilmesiyle elde edilen planda (Şekil 2.7) 500 metreden yüksek bölgelerde bulunmama koşuluna uygunluk (en düşük yükseklik 9 ağırlıklı gibi).

- Topoğrafik Eğim: Kocaeli iline ait TIN verisinden yararlanılarak oluşturulan Kocaeli ilindeki eğimleri gösteren planda % 20'den (Akbari ve diğ., 2008) büyük eğim bölgelerinde bulunmama koşuluna uygunluk (en düşük eğim 9 ağırlıklı gibi).
- Atık Taşıma Mesafesi: Kocaeli ili için nüfusun yoğun olduğu bölgelere yakınlık.
- Ana Yollara Yakınlık (25 metre tampon bölge): Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan ilçe ve köy yollarına yakınlık.
- Gerekli Altyapıya Yakınlık (25 metre tampon bölge): Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan tüm demiryolu, iskele, liman, teknik altyapı ile BOTAŞ ve NATO petrol boru hatlarına yakınlık.
- Müşterilere Yakınlık: Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan ve atık bertarafı sonucu kalan değerlendirilebilir maddeler için müşteri ve/veya gerekli maddeler için tedarikçi olabilecek depolama, sanayi, küçük sanayi, organize sanayi, serbest bölge, teknoloji geliştirme bölgeleri, arıtma tesisi ve çöp toplama merkezlerine yakınlık.

Dördüncü Ölçüt Grubu (Sosyal Ölçütler): İkinci faz üçüncü ölçüt grubu için kullanılan alt ölçütler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

- Tesisler Hakkındaki Risk Algısı ve Paydaşların Onayı: Tüm Kocaeli için nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde algının da büyük olacağı varsayımıyla yoğun olan bölgelerden uzak olma durumu (gerçek algı değerleri, Kent Konseyi tarafından taahhüt edilen anket çalışmaları gerçekleştirilmediği için saptanamamıştır).
- Kültür Alanlarından Uzaklık: Kocaeli'nde bulunan tüm sosyal donatılardan uzaklık.
- Bölgesel Gelişime Katkı ve İş İmkânları: Kocaeli'nde bulunan ve istihdam sağladığı varsayılan endüstriyel bölgelerin az olduğu bölgelere yakınlık.
- Turizm Bölgelerinden Uzaklık: Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan günübirlik turistik alanlar, turizm bölgeleri ve turizm merkezlerinden uzaklık.
- Mezarlık ve Kutsal Yapılardan Uzaklık: Kocaeli il sınırları içerisinde bulunan tüm mezarlık ve dini tesislerden uzaklık.
- Görünürlük: Yerleşim bölgesi olarak işaretlenmiş tüm alanlar bir arada dikkate alındığında; yerleşim bölgesinin ortasında ve 30 metre yüksekte bulunan bir insanın

kendi ekseni etrafında 360 derece dönerek dikeyde +45 ve -45 derece açıları arasında 3 km uzaklığa kadar yapacağı bir tarama esnasında 5 metre yükseklikteki bir çöp yığınının görünmediği noktalar (hiç görünmeyenler 9 ağırlığa sahiptir gibi).



Şekil 2.7. Kocaeli iline ait yükseklik dağılımını gösteren rakım planı (metre)

2.6.2.3. Üçüncü yer seçimi fazı (düzenleyici faz)

Yer seçimi çalışmalarının ikinci fazı olan azaltıcı fazda yer alternatiflerinin olabildiğince azaltılmasının ardından bertaraf tesislerinin yerleri için verilecek nihai karar üçüncü ve son faz olan düzenleyici fazda verilecektir. Düzenleyici fazda kullanılacak olan ölçütler halk sağlığı ve güvenliği ölçütleri ile ekonomik ölçütlere ait alt ölçütlerdir. Bu ölçütlerin bir önceki fazda kullanılmamasının nedeni; ölçütlerin tüm Kocaeli için belirlenmesinin oldukça zahmetli ve pahalı çalışmalar gerektirmesidir. Bunun yerine bu ölçütler üçüncü fazda; sadece ikinci fazda büyük oranda azaltılan ve birkaç taneye düşmesi beklenilen yer olasılıkları için belirlenerek kolaylık sağlanacaktır. Sözü edilen bu işlemler kapsamlı bir araştırma süreci ve önemli bir maliyet gerektirdiğinden bu tez çalışmasının kapsamı dışında bırakılarak ilerleyen zamanlarda gerçekleştirilecektir. Bu fazda kullanılacak olan alt ölçütlerin açıklamaları ise aşağıda sunulmuştur.

İkinci Ölçüt Grubu (Halk Sağlığı ve Güvenliği Ölçütleri): Üçüncü faz ikinci ölçüt grubu için kullanılan alt ölçütler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

- Hakim Rüzgar Yönleri: Sadece kalan olası yer adayları için; Kocaeli'nde bulunan meteoroloji istasyonlarından (Merkez, Gölcük, Gebze ve İzaydaş meteoroloji istasyonları) uygun olanına ait rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri ile yapılacak olan bir değerlendirme.
- Doymamış Zonun Geçirgenliği: Sadece kalan olası yer adayları için yapılacak olan sondaj çalışmalarından elde edilecek doymamış zona ait geçirgenlik verileri.
- Yeraltı Su Tablasının Derinliği: Sadece kalan olası yer adayları için yapılacak olan sondaj çalışmalarından elde edilecek su tablası derinliklerini gösteren veriler.
- Zemin Oturması ve İvmelenme: Sadece kalan olası yer adayları için yapılacak olan sondaj çalışmalarından elde edilecek zemin oturma ve deprem ivmelenme potansiyeli verileri.

Üçüncü Ölçüt Grubu (Ekonomik Ölçütler): Üçüncü faz üçüncü ölçüt grubu için kullanılan alt ölçütler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

- Arazinin Mülkiyeti: Sadece kalan olası yer adayları için; söz konusu arazilerin özel mülkiyet ya da kamuya ait olduğunu gösteren veriler.

- Arazinin Birim Maliyeti: Sadece kalan olası yer adayları için; söz konusu arazilerin rayiç bedellerini gösteren veriler.
- Geçirimsiz Tabakanın Kalınlığı: Sadece kalan olası yer adayları için yapılacak olan sondaj çalışmalarından elde edilecek geçirimsiz tabaka kalınlığı verileri.
- Üst Toprağın Litolojisi: Sadece kalan olası yer adayları için yapılacak olan sondaj çalışmalarından elde edilecek üst toprak litolojisini gösteren veriler.

2.6.3. Coğrafi bilgi sistemleri destekli yer seçimi modeli için dışsallıklar

Atık işleme ve bertarafı için kullanılan her alternatif yöntemin çeşitli form ve düzeylerde dışsallıkları mevcuttur. Bu dışsallıklar; atığın bileşimi, arıtma prosesinin türü, tesisin yeri, teknolojisi, yaşı ve yasal sınırlamalar gibi değişkenlerden etkilenirler. Genel olarak tesislerin işletimi ve atığın tesislere taşınmasından kaynaklanan bu maliyet türünü ortaya çıkaran ana etkiler; 1- havaya, toprağa ve suya giden emisyon salınımları ve 2- hoşnutsuzluk olmak üzere iki sınıfta incelenebilir (Eshet ve diğ., 2007a).

Bazı temel farklılıklar göstermekle birlikte yakma ve depolama işlemleri için oluşan hoşnutsuzluktan kaynaklı dışsal maliyetlerin yapısı büyük oranda benzerdir (Korucu ve diğ., 2008). Bu maliyetin derecesi genel olarak koku, toz, serpinti, gürültü, trafik ve görünürlük gibi etmenlerden etkilenir (Eshet ve diğ., 2007a). Sözü edilen hoşnutsuzluk ve buna bağlı maliyetlerin durumu temel olarak tesisle ilgili kamu oyunda oluşan algının seviyesine bağlı olarak değişir ve bu algı tesisin görünür olmasıyla yakından ilişkilidir (Eshet ve diğ., 2007b; Jamasb ve Nepal, 2010). Buna göre, bu algı ve bu algıya neden olan görünürlük gibi etmenler tesisin ileride neden olacağı dışsal maliyet seviyelerinin önemli belirleyicileridir. Dolayısıyla, oluşması muhtemel dışsallıkların hoşnutsuzluk ile ilgili kısmının doğrudan tesisin yer seçimi ile ilgili olduğu söylenebilir. Bu anlamda; tesisin kurulmasından sonra olumsuz algıya bağlı olarak oluşan baskıları aşmak için tazminat ödemek (Chiueh ve diğ., 2008) gibi yolları tercih etmektense, ortaya çıkan dışsallıkların henüz yer seçimi aşamasında iken engellenmesinin yolları aranmalıdır.

Bu tez çalışmasında, dışsallıkların yer seçimi kararları üzerine etkilerinin incelenmesi için bir etkensel deney tasarımı uygulaması gerçekleştirilecektir. Bu amaçla; Tablo 2.9'da sunulan yapının "Faz 2" kısmı için; her bir ana ölçüt grubu

içerisindeki en büyük ağırlık değerine sahip ölçütler (bu değerler, bulgular kısmında verilecektir) "Ana Etkenler" olarak belirlenmiştir. Bu ölçütler; "Yerleşim Bölgelerinden Uzaklık", "Müşterilere Yakınlık" ve "Risk Algısı ve Paydaşların Onayı" şeklindedir. Bunlardan risk algısı ölçütü, yer seçimi için dışsal maliyetlere neden olabilecek bir ölçüttür. Ancak bu ölçütün haritalandırılması yerleşimcilerin öznel durumları tarafından belirleneceğinden (Lober, 1995) zamanla ve yönetsel koşullardaki değişimlerle önemli farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle deney tasarımında kullanılmak üzere bir başka dışsal etken olarak değerlendirilebilecek olan "Görünürlük" ölçütü de yapıya ilave edilmiştir. Bu durumda tasarımda kullanılacak etken sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Tasarım; bu etkenlerin coğrafi bilgi sistemi ile yer seçimi uygulamasında kullanılması (+) ya da kullanılmaması (-) gibi 2 farklı seviyede oluşturulduğunda ortaya 4^2 adet deney içeren bir durum çıkmaktadır. Bu deney tasarımında ortaya çıkan deney yapıları Tablo 2.10'da sunulmuştur. Bu 16 setlik tasarım biçimi, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sunulacak olan yöntem seçimi bulguları (alan büyüklüğü gibi) ve çalışmada kullanılan kriter ağırlıklarının farklı biçimleri gibi bir dizi senaryo için ayrı ayrı uygulanacaktır.

Tablo 2.10. Çalışmada kullanılan etkensel deney tasarımı yapısı

Yapı	Ölçütler			
	Yerleşim Bölgelerinden Uzaklık (O)	Müşterilere Yakınlık (N)	Risk Algısı ve Paydaşların Onayı (L)	Görünürlük (H)
A	+	+	+	+
B	-	+	+	+
C	+	-	+	+
D	-	-	+	+
E	+	+	-	+
F	-	+	-	+
G	+	-	-	+
H	-	-	-	+
I	+	+	+	-
J	-	+	+	-
K	+	-	+	-
L	-	-	+	-
M	+	+	-	-
N	-	+	-	-
O	+	-	-	-
P	-	-	-	-

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Karar Verme Ortaklığının Yöntem Seçimi Önceliklerine İlişkin Bulgular

Karar verme ortaklığının yöntem seçimi konusundaki eğilimlerini belirlemek için kullanılan AHP ve ANP uygulamalarının alternatifler açısından verdiği sonuçlar Tablo 3.1'de sunulmuştur. Tablo 3.1'den de anlaşılacağı üzere; "Rastsal Değerlendirme" safhasında AHP ve ANP metotlarının bir karşılaştırması yapıldığında, katılımcıların alternatif senaryolar açısından yaptığı karşılaştırmalar önemli bir fark göstermemiştir. Her iki modelde de alternatif senaryolar arasından "Kompostlaştırma, Yakma ve Düzenli Depolama" yöntemlerinin bir arada kullanılmasını sağlayacak olan senaryo en uygun alternatif senaryo olarak belirlenmiştir. Bu durumda Kocaeli ilinin evsel nitelikli atık bertarafı ile ilgili paydaşlarına göre, Şekil 2.2'de sunulmuş olan karar yapısı temel alındığında Kocaeli için uygulanabilecek en uygun bertaraf senaryosunun atıkların gerekli kısımlarının kaynağında ayrıştırılarak geri dönüştürülmesi, biyobozunabilir atıkların kompostlaştırılması, biyobozunamayan kısmın yakılması ve her iki prosesten geriye kalan diğer atıkların düzenli depolama sahalarında depolanması olduğu söylenebilir. Sıralamaya göre bu senaryonun ardından gelen 2. sıradaki alternatif senaryo her iki uygulamada da "Kompostlaştırma ve Düzenli Depolama", 3. sıradaki alternatif senaryo her iki uygulamada da "Yakma ve Düzenli Depolama" ve en uygun olmayan senaryo her iki uygulamada da "Düzenli Depolama" senaryosu olarak belirlenmiştir. Ayrıca her iki uygulamanın alternatif senaryoların öncelik değerlerine ilişkin verdiği sayısal sonuçlar da birbirine oldukça yakındır. Bu benzerliklerden ötürü; "Tüm Katılımcıların Bir Arada Değerlendirilmesi" safhasında AHP yönteminin kullanılmasına gerek duyulmamış ve sadece, tüm alt ölçütler arasında bir ilişkiyi olanaklı kılan ANP yöntemi kullanılmıştır. Tablo 3.1'den de anlaşılacağı üzere katılımcılar açısından yapılan bu değerlendirmede de alternatiflerin sıralamasında bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

Tablo 3.1. AHP ve ANP modelleri için alternatiflerin öncelik değeri ve öncelik sıralamaları

Alternatif	Rastsal Değerlendirme				Tüm Katılımcılar	
	AHP		ANP		ANP	
	Öncelik Değeri	Öncelik Sıralaması	Öncelik Değeri	Öncelik Sıralaması	Öncelik Değeri	Öncelik Sıralaması
Düzenli Depolama	0,0665	4	0,0694	4	0,0768	4
Kompostlaştırma ve Düzenli Depolama	0,1651	3	0,1796	3	0,1608	3
Kompostlaştırma, Yakma ve Düzenli Depolama	0,4728	1	0,4478	1	0,4208	1
Yakma ve Düzenli Depolama	0,2956	2	0,3033	2	0,3416	2

Yukarıda sözü edilen değerlendirmelere ölçüt ve alt ölçüt grupları açısından bakıldığında ise bazı farklılıklar göze çarpmaktadır. Ölçüt ve alt ölçüt sıralamaları için elde edilen sonuçlar Tablo 3.2'de sunulmuştur.

Tablo 3.2'den de görüldüğü üzere "Rastsal Değerlendirme" aşamasının AHP yöntemi ile yapılan değerlendirme kısmında en önemli ölçüt grubu "Teknolojik Faktörler" olarak belirlenirken ANP yöntemi ile yapılan değerlendirme de bu ölçüt grubu "Çevresel Faktörler" olarak belirlenmiştir. Bu iki yöntemin tek ortak sonucu ise "Ekonomik Faktörler" grubunun en önceliksiz alt ölçüt grubu olmasıdır. Yine "Tüm Katılımcıların Bir Arada Değerlendirilmesi" aşaması için kullanılan ANP yöntemiyle, rastsal değerlendirme için kullanılan ANP yönteminin sonuçları benzerlik göstermekte olup sadece bazı alt ölçüt sıralamalarında sapmalar mevcuttur.

Çalışmanın bu aşamasında sonuçları sunulan çok ölçütlü karar verme mekanizmasının, bu haliyle bir yöntem seçimi kararında tek başına kullanılması uygun değildir. Bunun yerine bu mekanizmadan elde edilen sonuçların, diğer karar mekanizmalarına destek amacıyla kullanılması daha akılcı olacaktır. Bu çalışmada da sözü edilen çok ölçütlü karar verme mekanizmasının sonuçları, gerekmesi halinde yöntem seçimi maliyet optimizasyon modeline destek amacıyla kullanılacaktır.

Tablo 3.2. Her iki model için faktör ve alt faktörlerin amaç üzerindeki etki ve öncelik sıralaması sonuçları

	Rastsal Değerlendirme								Tüm Katılımcılar			
	AHP Yöntemi				ANP Yöntemi				ANP Yöntemi			
	Amaç Üzerine Etki	Gruplar Arası Sıralama	Grup İçi Sıralama	Tüm Yapı İçi Sıralama	Amaç Üzerine Etki	Gruplar Arası Sıralama	Grup İçi Sıralama	Tüm Yapı İçi Sıralama	Amaç Üzerine Etki	Gruplar Arası Sıralama	Grup İçi Sıralama	Tüm Yapı İçi Sıralama
EKONOMİK ÖLÇÜTLER	0,0698	4			0,0858	4			0,0974	4		
Alternatifin İlk Kurulum ve Ön Maliyetleri	0,0087		5	22	0,0189		3	18	0,0207		2	18
Alternatifin İşletim ve Bakım Maliyeti	0,0203		1	14	0,0271		1	11	0,0293		1	15
Alternatifin Kullanım Sonrası Bakım ve Rehabilitasyon Maliyetleri	0,0115		4	21	0,0197		2	17	0,0191		3	20
Alternatifin Birim Atık Başına Net Maliyeti	0,0136		3	18	0,0105		4	21	0,0142		4	21
Alternatifin Birim Atık Başına Net Kazancı ve Ürün Pazarlama Alternatifleri	0,0158		2	16	0,0097		5	22	0,0140		5	22
TEKNOLOJİK ÖLÇÜTLER	0,6010	1			0,2312	2			0,2544	2		
Alternatifin Çevresel Açıdan Güvenilirliği	0,2422		1	1	0,0820		1	6	0,0858		1	3
Alternatifin Enerji ve Doğal Kaynak Gereksinimi	0,0699		5	5	0,0337		3	9	0,0351		3	9
Alternatifin Alan Gereksinimi	0,0400		6	11	0,0284		4	10	0,0308		6	14
Alternatifin Uygulanabilirliği ve Sahip Olunan Deneyim	0,0789		3	3	0,0254		6	13	0,0336		4	10
Alternatifin Enerji ve Madde Geri Kazanım Potansiyeli	0,0955		2	2	0,0362		2	8	0,0364		2	8
Alternatifin Güncelliği ve Hacim Azaltma Etkisi	0,0744		4	4	0,0255		5	12	0,0326		5	11
ÇEVRESEL ÖLÇÜTLER	0,1599	3			0,5811	1			0,5135	1		
Alternatifin Su Kaynaklarına Olumsuz Etkisi	0,0239		4	13	0,0977		3	3	0,0839		5	6
Alternatifin Sera Etkisine Katkısı ve Hava Kirliliğine Etkisi	0,0415		2	10	0,1022		2	2	0,0894		2	2
Alternatifin İnsan Sağlığı Açısından Güvenilirliği	0,0432		1	9	0,1360		1	1	0,1186		1	1
Alternatifin Ekolojik Güvenlik Açısından Uygunluğu	0,0130		5	19	0,0961		5	5	0,0847		3	4
Alternatifin Toprak ve Yeraltı Suyu Güvenliği Açısından Uygunluğu	0,0258		3	12	0,0962		4	4	0,0846		4	5
Alternatifin Çevresel Yasal Sınırlamaları Sağlayabilme Kapasitesi	0,0124		6	20	0,0529		6	7	0,0523		6	7
SOSYAL ÖLÇÜTLER	0,1693	2			0,1019	3			0,1348	3		
Alternatifin İş Olanakları ve Bölgesel Gelişime Katkısı	0,0173		4	15	0,0163		4	19	0,0209		4	17
Alternatifin Politik Destek ve Sürece Katılım Olanakları	0,0150		5	17	0,0139		5	20	0,0204		5	19
Alternatifin Halk Üzerindeki Olumsuz Risk Algısı Seviyesi	0,0455		2	7	0,0253		1	14	0,0336		1	12
Alternatifin Sosyal Açıdan Kabul Edilebilirliği	0,0460		1	6	0,0245		2	15	0,0327		2	13
Alternatifin Sosyal Adalet ve Sosyal Refahın Sağlanmasındaki Etkinliği	0,0455		3	8	0,0219		3	16	0,0272		3	16

Söz gelimi, maliyet optimizasyon modelinde elde edilecek en uygun senaryo alternatifinin karar verme ortaklığı tarafından belirlenen en uygun senaryo alternatifi olan "Kompostlaştırma, Yakma ve Düzenli Depolama" seçeneğine oldukça uzak bir senaryo olan "Yalnızca Düzenli Depolama" senaryosu olduğunu varsayalım. Böyle bir durumda karar verme ortaklığının eğilimlerinin de dikkate alınması tercih edilecekse bu iki farklı şekilde yapılabilir. İlk olarak; optimizasyon modelinden, karar vericiler tarafından hiç önemli bulunmayan bazı parametrelerin çıkarılması ile modele yeni bir yapı kazandırılabilir. Tablo 3.2'ye göre böyle bir durum için çalışmamızda ilk olarak çıkarılabilecek ölçütler en önemsiz ölçüt grubu olarak belirlenen "Ekonomik Ölçütler" grubunun alt ölçütleridir. ANP yöntemine göre söz konusu grubun en önemsiz ölçütü "Alternatifin Birim Atık Başına Net Kazancı ve Ürün Pazarlama Alternatifleri" şeklindedir. Buna göre, söz konusu yapısal değişikliğe matematik modeldeki, alternatiflerin neden olduğu ürün satışı gelirlerinin çıkarılması ile başlanılabilir. Bu yolla yapılabilecek bir yeniden yapılandırmanın ihmal düzeyini arttırmasından ötürü gerçek sonuçtan uzaklaşmaya neden olabileceği de dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Modelin yapısında yapılabilecek değişikler için kullanılabilecek bir diğer yol ise modelin belirsizlikleri bölümünde ifade edilen belirsizliklerin gerçek değerlere yakınsanması için gerekli detaylandırmaların yapılmasıdır. Bu işin ilk olarak hangi belirsizlik için yapılacağı da karar verme ortaklığının eğilimlerine göre belirlenebilir. Buna göre bu çalışmada böyle bir durumla karşılaşıldığında detaylandırılması gereken ilk belirsizlik katılımcıların ANP yöntemine göre en önemli bulduğu ölçüt grubu olan "Çevresel Ölçütler" grubunun alt belirsizlikleridir. Bu ölçütlerin ifade ettiği belirsizliklerin bizim matematik modelimizdeki karşılığı ise dışsal maliyetlerdir. Dolayısıyla bu türden bir yapılandırma işine ilk olarak dışsal maliyetlerin Kocaeli için detaylı olarak belirlenmesi ve modele o şekilde girilmesi ile başlanılmalıdır. Belirsizlikler üzerinde yapılabilecek bu türden detaylandırmalar en doğru alternatife daha çok yaklaşmayı da sağlayacaktır.

Sözü edilen her iki müdahale biçimi için de AHP yerine ANP bulgularının kullanımı, ANP modelinde tüm iç bağımlılıkların bir arada değerlendiriliyor olmasından ötürü daha uygundur.

3.2. Yöntem Seçimi Maliyet Optimizasyon Modeline İlişkin Bulgular

Detayları Bölüm 2.4'de sunulan maliyet optimizasyon modelinin kullanılması için gereken tüm parametre ve değişkenler, GNU Linear Programming Kit (GLPK) Lab editöründe düzenlenerek bir karma tamsayılı lineer optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model bütün halinde çalıştırıldığında oldukça büyük bir yapıya dönüşmekte ve yapılan deneyler için geçen süreler; varyasyonların yapısı ile kısıt ve parametrelerdeki değişikliklere göre 5 dakika ile 6 saat arasında değişmektedir. Maliyet optimizasyon modelinin yalnızca içsel maliyetler dikkate alınarak çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar (Yöntem_Karar_1) Tablo 3.3'de sunulmuştur.

Tablo 3.3'den de görüleceği üzere, farklı taşıma mesafeleri için elde edilen toplam maliyetlerin en düşüğü 60 km sınırı için elde edilmiş ve bu sınır ne kadar artarsa artsın (70 km, 80 km vs.) sonuç değişmemiştir. Buna göre; yalnızca içsel maliyetler dikkate alındığında bölge için en uygun seçeneğin 1 adet yakma tesisi ve 2 adet depolama alanı olduğu açıktır. Bu karar, karar verme ortaklığının yöntem alternatifleri açısından 2. önceliği olan alternatif ile de kompostlaştırma seçeneği dışında uyumludur. Bu durum modele geriye dönük herhangi bir müdahalede bulunmanın şimdilik gereksiz olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Bu aşamada elde edilen bulgulara göre "Yöntem_Karar_1" için; Kocaeli için 2016 yılı başında faaliyete geçirilmesi gereken tesislerin sırasıyla (1) İzmit bölgesinde bir yakma tesisi (1.800 ton/gün kapasiteli, en az 60 dönüm kullanılabilir alan), (2) İzmit bölgesinde 5.134.368 ton atık depolanabilecek bir deponi sahası (küçük kapasite, yaklaşık 2.000 dönüm kullanılabilir alan), (3) Gebze bölgesinde 2.261.551 ton atık depolanabilecek bir deponi sahası (küçük kapasite, yaklaşık 1.000 dönüm kullanılabilir alan) ve (4) Başiskele bölgesinde bir transfer istasyonu olduğu ortaya çıkmıştır. Model çalışmalarında hipotetik olarak kullanılan İzmit transfer istasyonunun yapımına ise yakma tesisinden ötürü gerek olmayacağı görülmüştür. Ayrıca modele depolama alanları için girilmiş olan 4.000 dönüm ve 8.000 dönüm kapasitelerin mutlak suretle yapılması gereken kapasiteler olmadığı da açıktır.

Elde edilen model çıktılarına göre, sözü edilen tesislere proje süresince gelecek atık miktarlarına ilişkin detaylar EK F'de sunulmuştur. EK F'de sunulan tablolardan da

anlaşılacağı üzere kurulması planlanan deponi sahalarından Gebze deponi sahası için bazı yıllarda evsel atıkların yakma tesisine gitmeden doğrudan bu alana geldiği görülmektedir. 2026 yılında başlayan bu sapmanın nedeni İzmit yakma tesisi kapasitesinin bu yıldan itibaren teknolojik olarak izin verilebilen en üst seviyede kullanılmaya başlamış olmasıdır.

Tablo 3.3. Dışsallıkların dahil edilmediği yapı için optimizasyon modelinden elde edilen sonuçlar

Taşıma Mesafesi Kısıtı (km)	Toplam Proje Maliyeti (Milyon Euro)	Yapılması Gereken Tesisler ve İlgili İstasyon Bölgeleri [d]			
		Ayırıcı (300 ton/gün)	Kompostlaştırma (700 ton/gün)	İnsineratör (1800 ton/gün)	Deponi (Küçük)
30 [a]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
30 [b]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
30 [c]	25.308	-	F1-F3-F4-F6	-	F1-F2-F3-F4-F5-F6
40 [a]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
40 [b]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
40 [c]	2.161	-	F4-F6	F2	F1-F2-F4-F6
50 [a]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
50 [b]	1.959	-	F3 F5	F2	F3-F5
50 [c]	1.479	-	F1-F3-F5	-	F1-F2-F3-F4-F5
60 [a]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
60 [b]	764	-	-	F3	F1-F3
60 [c]	764	-	-	F3	F1-F3
70 [a]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
70 [b]	764	-	-	F3	F1-F3
70 [c]	764	-	-	F3	F1-F3
80 [a]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
80 [b]	764	-	-	F3	F1-F3
80 [c]	764	-	-	F3	F1-F3
110 [a]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
110 [b]	764	-	-	F3	F1-F3
110 [c]	764	-	-	F3	F1-F3
Sınırsız [a]	-	Proses sayıları bakımından tam sayılı bir çözüm mevcut değil.			
Sınırsız [b]	764	-	-	F3	F1-F3
Sınırsız [c]	764	-	-	F3	F1-F3

a : Depolama alanı sayısı 1 ile sınırlandırılmıştır.
b : Depolama alanı sayısı 2 ile sınırlandırılmıştır.
c : Depolama alanı sayısı sınırlandırılmamıştır.
d : F1 (Gebze), F2 (Körfez), F3 (İzmit), F4 (Kandıra), F5 (Başiskele), F6(Karamürsel).

3.3. Dışsallıkların Maliyet Optimizasyon Modeli Üzerine Etkileri

Bölüm 2.4.5'de belirtilmiş olan her bir dışsallık senaryosu için; modelin izin verebileceği maksimum depolama alanı sayıları ve farklı taşıma mesafesi sınırları için çeşitli nihai kararlar elde edilmiştir. Burada, "Sıfır_Düzey_Dışsallık" için elde edilen karar "Yöntem_Karar_1" (Tablo 3.3), diğerleri ise "Yöntem_Karar_2" şeklinde isimlendirilecektir.

Modelin izin verebileceği maksimum depolama alan sayısının 1 ile sınırlandırılması durumunda hiç bir taşıma sınırı ve senaryo için uygun bir sonuç elde edilememiştir. Tablo 3.4; senaryolar sırasında modelin kurulmasına izin vereceği maksimum depolama alanı sayısının 2 ile sınırlandırılması durumu için elde edilen bulguları göstermektedir. Tablo 3.5 ise izin verilebilir depolama alan sayısının sınırlandırılmadığı durum için elde edilen sonuçları göstermektedir. Bu çalışma için maksimum depolama alanı sayısı, transfer istasyonu sayısı olan 6'dır. Çalışmada kullanılan tüm senaryo ve deponi alanı kısıtları açısından; 60 km için elde edilen bulgularla 60 km üzerindeki taşıma mesafeleri için elde edilen bulgular hiçbir farklılık göstermemiştir. Tablo 3.4'ten de anlaşılacağı üzere; depolama alanı sayısı 2 ile sınırlandırıldığında ve dışsal maliyetler dikkate alınmadığında verilecek en uygun nihai karar; en düşük toplam maliyetten dolayı, 60 km ve üzerindeki mesafeler için elde edilen karardır. "Sıfır_Düzey_Dışsallık" olarak değerlendirdiğimiz bu karar, hiç bir senaryoda farklılık göstermemiştir. Yani "Yöntem_Karar_1" ile "Yöntem_Karar_2" arasında bir farklılık oluşmamıştır. Tablo 3.5 incelendiğinde yine "Yöntem_Karar_1" için en uygun kararın 60 km ve üzeri taşıma mesafeleri için elde edilen kararlar olduğu söylenebilir. Bu durum "Düşük_Düzey_Dışsallık", "Alt_Orta_Düzey_Dışsallık" ve "Orta_Düzey_Dışsallık" senaryoları için de aynı şekilde geçerli olmuştur. Ancak "Üst_Orta_Düzey_Dışsallık" senaryosuna geçildiğinde "Yöntem_Karar_1"e göre farklılaşma oluştuğu görülmektedir. Buna göre maliyet açısından en uygun karar yine 60 km üzeri taşıma mesafeleri için gerçeklenmekle birlikte uygulanması istenen proses tipi ve sayıları farklılaşmıştır. Dolayısıyla, çalışma alanı için dışsallık miktarlarının bu senaryo ve üzerinde çıkması bekleniyorsa, gerek toplam maliyet gerekse de dışsallık miktarı açısından alınması gereken kararın Tablo 3.5'deki karar olması gerekir. Bu anlamda, dışsallıkların dikkate alınması durumunda karar farklılaşmıştır şeklinde bir sonuca varılabilir.

Tablo 3.4. İzin verilebilir deponi alan sayısının 2 ile sınırlandırılması (b tipi senaryo) ile elde edilen bulgular

Dışsallık Senaryoları	Taşıma Mesafesi Kısıtı (km)	Toplam Proje Maliyeti (Milyon Euro)	Toplam Dışsallık Miktarı (Milyon Euro)	Yapılması Gereken Tesisler ve İlgili İstasyon Bölgeleri [a]			
				Ayırıcı (300 ton/gün)	Kompostlaştırma (700 ton/gün)	İnsineratör (1.800 ton/gün)	Deponi (Küçük)
Sıfır_Düzey_Dışsallık	30	54.769	0	-	F1 - F4 - F6	F2	F1 - F5
	40	17.067	0	-	F4 - F6	F2	F3 - F5
	50	1.959	0	-	F3 - F5	F2	F3 - F5
	60	764	0	-	-	F3	F1 - F3
	70	764	0	-	-	F3	F1 - F3
Düşük_Düzey_Dışsallık	30	55.049	280	-	F1 - F4 - F6	F2	F1 - F5
	40	17.350	283	-	F4 - F6	F2	F3 - F5
	50	2.242	283	-	F3 - F5	F2	F3 - F5
	60	1.050	286	-	-	F3	F1 - F3
	70	1.050	286	-	-	F3	F1 - F3
Alt_Orta_Düzey_Dışsallık	30	55.312	544	-	F1 - F4 - F6	F2	F1 - F5
	40	17.614	547	-	F4 - F6	F2	F3 - F5
	50	2.505	547	-	F3 - F5	F2	F3 - F5
	60	1.313	549	-	-	F3	F1 - F3
	70	1.313	549	-	-	F3	F1 - F3
Orta_Düzey_Dışsallık	30	55.576	807	-	F1 - F4 - F6	F2	F1 - F5
	40	17.877	810	-	F4 - F6	F2	F3 - F5
	50	2.769	810	-	F3 - F5	F2	F3 - F5
	60	1.577	813	-	-	F3	F1 - F3
	70	1.577	813	-	-	F3	F1 - F3
Üst_Orta_Düzey_Dışsallık	30	55.839	1.071	-	F1 - F4 - F6	F2	F1 - F5
	40	18.141	1.074	-	F4 - F6	F2	F3 - F5
	50	3.032	1.073	-	F3 - F5	F2	F3 - F5
	60	1.840	1.077	-	-	F3	F1 - F3
	70	1.840	1.077	-	-	F3	F1 - F3
Yüksek_Düzey_Dışsallık	30	56.103	1.335	-	F1 - F4 - F6	F2	F1 - F5
	40	18.405	1.338	-	F4 - F6	F2	F3 - F5
	50	3.296	1.337	-	F3 - F5	F2	F3 - F5
	60	2.104	1.340	-	-	F3	F1 - F3
	70	2.104	1.340	-	-	F3	F1 - F3
Aşırı_Düzey_Dışsallık	30	56.367	1.598	-	F1 - F4 - F6	F2	F1 - F5
	40	18.668	1.601	-	F4 - F6	F2	F3 - F5
	50	3.560	1.601	-	F3 - F5	F2	F3 - F5
	60	2.367	1.604	-	-	F3	F1 - F3
	70	2.367	1.604	-	-	F3	F1 - F3

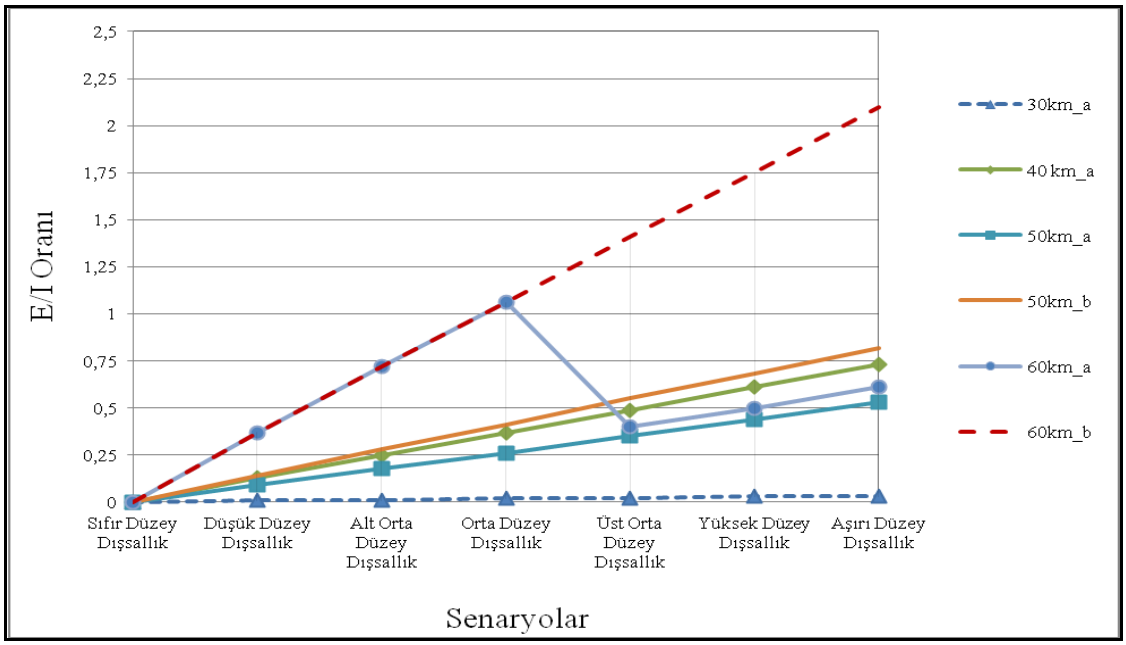
a : F1 (Gebze), F2 (Körfez), F3 (İzmit), F4 (Kandıra), F5 (Başiskele), F6(Karamürsel)

Tablo 3.5. İzin verilebilir deponi alan sayısının sınırlandırılmaması (a tipi senaryo) ile elde edilen bulgular

Dışsallık Senaryoları	Taşıma Mesafesi Kısıtı (km)	Toplam Proje Maliyeti (Milyon Euro)	Toplam Dışsallık Miktarı (Milyon Euro)	Yapılması Gereken Tesisler ve İlgili İstasyon Bölgeleri [a]			
				Ayırıcı (300 ton/gün)	Kompostlaştırma (700 ton/gün)	İnsineratör (1.800 ton/gün)	Deponi (Küçük)
Sıfır_Düzey_Dışsallık	30	25.308	0	-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
	40	2.161	0	-	F4 - F6	F2	F1 - F2 - F4 - F6
	50	1.479	0	-	F1 - F3 - F5	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	60	764	0	-	-	F3	F1 - F3
	70	764	0	-	-	F3	F1 - F3
Düşük_Düzey_Dışsallık	30	25.438	130	-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
	40	2.444	283	-	F4 - F6	F2	F1 - F2 - F4 - F6
	50	1.609	130	-	F1 - F3 - F5	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	60	1.050	286	-	-	F3	F1 - F3
	70	1.050	286	-	-	F3	F1 - F3
Alt_Orta_Düzey_Dışsallık	30	25.569	260	-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
	40	2.704	542	-	F4 - F6	F2	F1 - F2 - F4 - F6
	50	1.739	260	-	F1 - F3 - F5	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	60	1.313	549	-	-	F3	F1 - F3
	70	1.313	549	-	-	F3	F1 - F3
Orta_Düzey_Dışsallık	30	25.699	390	-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
	40	2.964	802	-	F4 - F6	F2	F1 - F2 - F4 - F6
	50	1.869	390	-	F1 - F3 - F5	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	60	1.577	813	-	-	F3	F1 - F3
	70	1.577	813	-	-	F3	F1 - F3
Üst_Orta_Düzey_Dışsallık	30	25.829	520	-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
	40	3.224	1.062	-	F4 - F6	F2	F1 - F2 - F4 - F6
	50	2.000	520	-	F1 - F3 - F5	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	60	*1.810*	*520*	-	F3	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	70	*1.810*	*520*	-	F3	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
Yüksek_Düzey_Dışsallık	30	25.959	651	-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
	40	3.483	1.322	-	F4 - F6	F2	F1 - F2 - F4 - F6
	50	2.130	651	-	F1 - F3 - F5	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	60	*1.940*	*651*	-	F3	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	70	*1.940*	*651*	-	F3	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
Aşırı_Düzey_Dışsallık	30	26.089	781	-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
	40	3.743	1.582	-	F4 - F6	F2	F1 - F2 - F4 - F6
	50	2.260	781	-	F1 - F3 - F5	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	60	*2.070*	*781*	-	F3	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	70	*2.070*	*781*	-	F3	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5

[a] : F1 (Gebze), F2 (Körfez), F3 (İzmit), F4 (Kandıra), F5 (Başiskele), F6(Karamürsel)

Yukarıda sözü edilen farklılaşmanın karakterini gözlemleyebilmek için; her bir karar sonucunda oluşan toplam maliyetin dışsallıklar kısmının içsellikler kısmına oranını ifade eden bir E/I (Externalities/Internalities) oranı hesaplanmıştır. Bu değerin her bir taşıma mesafesi ve senaryo için değişimi Şekil 3.1'de, senaryoların E/I oranları için kırılma noktaları ve yeni proses durumları ise Tablo 3.6'da sunulmuştur. 60 km üzeri taşıma mesafeleri için elde edilen tüm bulgular 60 km bulguları ile aynı olduğu için ayrıca gösterilmemiştir.



Şekil 3.1. Tüm senaryo, taşıma mesafesi ve deponi sayısı kısıtları için E/I değişimi

Tablo 3.6. E/I oranları için kırılma noktaları ve bu noktalardaki yeni yapılar

Maksimum Taşıma Mesafesi Kısıtı (km)	Toplam Proje Maliyeti (Milyon Euro)	Toplam Dışsallık (Milyon Euro)	Kırılma Noktası İçin E/I Oranı	Tesisler			
				Ayırıcı	Kompostlaştırma	İnsineratör	Deponi
30a	25.308	0	14,29	-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
	387.010	361.702			F1 – F4 – F5 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
40a	2.161	0	3,69	-	F4 - F6	F2	F1 - F2 - F4 - F6
	10.143	7.982		-	F1 - F3 - F4 - F6	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6
50a	1.479	0	2.279,48	-	F1 - F3 - F5	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
	3.373.028	3.371.549		-	F2 – F4 - F5	-	F1 - F2 - F3 – F5 – F6
60a	764	0	1,33	-	-	F3	F1 - F3
	1.780	1.017		-	F3	-	F1 - F2 - F3 - F4 - F5
50b	1.959	0	781,89	-	F3 - F5	F2	F3 - F5
	1.533.635	1.531.676		-	F3 – F6	F2	F3 - F5
60b	764	0	833,99	-	-	F3	F1 - F3
	637.701	636.938		-	F5	F3	F1 - F3

Bir işletme açısından çevresel zararların en düşük seviyede tutulmaya çalışıldığı en uygun seviye içsel ve dışsal maliyetler toplamının en düşük olduğu seviye olarak kabul edilir. Buradan hareketle de bazı uygulamalarda dışsallıkların tahmini için kullanılan bir yol olan "Cost of Control" yaklaşımında marjinal dışsal maliyetlerin marjinal içsel maliyetlere eşit olduğu (marjinal E/marjinal I=1) kabul edilir (Gale ve Stokoe, 2001). Şekil 3.1 ve Tablo 3.6'dan da anlaşılacağı üzere; depolama alanı sayısının sınırlandırılmadığı yapı (a tipi) için elde edilen doğrulardan 60 km ve üzerindekiler, E/I değerinin 1'den fazla olması durumunda kırılmış ve kararın değişmesine neden olmuştur. Buna göre modelin, toplam maliyet açısından dışsallıkların içselliklerden büyük olmasına izin vermeme eğilimde olduğu açıktır. Ancak bu kırılma eğilimi depolama sayısının 2 ile sınırlandırıldığı yapı (ki, bu yapı deponi kısıtı gereği çok az sayıda seçeneğe sahiptir) için gerçekleşmemiştir.

Bir tesisin işletme sürecinde ortaya çıkan dışsallıkların yöneticiler tarafından içselleştirilmesi durumunda "Yöntem_Karar_1" ile "Yöntem_Karar_2" arasında yapılacak bir tercihin kişi başına yaratacağı maliyet iyileşmeleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla; ortalama 1.500.000 kişilik bir nüfus ve 25 yıllık bir proje süresi için kişi başına yıllık atık işleme ve bertarafı maliyeti değerleri incelenmiştir. Buna göre; "Üst_Orta_Düzey_Dışsallık" senaryosu için "Yöntem_Karar_1" uygulandığında bu değer 49 Euro/kişi.yıl iken "Yöntem_Karar_2" uygulandığında 48 Euro/yıl.kişi şeklinde olmaktadır. Bu durum "Yüksek_Düzey_Dışsallık" senaryosu için sırasıyla 56 Euro/kişi.yıl ve 51 Euro/kişi.yıl şeklindedir. "Aşırı_Düzey_Dışsallık" için ise bu değerler 63 Euro ve 55 Euro şeklindedir. Nihai kararın "Yöntem_Karar_1" olarak seçilmesi durumunda içsel maliyetler 14 Euro/kişi.yıl artarken dışsal maliyetlerde elde edilen kazanç 15-22 Euro/kişi.yıl olarak görülmüştür. Bu da, dışsallıkların dikkate alındığı senaryolardan elde edilen kararların uygulanması durumunda, ilk kararlara göre 1-8 Euro/kişi.yıl aralığında kazançlar elde edilmesine neden olmuştur. Bu azalma toplam maliyet açısından % 2-13 aralığında bir azalmaya tekabül etmiştir. Bu bulgular dışsal maliyetlerdeki olası artışların, nihai kararda dışsallıkların da dikkate alınması durumunda yerleşimciler açısından önemli mali kazançlar sağlanabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca dışsallıkların azalması demek çevre ve halk sağlığının da iyileştirilmesi anlamına gelmektedir (Bu konuyla ilgili detaylı bir tartışma Korucu ve diğ. (2015)'de sunulmuştur).

Son olarak, literatürden alınan dışsallıkların taşıdığı belirsizliği belirlemek için yapılan Monte Carlo simülasyon çalışmalarının olasılık dağılımı sonuçlarına göre; çalışmada kullanılan dışsallık aralıklarının ilgili literatür aralıklarında bulunma oranları yakma, depolama ve MRF alanları (ayırıcı ve kompostlaştırma tesisleri bir arada) için sırasıyla % 39, % 36 ve % 23 şeklindedir. Senaryolar için elde edilebilecek toplam dışsallık miktarları bu simülasyonlar için 54-115 Euro (ortalama 84 Euro) şeklinde bulunmuş olup bu değerler literatür aralıklarının olasılık dağılımları için 7-72 Euro (ortalama 39 Euro) şeklinde tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, çalışmada kullanılan dışsallık değerlinin söz konusu literatür aralıkları ile arasında önemli farklılıklara işaret etmektedir. Simülasyon çalışmalarının hassasiyet analizleri ise toplam dışsallık dağılımlarının yakma, depolama ve MRF bölgeleri için girilen dışsallık miktarlarına bağlı olma düzeylerini literatür aralıkları ile de uyumlu olarak 0,9, 0,4 ve 0,05 düzeylerinde korelasyonlar olarak tespit etmiştir. Buna göre başta insinerasyon olmak üzere çalışmamızda kullanılan tüm maliyet verilerinin ilerleyen çalışmalar için doğru bir biçimde elde edilme zorunluluğu son derece açıktır.

3.4. Karar Verme Ortaklığının Yer Seçimi Önceliklerine İlişkin Bulgular

Karar verme ortaklığı ile birlikte oluşturulan yer seçimi ölçüt yapısı için karar verme ortaklığı katılımcılarının önceliklerini belirleme çalışması sonucunda, ölçütler için elde edilen ağırlık değerleri Tablo 3.7'de sunulmuştur.

3.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Yer Seçimi Modeline İlişkin Bulgular

3.5.1. Birinci yer seçimi fazına ilişkin bulgular

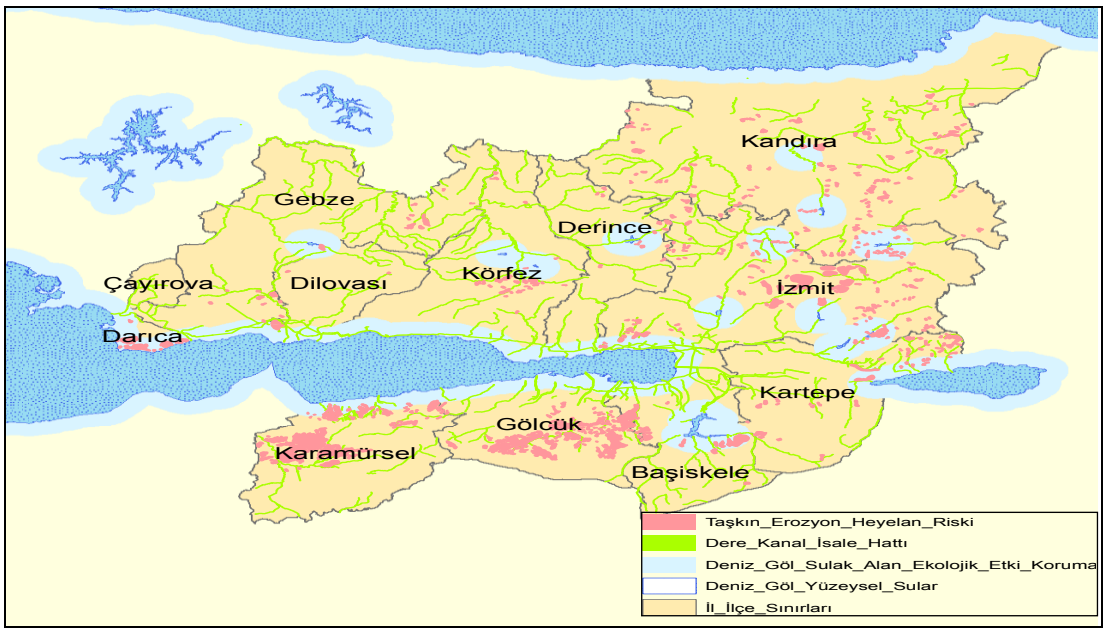
Yer seçimi çalışmalarında kullanılacak olan ve CBS ortamında oluşturulmuş, Kocaeli ilinin tamamını temsil eden ana plan ve birinci fazda kullanılan bazı ölçütlere ait planlar Şekil 3.2'de bir arada görülmektedir. Birinci fazda kullanılan diğer ölçüt katmanları yine ana plan üzerinde Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu katmanlara ilave olarak; ikinci faz için verilen ölçütlerden hâlihazırda kullanılmakta olan, kullanılması planlanan ve/veya kullanılması yasak olan diğer alanları temsil edenler katmanlar ise Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.7. Yer seçimi çalışmalarında kullanılan ölçüt yapısı ve ağırlıklar

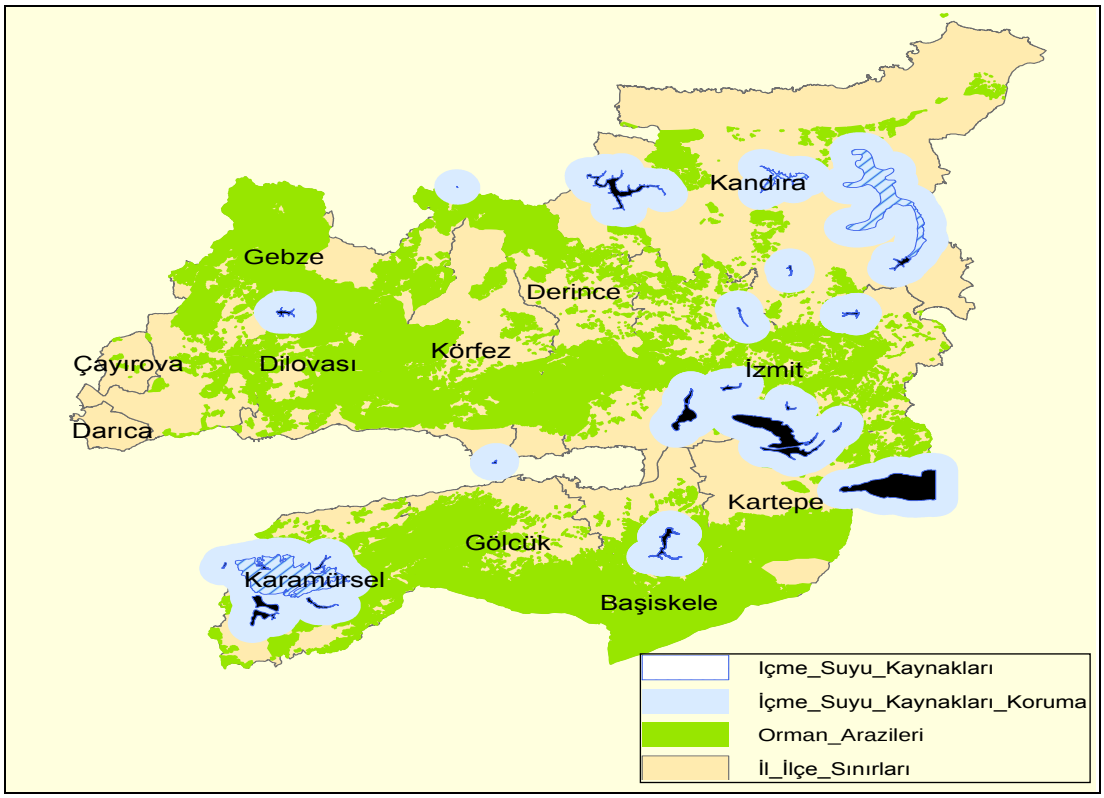
Faz 1: Sınırlandırıcı Faz	Faz 2: Azaltıcı Faz (1,00)		
Ölçüt Grubu 1: Ekolojik Güvenlik Ölçütleri	Ölçüt Grubu 2: Halk Sağlığı ve Güvenliği Ölçütleri (0,5177)	Ölçüt Grubu 3: Ekonomik Ölçütler (0,1404)	Ölçüt Grubu 4: Sosyal Ölçütler (0,3416)
Yüzeysel Sular, Kıyılar ve Sulak Alanlar [a] (100 ve 2.000 m tampon)	Yerleşim Bölgelerinden Uzaklık [a] (250 m tampon) (0,1985)	Rakım (0,0166)	Olumsuz Risk Algısı ve Paydaşların Onayı (0,0997)
Taşkın, Erozyon ve Heyelan Alanları (100 m tampon)	Otoyollardan Uzaklık [a] (25 m tampon) (0,0398)	Topoğrafik Eğim (0,0183)	Kültür Miraslarından Uzaklık (0,0165)
Doğal Kuyu ve İçme Suyu Kaynakları [a] (2.000 m tampon)	Havaalanı Mania Bölgesinden Uzaklık (0,0430)	Atık Taşıma Mesafesi (0,0337)	Bölgesel Gelişim ve İstihdama Katkı (0,0644)
Orman Alanları (100 m tampon)	Altyapı ve İletim Hatlarından Uzaklık (0,0428)	Ana Yollara Yakınlık [a] (25 m tampon) (0,0085)	Turistik Alanlardan Uzaklık (0,0599)
Aktif Volkan, Maden ve Jeolojik Fay Alanları (100 m tampon)	Askeri Alanlardan Uzaklık (0,0305)	Altyapıya Yakınlık [a] (25 m tampon) (0,0197)	Mezarlık ve Kutsal Alanlardan Uzaklık (0,0554)
Alan Kullanımı ve Zirai Uygunluk (100 m tampon)	Dinlenme Alanlarından Uzaklık (0,0640)	Müşterilere Yakınlık (Endüstri Bölgeleri vs.) (0,0436)	Görünürlük ve Manzaraya Etki (0,0457)
Flora &Fauna (100 m tampon)	Özel Alanlardan Uzaklık (Okul, Hastane vs.) (0,0991)		

Faz 3: Düzenleyici Faz (1,00)	
Ölçüt Grubu 2: Halk Sağlığı ve Güvenliği Ölçütleri (0,7537)	Ölçüt Grubu 3: Ekonomik Ölçütler (0,2462)
Hakim Rüzgar Yönleri (0,2026)	Arazi Mülkiyeti (0,0145)
Vadoz Zon Geçirgenliği (0,2395)	Arazinin Birim Maliyeti (0,0291)
Yer altı Su Tablası Derinliği (0,2727)	Geçirimsiz Tabaka Kalınlığı (0,1799)
Zemin Oturması ve İvmelenme (0,0389)	Üst Toprak Litolojisi (0,0227)

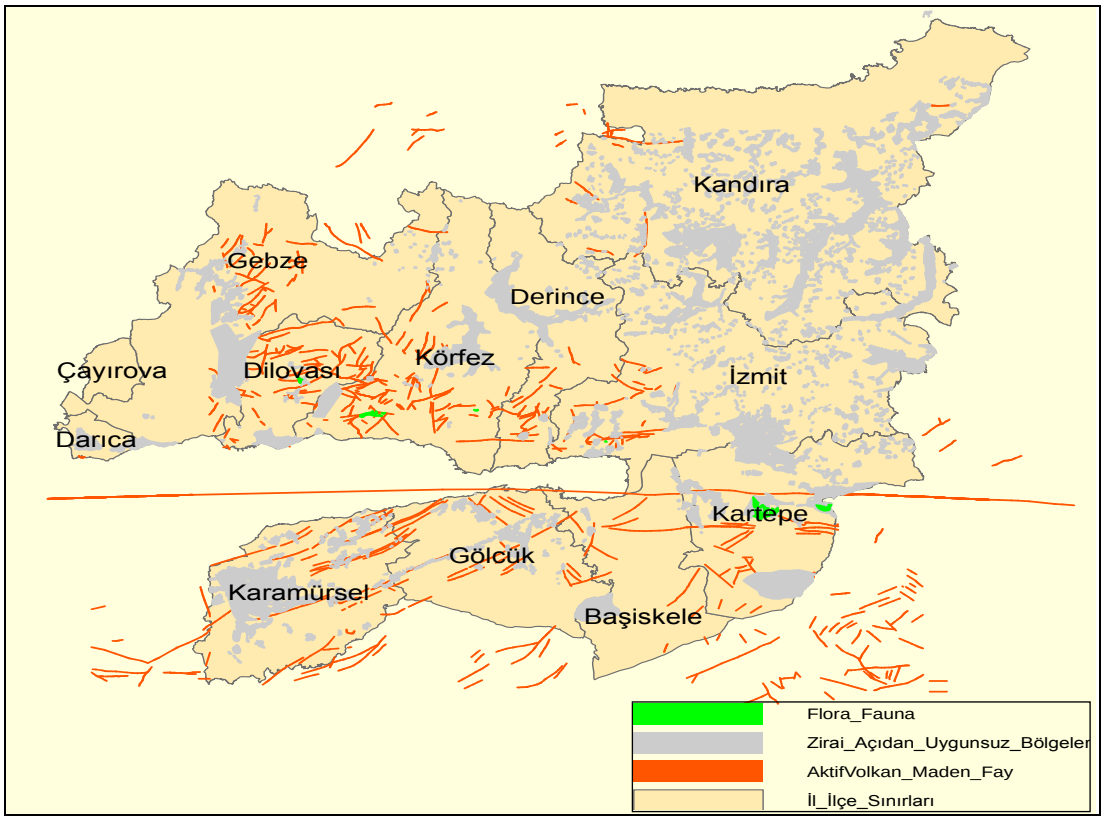
a: Mevzuat tarafından zorunlu tutulan tampon uygulaması



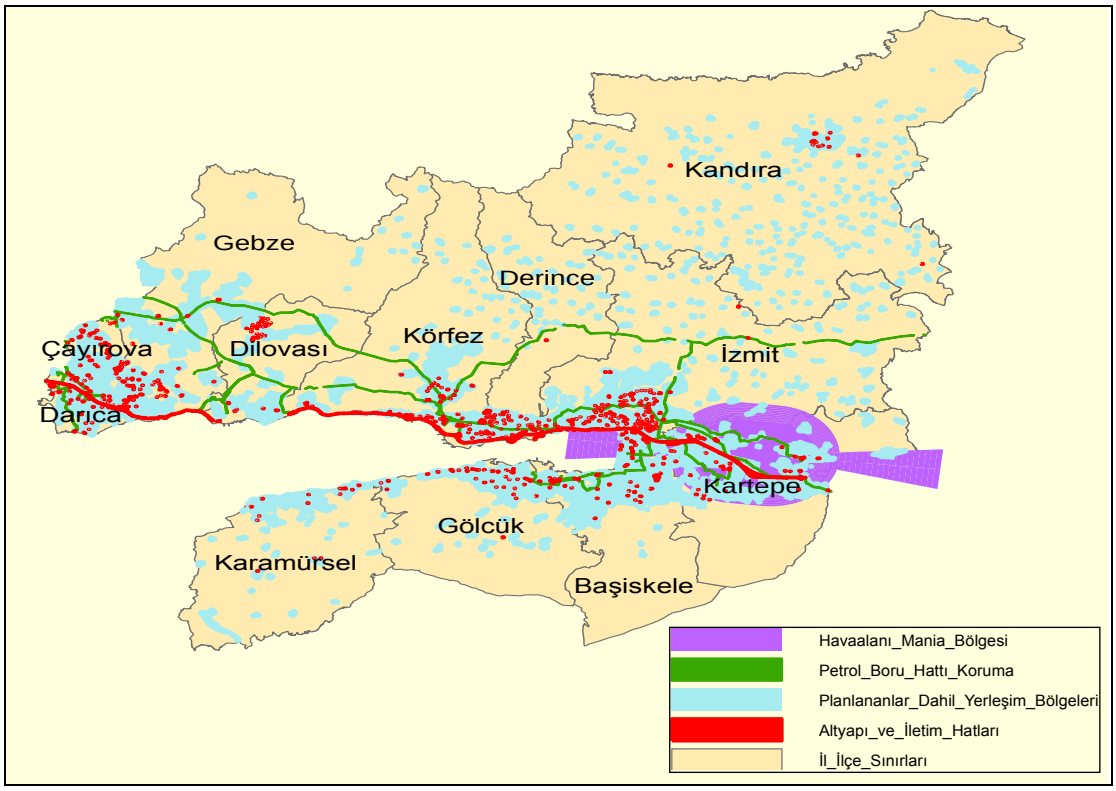
Şekil 3.2. Birinci yer seçimi fazına ait ölçütler (1)



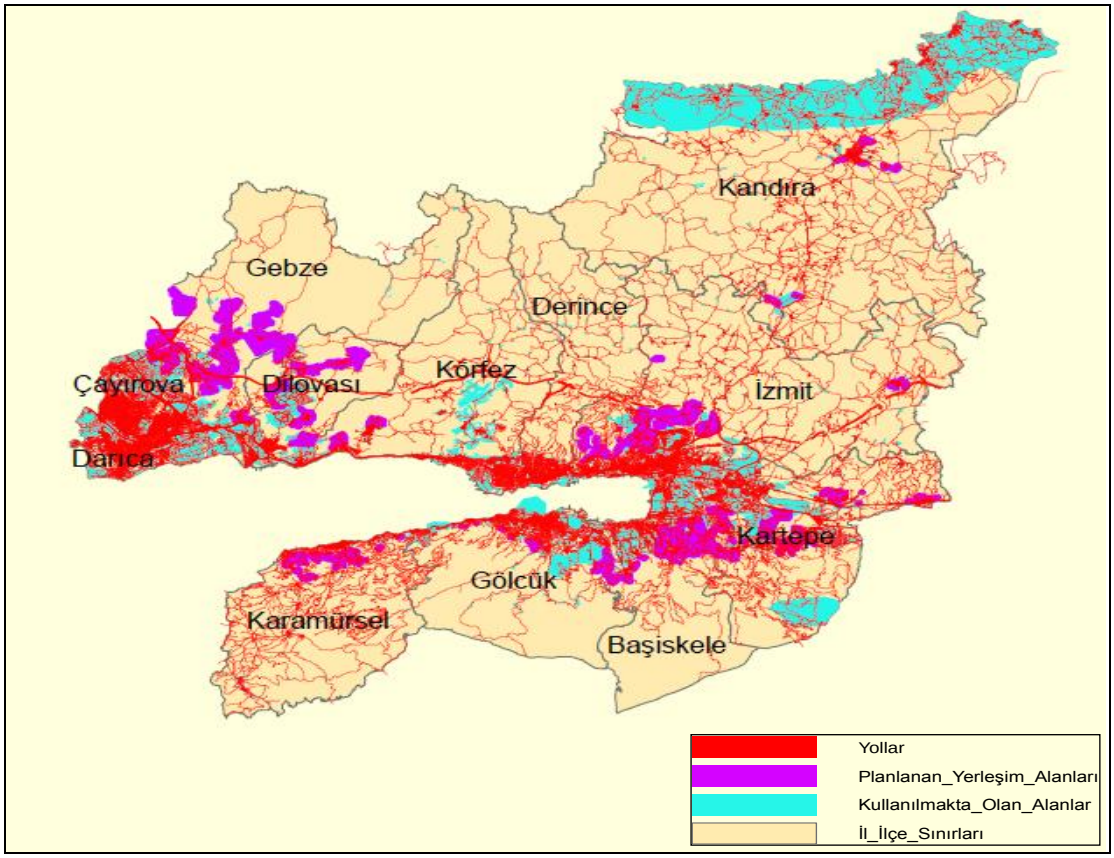
Şekil 3.3. Birinci yer seçimi fazına ait ölçütler (2)



Şekil 3.4. Birinci yer seçimi fazına ait ölçütler (3)

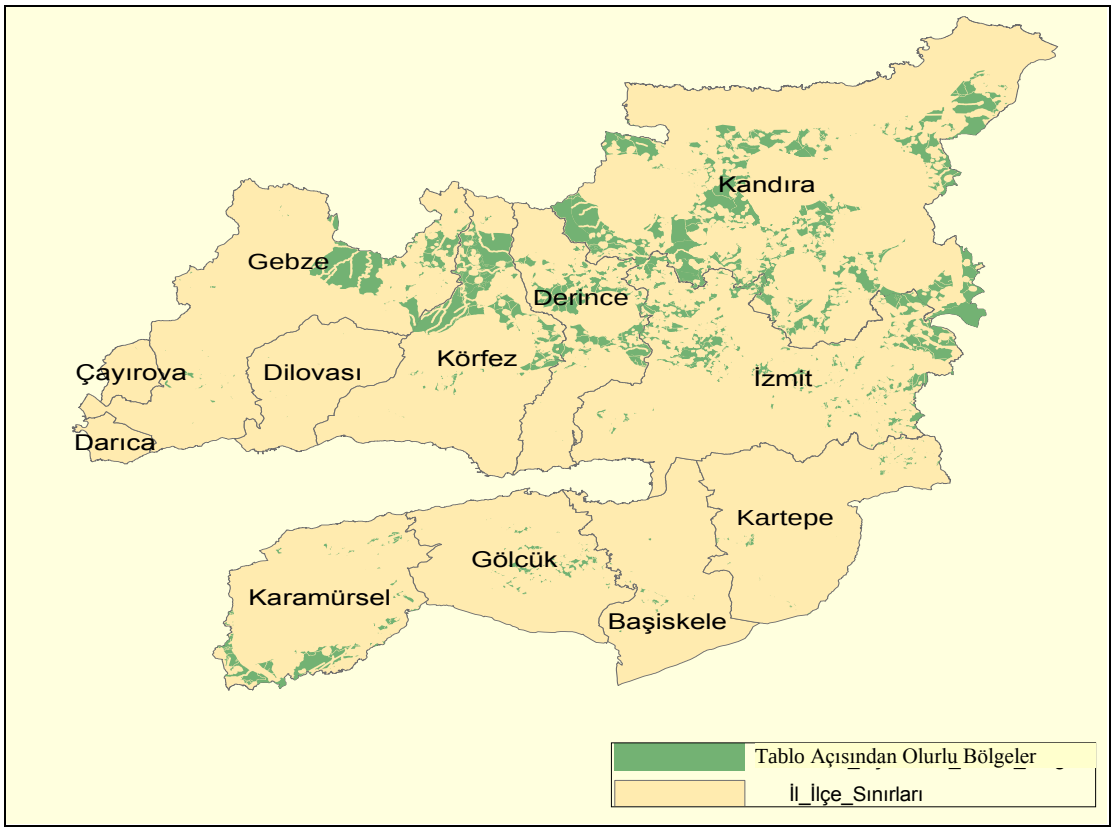


Şekil 3.5. Diğer bazı ölçütler (1)

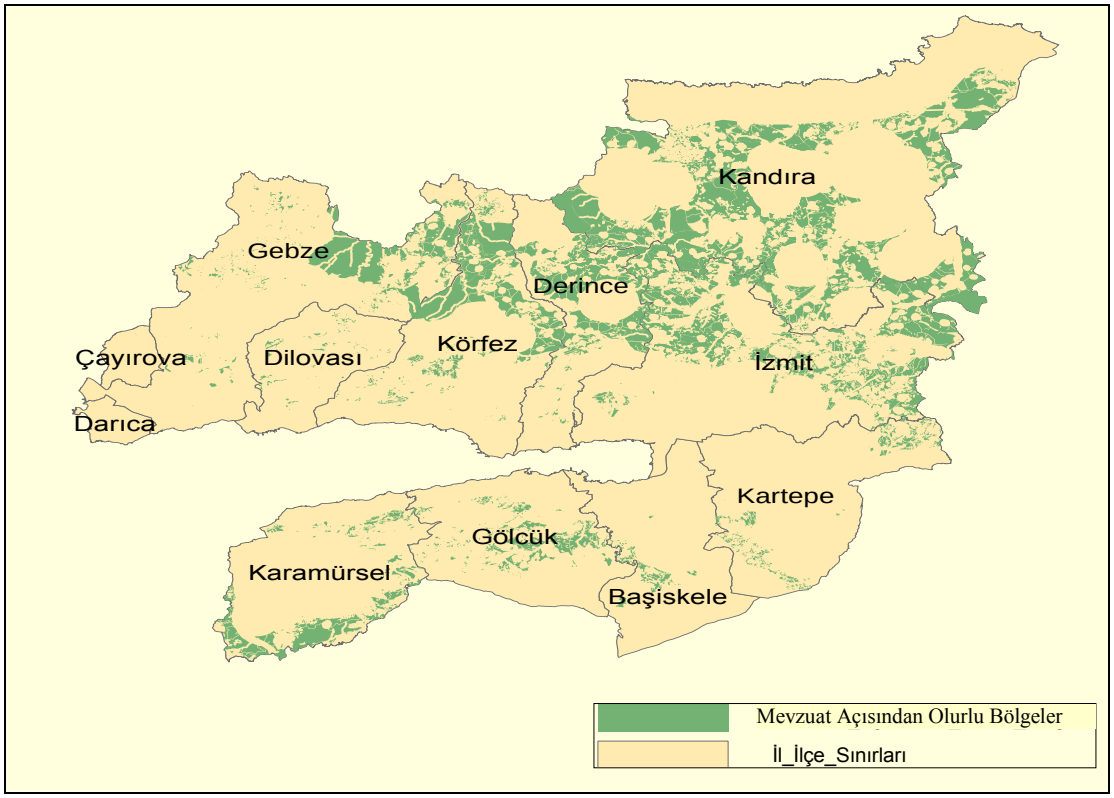


Şekil 3.6. Diğer bazı ölçütler (2)

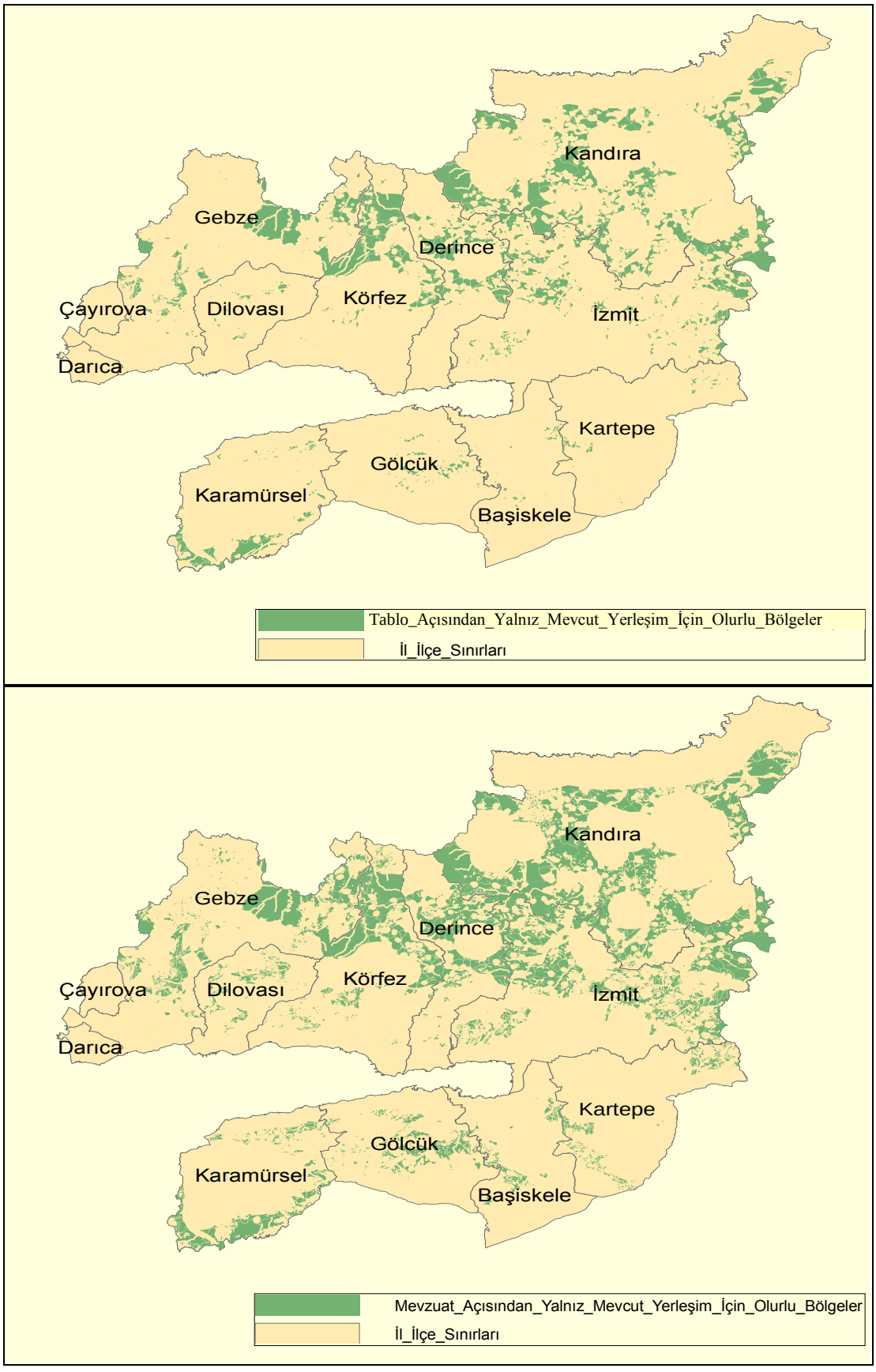
Birinci yer seçimi fazı için Bölüm 2.6.2.1'de detaylandırılan işlemlerin Tablo 3.7'deki yapıya uygulanmasının ardından elde edilen olurlu bölgeleri gösterir plan Şekil 3.7'da sunulmuştur. Bu işlemler sonucunda elde edilen toplam olurlu bölge alanı 1.094.278.514 m^2 olarak saptanmıştır. Sözü edilen bu işlemler bir kez de yalnızca mevzuatlar tarafından tanımlanan tampon bölge değerlerinin uygulanması sonucu elde edilen planlara uygulanmış olup, bu işlem sonucunda elde edilen toplam olurlu bölge alanı ise 1.143.617.376 m^2 şeklindedir. Bu işlem sonucunda elde edilen olurlu bölgeleri gösterir plan ise Şekil 3.8'de sunulmuştur. Bu noktadan itibaren, tablodaki tampon değerlerini kullanarak elde edilen ve dolayısıyla karar ekibi tarafından önerilen verileri temel alan model yapısı "Önerilen", yalnızca mevzuat tampon değerlerini temel alan model yapısı ise "Mevzuat" olarak adlandırılacaktır. Sözü edilen bu iki modele ilave olarak; Büyükşehir Belediyesi'nin konut alanı olarak planladığı bölgelerin dikkate alınmadığı, yani bu alanların da bertaraf tesisi için uygun alanlar olarak değerlendirildiği bir çalışma daha yürütülmüştür. Buna göre yerleşim bölgesi olarak planlanan alanların dâhil edilmediği "Önerilen" için; birinci yer seçimi fazıyla elde edilen olurlu bölgeleri gösterir plan Şekil 3.9'de sunulmuştur. Bu işlemler sonucunda elde edilen toplam olurlu bölge alanı 1.157.029.193 m^2 olarak saptanmıştır. Sözü edilen bu işlemler bir kez de "Mevzuat" için uygulanmış olup, bu işlem sonucunda elde edilen olurlu bölgeleri gösterir plan da yine Şekil 3.9'de sunulmuştur. Bu işlem sonucunda elde edilen toplam olurlu bölge alanı ise 1.211.016.592 m^2 şeklindedir. Bu tez çalışması, dışsallıkların nihai kararlar üzerindeki etkisini araştıran teorik bir çalışma olmasının yanı sıra, Kocaeli ilinin mevcut evsel katı atık sorununa ilişkin önerilerde bulunma amacı da gütmektedir. Bu amaçla çalışma boyunca Kocaeli ilinin gerçek ihtiyaçları ve hali hazırda bulunan gerçek veriler göz önünde bulundurulmuştur. Bölüm 3.2 ve 3.3'de detaylandırılan yöntem seçimi kararlarına ilişkin bulgulardan hangisinin kullanılacağına karar verecek olan yerel yöneticiler bu iki karardan her hangi birini seçebilirler. Dolayısıyla bu çalışmada yürütülen yer seçimi araştırmalarının her iki karara da aynı anda hizmet etmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yapılan tüm yer seçimi çalışmaları İzmit bölgesinde (İzmit ve Derince ilçelerinde) 60 (kompostlaştırma ya da yakma tesisi için) ve 2.000 (depolama sahası için) dönümden büyük 2 alan, Gebze bölgesinde (Gebze ve Körfez) 1.000 dönümden büyük bir alan olmak üzere 3 farklı büyüklük için aynı anda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. " Önerilen" için ile elde edilen olurlu bölgeler



Şekil 3.8. "Mevzuat" için elde edilen olurlu bölgeler



Şekil 3.9. Yalnızca mevcut yerleşim bölgelerine göre elde edilen olurlu bölgeler

Yer seçimi çalışmasının birinci fazında elde edilen olurlu bölge alanlarının tamamı, bu çalışmanın yöntem belirleme aşamasında elde edilen gerekli yekpare alan ihtiyaçlarını (60, 1.000 ve 2.000 dönümden büyük alanlar) karşılayacak nitelikte değildir. Elde edilen olurlu bölgelerden, sözü edilen bu alan ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikteki alanların nereler olduğunun tespiti ise farklı bir sorgulama prosedürü gerektirmektedir. ArcGIS yazılımı üzerinden yapılan bu sorgulama sonucunda, elde edilen olurlu bölgelerden kaç tanesinin gerekli yüzey alanı ihtiyacını karşıladığı Tablo 3.8'de sunulmuştur.

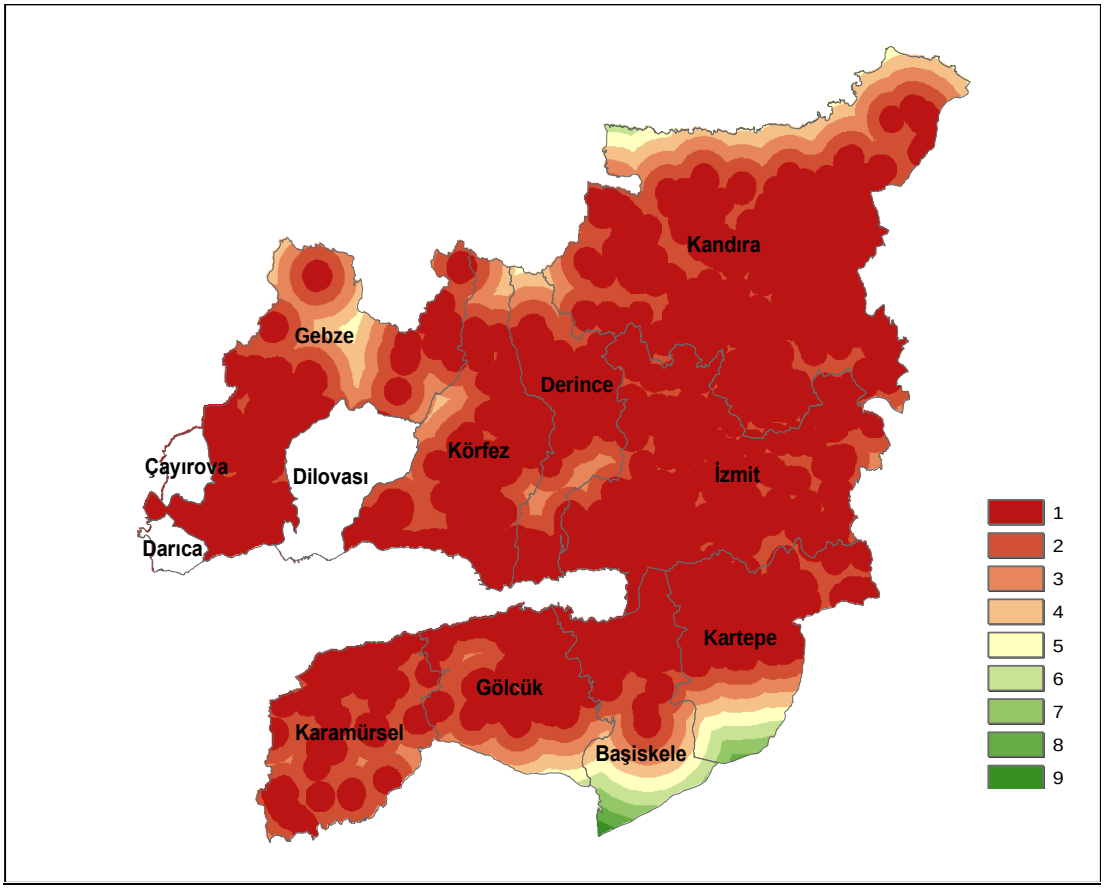
Tablo 3.8. Yürütülen sorgulamalar sonucunda tespit edilen olurlu bölge sayıları

	60 dönümden büyük alan sayısı	1000 dönümden büyük alan sayısı	2000 dönümden büyük alan sayısı
Tüm yerleşim bölgeleri için Tablo 3.7 esas alınarak elde edilen olurlu bölgeler	613	71	31
Yalnızca mevcut yerleşim bölgeleri için Tablo 3.7 esas alınarak elde edilen olurlu bölgeler	682	73	32
Tüm yerleşim bölgeleri için mevzuatta verilen tampon değerleri esas alınarak elde edilen olurlu bölgeler	979	134	46
Yalnızca mevcut yerleşim bölgeleri için mevzuatta verilen tampon değerleri esas alınarak elde edilen olurlu bölgeler	1130	136	48

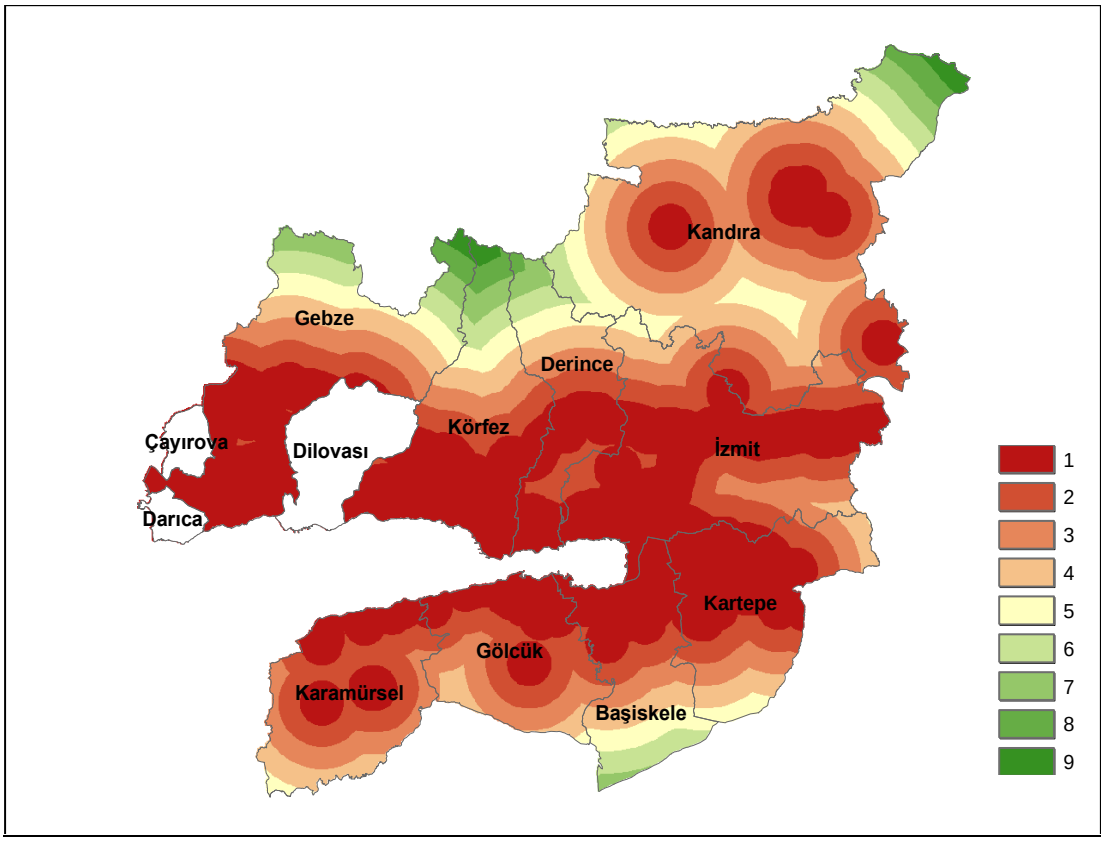
Tablo 3.8'den de anlaşılacağı üzere tüm arazi ihtiyacı değerleri açısından; "Önerilen" için elde edilen olurlu bölge sayıları, "Mevzuat" için elde edilen olurlu bölge sayılarına göre büyük oranda azalmıştır. Bu anlamda, mevcut mevzuat yapısının yer seçimi alternatifleri sağlayabilmek adına oldukça esnek bir yapı sağladığı söylenebilir. Öte yandan; tüm yerleşim bölgeleri için elde edilen olurlu bölge sayıları ile yalnızca mevcut yerleşim bölgeleri için elde edilen olurlu bölge sayıları arasında 60 dönümden büyük alanlar dışında anlamlı farklar görülmemektedir. Buradan hareketle ilerleyen aşamalarda kullanılacak olan olurlu bölgeler katmanı güvenlik açısından; yerleşim bölgesi olarak planlanan alanların da olursuz bölgeler olarak kapatıldığı uygulama biçimini benimseyen modeller olarak belirlenmiştir.

3.5.2. İkinci yer seçimi fazına ilişkin bulgular

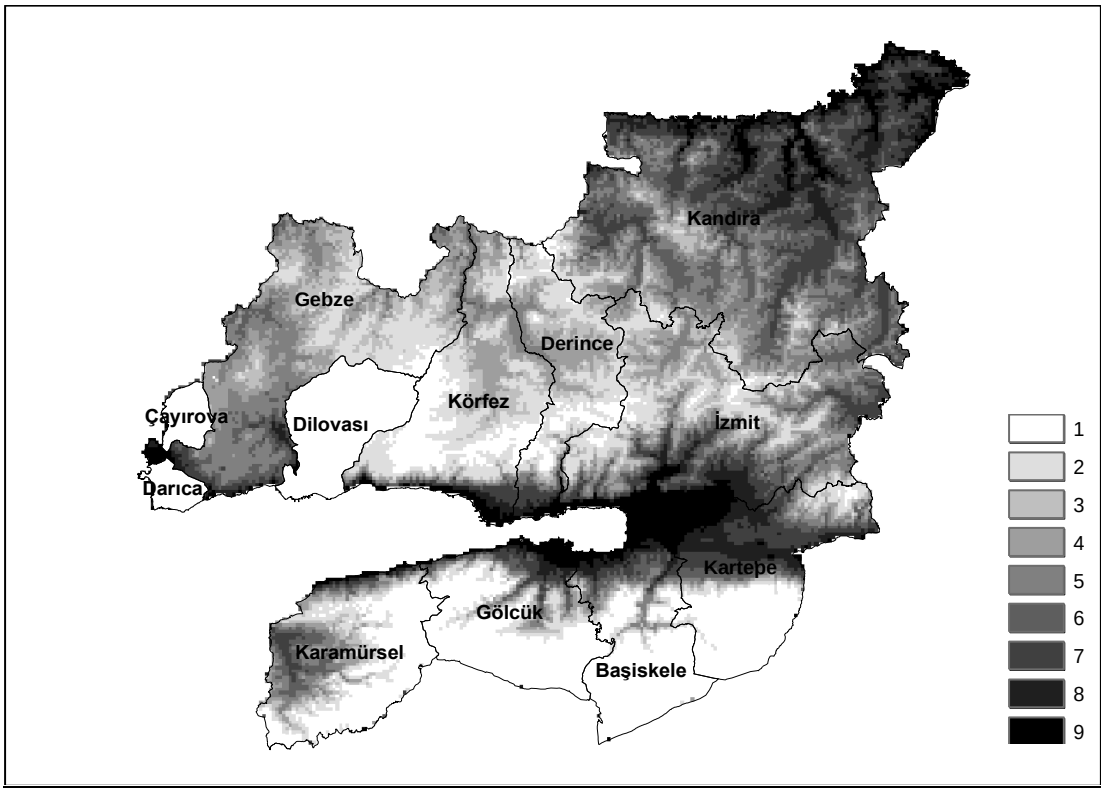
Yer seçimi çalışmasının ikinci aşaması için tüm ikinci faz ölçütleri ana plandan ayıklanarak ayrı ayrı yapılandırılmış ve tüm bu katmanlar raster formatına dönüştürülmüştür. Bunun için kullanılan raster hücre boyutları (çözünürlük) tüm çalışma için 10 x 10 metre şeklinde sabitlenmiştir. Uzaklık ve yakınlık derecelendirmeleri gerektiren raster dönüşümleri için "Euclidian Distance" derecelendirmesi kullanılmıştır. Elde edilen tüm raster dosyaları yeniden sınıflandırılmış ve uygunluk analizi aşamasına geçilmiştir. Uygunluk analizi aşaması; bir önceki fazda bertaraf alanı olarak kullanılmasında bir sakınca olmayacağı tespit edilen alanlar arasından en uygununu belirlemek olarak özetlenebilir. Bu analizde kullanılan yeniden sınıflandırılmış raster görüntülerinden bazıları Şekil 3.10-3.17'de sunulmuştur. Verilerin yeniden sınıflandırılması işlemi 1-9 aralığında eşit bölümlemeler için gerçekleştirilmiştir. Her bir katman için ayrı ayrı olmak üzere; en uygun noktalara 9, en az uygun noktalara 1 değeri atanmıştır.



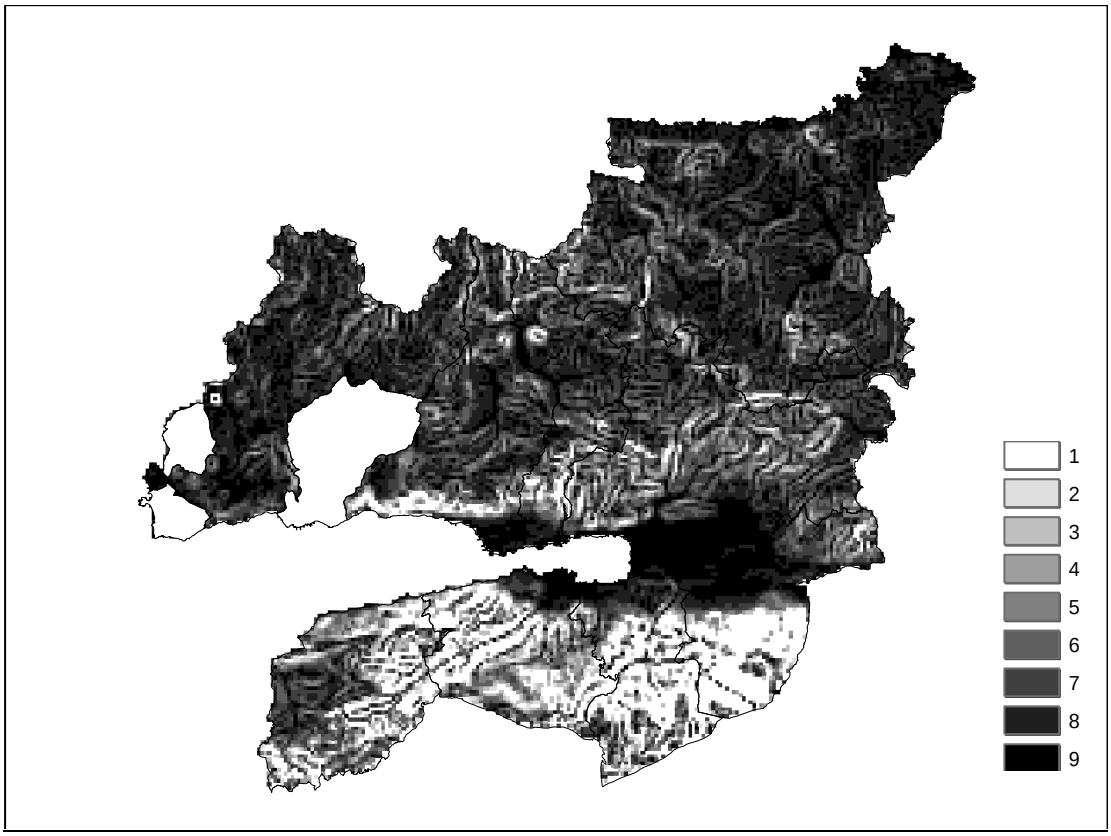
Şekil 3.10. Yerleşim bölgelerinden uzaklık ölçütü için uygunluk sınıflandırması



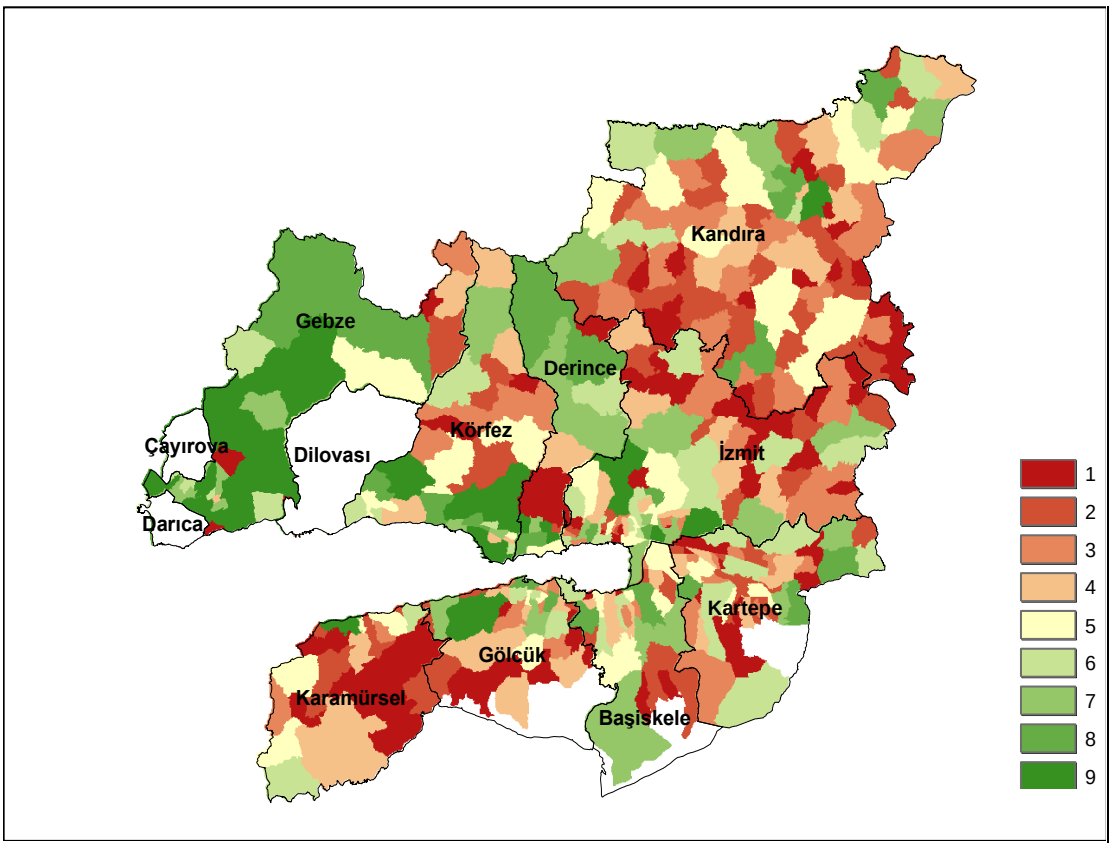
Şekil 3.11. İletim hatları ve altyapıya uzaklık ölçütü için uygunluk sınıflandırması



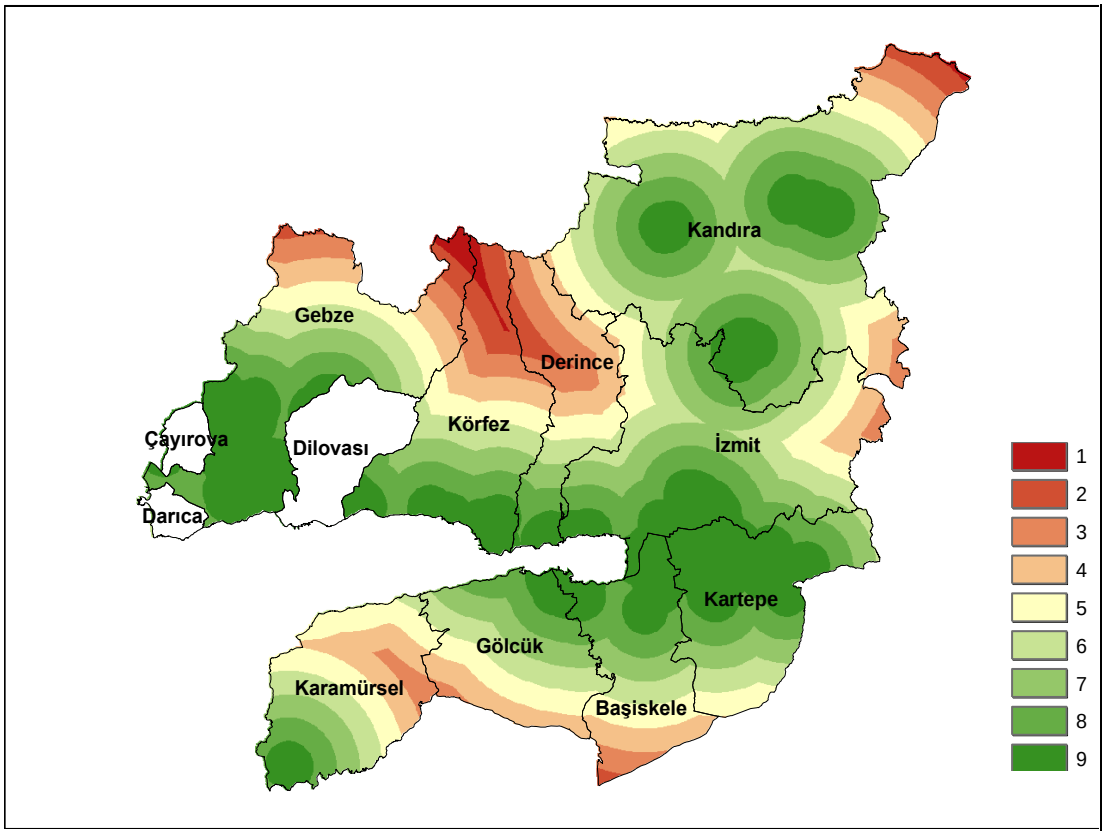
Şekil 3.12. Rakım ölçütü için uygunluk sınıflandırması



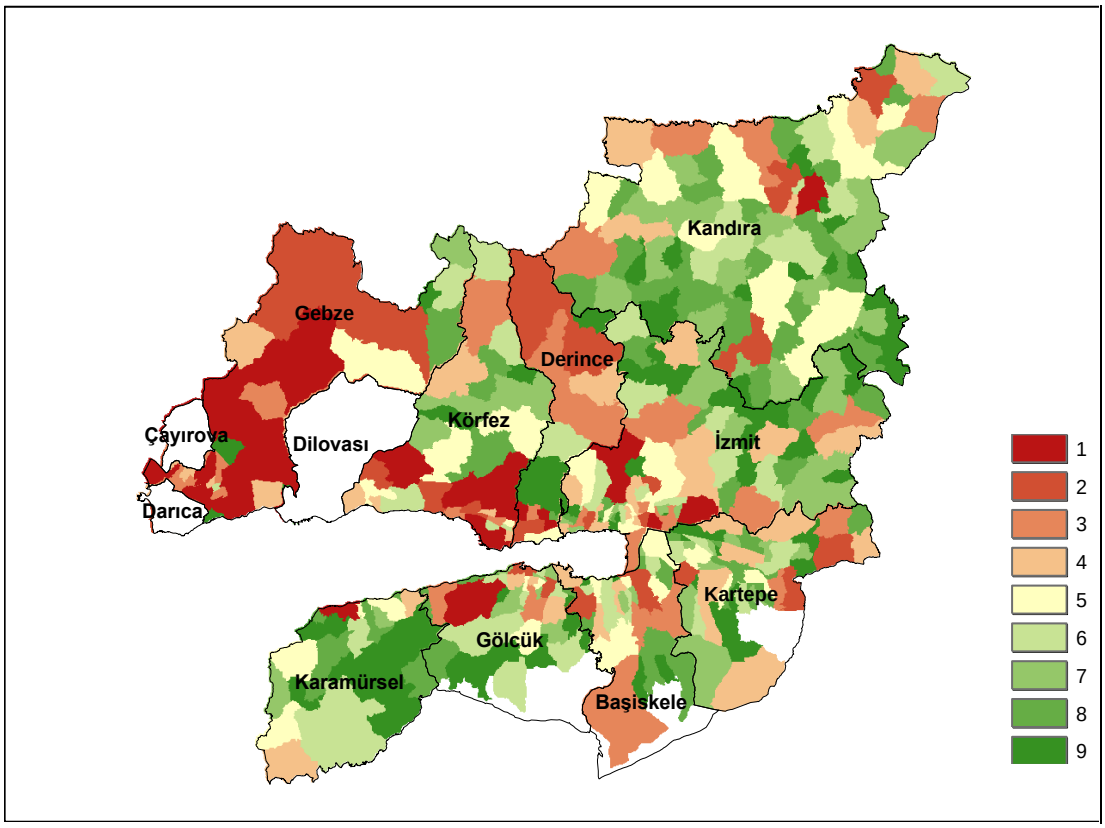
Şekil 3.13. Eğim ölçütü için uygunluk sınıflandırması



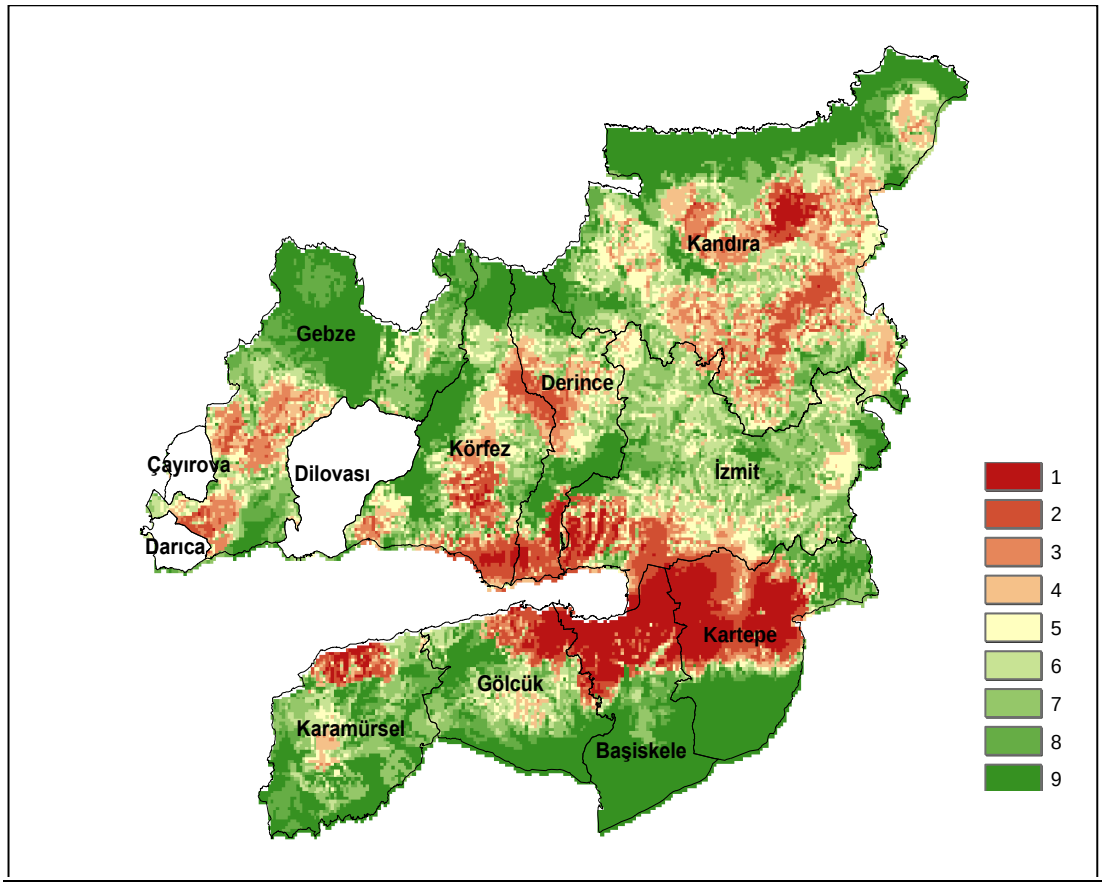
Şekil 3.14. Atık taşıma mesafesi ölçütü için uygunluk sınıflandırması



Şekil 3.15. Müşterilere yakınlık ölçütü için uygunluk sınıflandırması

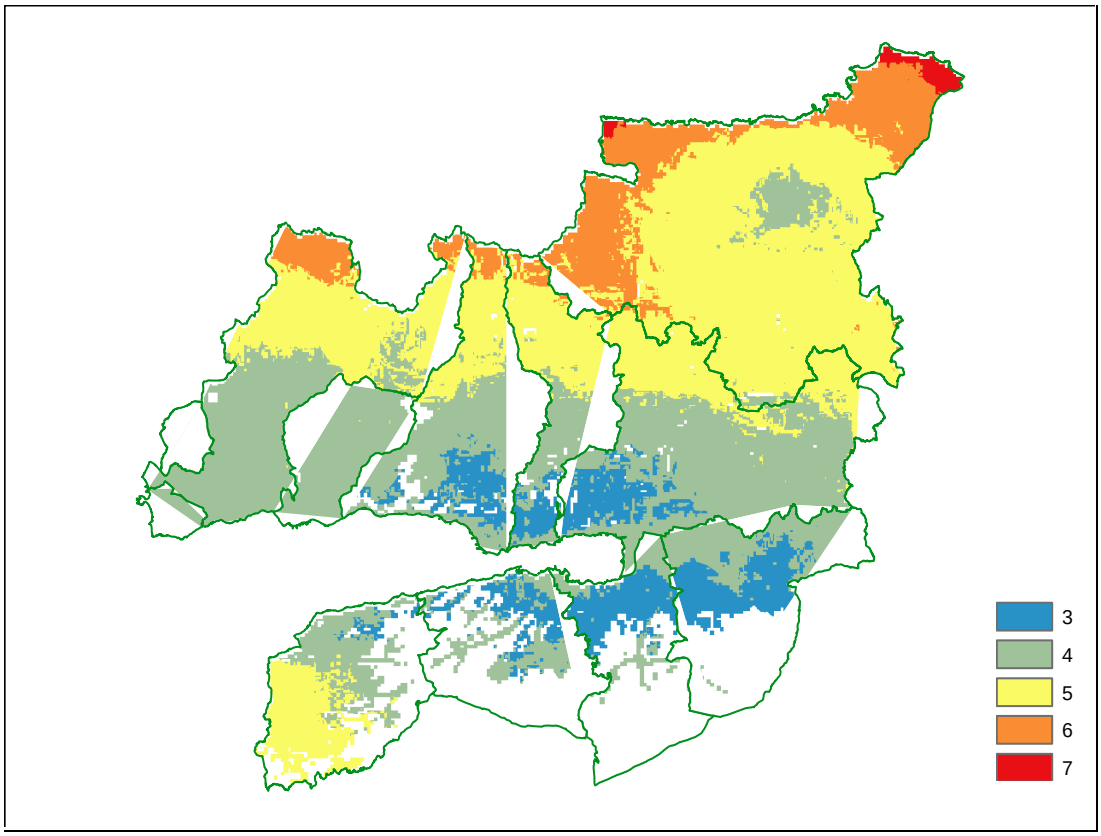


Şekil 3.16. Risk algısı ölçütü için uygunluk sınıflandırması

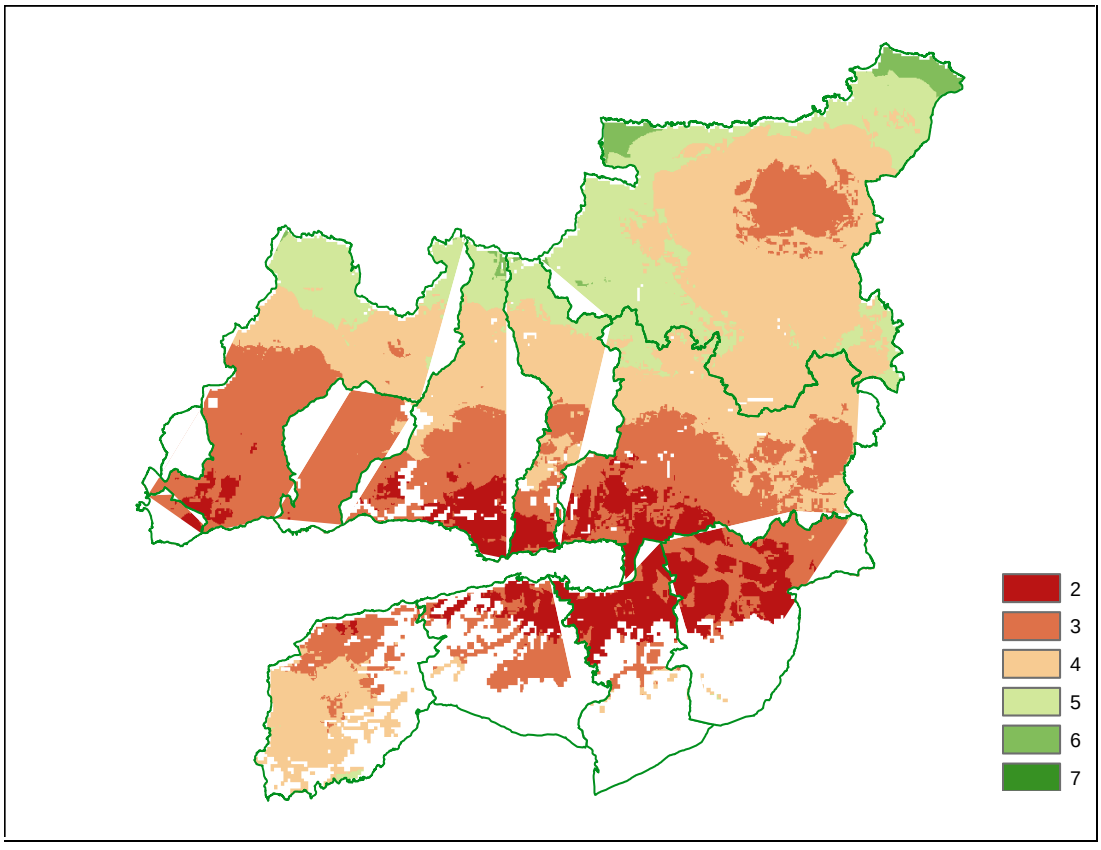


Şekil 3.17. Görünürlük ölçütü için uygunluk sınıflandırması

Uygunluk analizi için kullanılacak olan olurlu bölgeler katmanı Kocaeli'ndeki tüm yerleşim bölgelerini (yerleşim bölgesi olarak planlanan alanların da olursuz bölge olarak kapatıldığı uygulamayı) dikkate alan "Önerilen" ve "Mevzuat" modeli katmanlarıdır (bkz. Bölüm 3.5.1). Uygunluk analizi; 60, 1.000 ve 2.000 dönümden büyük olurlu bölge katmanları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu işlem Tablo 3.7'deki ölçüt ağırlıklarının eşit olarak dağılabileceğinin varsayıldığı bir durum ("Eşit") ve ölçüt ağırlıklarının karar vericiler tarafından tabloda belirlendiği şekliyle uygulandığı bir durum ("Tablo") için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Tüm ölçüt katmanlarının üst üste çakıştırılarak bir uygunluk katsayısının belirlendiği bu uygunluk analizi sonunda eşit ağırlıklar için elde edilen temel katman Şekil 3.18'de ve karar vericilerin ağırlıkları için elde edilen temel katman Şekil 3.19'da sunulmuştur. Bu iki uygulama 3 farklı alan ihtiyacı için ayrı ayrı uygulandığında 6, ve bu 6 yapı da "Önerilen" ve "Mevzuat" modelleri için ayrı ayrı uygulandığında ise toplam 12 ayrı model oluşmaktadır. Çalışmanın dışsallıkların etkisi aşamasında bu 12 farklı yapıya tekrar değinilecektir.



Şekil 3.18. “Eşit” için uygunluk sınıflandırması



Şekil 3.19. “Tablo” için uygunluk sınıflandırması

Uygunluk analizinden elde edilen bilgilere göre; “Mevzuat” model yapısı kullanılarak Kocaeli için yer seçimi metodolojisinin 3. fazında değerlendirilmek üzere seçilen en uygun ilk 10 alanın kodlarını gösteren bilgiler Tablo 3.9’de sunulmuştur (bu pafta bilgileri aynı zamanda "Yer_Karar_1" olarak adlandırılacaktır). Sözü edilen bu üçüncü faz oldukça önemli düzeyde mali kaynak gerektiren bir uygulama olduğu için bu çalışmanın kapsamına alınmamıştır. Ancak tesis yerleri için verilecek nihai kararlar, tabloda verilen aday alanlar için tek tek 3. faz değerlendirmesinin yapılmasının ardından alınmalıdır. Bu değerlendirmelerden bir tanesine Demirarslan ve diğ. (2013)’den ulaşmak mümkündür.

Tablo 3.9. “Mevzuat” yapısı için uygunluk analizi sonuçları

		Pafta Numaraları ve Uygunluk Sıralaması									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Eşit Ağırlıklandırma	60 Dönüm ve Üzeri	346	379	380	381	400	456	457	460	463	464
	1000 Dönüm ve Üzeri	39	41	87	38	40	86	130	45	52	51
	2000 Dönüm ve Üzeri	13	14	31	46	18	17	26	30	15	16
Tablo Ağırlıkları	60 Dönüm ve Üzeri	655	967	457	485	468	122	313	314	320	327
	1000 Dönüm ve Üzeri	130	51	41	38	39	40	43	45	46	48
	2000 Dönüm ve Üzeri	46	17	13	14	15	18	30	9	16	31

Her üç ölçek ihtiyacı için de belirlenmiş olan uygunluk sıralaması, ilgili alanların pafta bilgileri ile birlikte EK G’de sunulmuştur. EK G’de sunulan bu bilgiler “Mevzuat” model yapısı ve yalnızca karar ekibinin belirlediği ağırlıklar için elde edilen bulgulardır. Çalışmada kullanılan model doğrusal bir model olduğundan elde edilen sonuçlar atık miktarlarındaki değişimleri ihmal etmiştir. Bu nedenle Kocaeli ili için yer seçimi çalışmasının 3. fazının gerçekleştirilmesi ve bu pafta bilgilerinin kullanılması durumunda; uygunluk sıralamasında üst sırada yer alan alanların tercih edilmesinin yanında, bu alanlara ait kullanılabilir alan miktarlarının ihtiyaç duyulan miktardan belirli bir güvenlik düzeyinde (tercihen 1.5-2 gibi güvenlik katsayıları ile çarpmak gibi) daha büyük olmasına da dikkat edilmelidir.

3.6. Dışsallıkların Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Yer Seçimi Modeli Üzerine Etkileri

Sonuçları yukarıda özetlenen yer seçimi çalışması sonucunda elde edilen uygunluk sıralamasının dışsal ölçütlerden nasıl etkileneceğinin saptanması için bir etkensel deney tasarımı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan etkensel deney tasarımının özetlendiği Bölüm 2.6.3'de sunulmuş olan Tablo 2.10'daki "A" yapısı; yer seçimi uygulamasında tüm ölçütlerin kullanıldığı yapıyı ifade etmektedir. Bir önceki bölümde (Bölüm 3.5.2) sunulan tüm bulgular da tüm ölçütlerin kullanıldığı bu yapıya göre elde edilen bulgulardır. Çalışmanın bu aşamasından sonra bu bulgular "Yer_Karar_1" olarak adlandırılacaktır.

Yer seçimi yapısında bulunan dışsal ölçütlerin bu kararı nasıl etkilediğine ilişkin bulgular ise bu bölümde sunulacaktır. Burada yapılan iş; "Yer_Karar_1" için uygulanan tüm deneysel adımların Tablo 2.10'da sunulan diğer 15 deney tasarımı yapısı için de ayrı ayrı uygulanmasıdır. Sonuçta bu 15 deney tasarımı için tıpkı "A" yapısında olduğu gibi birer uygunluk sıralaması elde edilmiştir. Bu uygunluk sıralamaları her bir alan ihtiyacı için 4 farklı senaryo ile elde edilmiş ve buna göre kodlanmıştır. Örneğin 60 dönüm alan ihtiyacı için uygulanan senaryoların kodları; "Mevzuat" modelinin "Tablo" ağırlıklandırma değerleri ile uygulandığı senaryo için "60_Mevzuat_Tablo", "Mevzuat" modelinin "Eşit" ağırlıklandırma değerleri ile uygulandığı senaryo için "60_Mevzuat_Eşit", "Önerilen" modelinin "Tablo" ağırlıklandırma değerleri ile uygulandığı senaryo için "60_Önerilen_Tablo", "Önerilen" modelinin "Eşit" ağırlıklandırma değerleri ile uygulandığı yapı için "60_Önerilen_Eşit" şeklindedir. Nihayetinde her 3 alan ihtiyacı için ortaya çıkan toplam senaryo sayısı 12 olmuştur. Bu senaryolar, sözü edilen 16 etkensel deney tasarımı için ayrı ayrı uygulandıktan sonra elde edilen olurlu bölgelere rastgele birer pafta kodu verilmiştir. CBS yardımıyla 10x10 çözünürlükteki gridlere bölünen bu alanların her birinin içerdiği tüm gridlerde elde edilmiş olan uygunluk değerleri alanın tamamı için normalize edilerek her bir alan için bir uygunluk değeri elde edilmiştir. Uygunluk değerlerine göre yapılan sıralamalardan bir tanesi örnek olarak Tablo 3.10'de sunulmuştur.

Tablo 3.10. “1000_Mevzuat_Tablo” senaryosu için 16 farklı deney tasarımından elde edilen uygunluk sıralamaları

Uygunluk Sırası	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Yapı	Parsel Kodları									
A	130	51	41	38	39	40	43	45	46	48
B	51	38	39	40	41	43	45	46	48	49
C	130	51	22	38	39	41	43	45	48	49
D	51	130	38	39	41	43	45	48	49	50
E	130	52	22	39	41	49	50	51	83	45
F	52	130	22	39	41	49	50	51	83	45
G	130	52	22	51	20	39	41	49	50	129
H	130	52	51	20	22	39	41	49	50	83
I	130	38	39	40	41	43	45	46	47	48
J	38	39	41	43	45	46	48	50	51	52
K	130	22	38	39	41	43	45	46	48	49
L	38	39	41	43	45	48	50	51	52	83
M	130	20	22	39	41	52	50	99	83	51
N	39	41	52	50	99	130	83	51	20	48
O	130	52	20	22	39	41	49	50	51	99
P	20	39	41	50	52	130	22	48	51	129

12 farklı senaryo için ayrı ayrı gerçekleştirilen 16 deney tasarımı sonucundan yararlanarak, Bölüm 2.6.3’de tanımlanmış olan “Ana Etkenler”in nihai kararı (uygunluk sırasını) ne şekilde değiştirdiğinin tespiti için bir istatistiksel çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada; 16 farklı deneyin birbirlerine göre değişim durumlarının tespiti için “P” yapısı (hiçbir ana etkenin yer seçimi prosedürüne dâhil edilmediği yapı) referans alınmıştır. Tablo 3.10’da sunulan tüm sıralamalar için “P” referans yapısına göre istatistiksel bir karşılaştırmayı mümkün kılabilmek adına veriler bir normalizasyon uygulamasına tabi tutulmuştur. Bu uygulamada; A – P aralığındaki tüm yapılar için, herhangi bir sıradaki parsel kodu P yapısının ilgili sırasındaki parsel kodu ile aynıysa bu parsel kodu “1” olarak işaretlenmiştir (hiçbir değişikliğe neden olunmamış). Söz konusu parsel kodu “P” yapısında bulunan ilgili sıradaki kod hariç her hangi bir parsel kodu ile aynıysa “0” değeri atanmıştır (ilk 10 değer içinde bir değişikliğe neden olunmuş). Söz konusu parsel kodu “P” yapısında bulunan parsel kodlarından tamamen farklı bir değer almış ise bu kod “-1” olarak işaretlenmiştir (büyük bir değişikliğe neden olunmuş). Bu durumda P yapısına atanan değerlerin tamamı “1” olacaktır. Örneğin, söz konusu uygulama yardımı ile Tablo 3.10’deki değerlerin dönüşeceği yapı Tablo 3.11’da sunulmuştur.

Tablo 3.11. “1000_Mevzuat_Tablo" senaryosu için normalleştirilmiş değerler

Uygunluk Sırası	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Yapı	Normalleştirilmiş Değerler									
A	0	0	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0
B	0	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	0	-1
C	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	0	-1
D	0	0	-1	0	0	-1	-1	1	-1	0
E	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	-1
F	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	-1
G	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1
I	0	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	0
J	-1	1	1	-1	-1	-1	0	0	1	0
K	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1	0	-1
L	-1	1	1	-1	-1	0	0	0	0	-1
M	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0
N	0	0	0	1	-1	1	-1	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	-1
P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

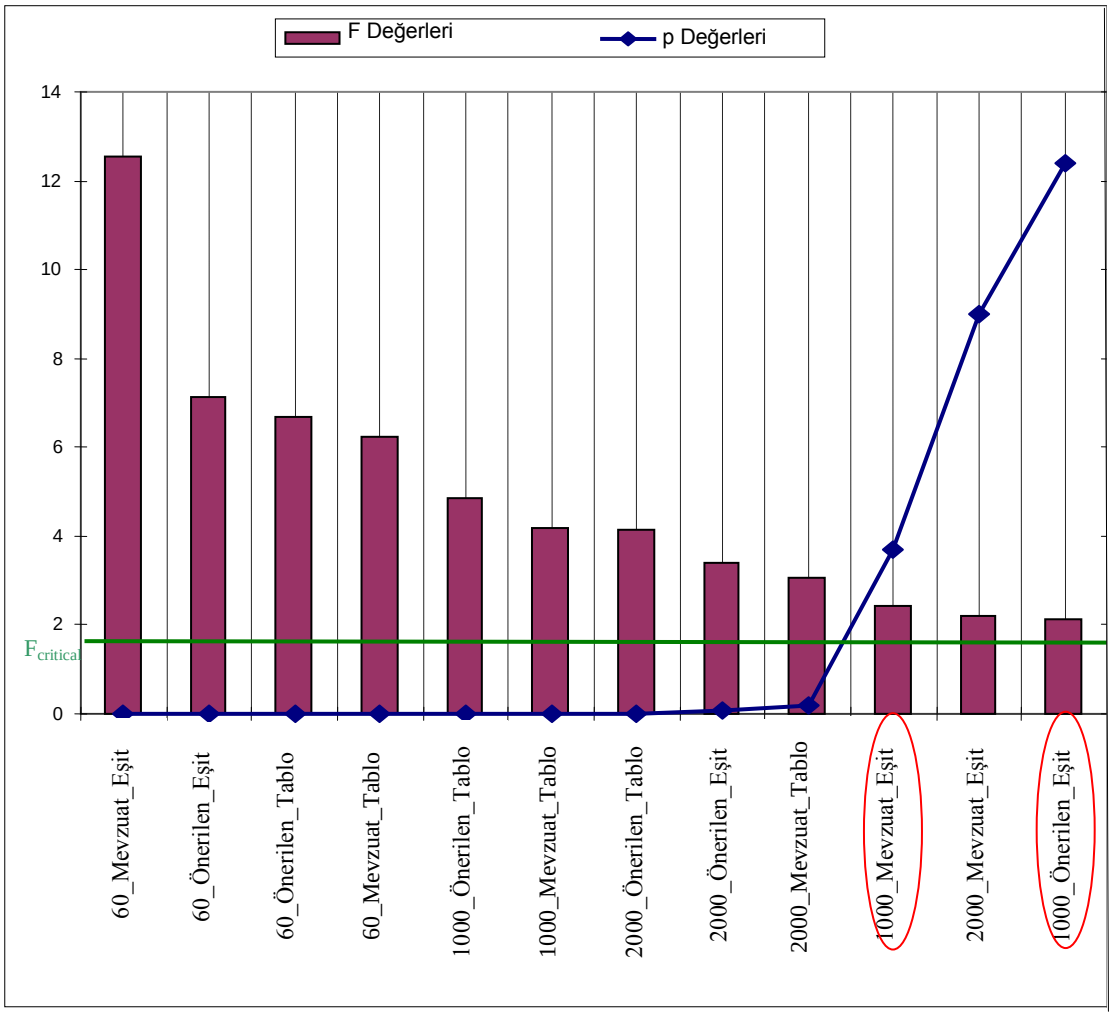
12 farklı senaryo için elde edilen uygunluk sıralaması tabloları Tablo 3.11’da sunulan yapıya uygun olarak ayrı ayrı yeniden düzenlenmiştir. Her senaryonun ilgili deney tasarım setindeki deneylerinin istatistiksel olarak anlamlı olanlarını tespit etmek için Excel üzerindeki tek yönlü ANOVA uygulaması kullanılmıştır. Bu uygulama yalnızca anlamlı farklılıklara neden olan deneyleri belirleyebilirken, bu etkileri bir sıraya koyamamaktadır. Bunun için ihtiyaç duyulan post hoc testi, Tukey testi olarak seçilmiştir. Excel’le birlikte kullanılabilen bir açık kaynak XL Toolbox uygulaması yardımıyla tüm deney setleri Tukey testine tabi tutulmuştur. % 95 güvenilirlik düzeyi için elde edilen q değerleri bir sıraya konulmuştur. Bu uygulama sonunda q_{kritik} değerini aşan tüm deneyler deney setindeki anlamlı farklara neden olan deneylerdir. Sıralamada en büyük q değerine sahip olan deney yapısı en büyük değişime neden olan yapıdır. Örneğin 1000 dönüm alan ihtiyacı için söz konusu işlemler uygulandığında deney tasarımları için elde edilen sıralama şablonları Tablo 3.12’de sunulmuştur. Tablodan da anlaşılacağı üzere örneğin “1000_Mevzuat_Eşit” senaryosu için “P” yapısındaki uygunluk sırasını en çok farklılaştıran yapı “A” yapısı ve en az farklılaştıran yapı “L” yapısıdır. H, E ve N yapıları için elde edilen sıralamadaki farklılıklar ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 3.12. 1000 dönüm alan ihtiyaçları için ANOVA ve Tukey testi sonuçları

1000_Mevzuat_Eşit				1000_ Mevzuat _Tablo				1000_Önerilen_Eşit				1000_Önerilen_Tablo			
ANOVA ($F_{KRİTİK}$ = 1,74)	F değeri	2,4157		ANOVA ($F_{KRİTİK}$ = 1,74)	F değeri	4,2077		ANOVA ($F_{KRİTİK}$ = 1,74)	F değeri	2,1107		ANOVA ($F_{KRİTİK}$= 1,74)	F değeri	4,8609	
	p değeri	0,0037			p değeri	2 E-06			p değeri	0,0124			p değeri	1 E-07	
Tukey Testi Sonuçları															
Yapı	q	p	Sig [a]	Yapı	q	p	Sig [a]	Yapı	q	p	Sig [a]	Yapı	q	p	Sig [a]
A	6,24	0,001	Var	B	8,86	-4E-5	Var	A	6,02	0,002	Var	B	8,37	-4E-5	Var
D	6,24	0,001	Var	I	8,86	-4E-5	Var	B	5,55	0,008	Var	I	8,37	-4E-5	Var
K	6,24	0,001	Var	K	8,30	-4E-5	Var	K	5,55	0,008	Var	J	8,37	-4E-5	Var
O	6,24	0,001	Var	A	7,75	-3E-5	Var	M	5,55	0,008	Var	A	7,81	-3E-5	Var
G	5,79	0,004	Var	C	7,75	-3E-5	Var	L	5,55	0,008	Var	D	7,81	-3E-5	Var
M	5,79	0,004	Var	D	7,20	9,8E-7	Var	I	5,55	0,008	Var	K	7,81	-3E-5	Var
B	5,35	0,015	Var	F	7,20	9,8E-7	Var	O	5,09	0,028	Var	L	7,81	-3E-5	Var
I	5,35	0,015	Var	E	7,20	9,8E-7	Var	D	4,63	0,080	Yok	C	7,81	-3E-5	Var
J	5,35	0,015	Var	H	6,64	0,0003	Var	N	-	-	Yok	E	7,25	-6E-6	Var
C	5,35	0,015	Var	M	6,64	0,0003	Var	G	-	-	Yok	G	6,69	0,0002	Var
F	4,90	0,044	Var	L	6,64	0,0003	Var	H	-	-	Yok	H	6,13	0,0015	Var
L	4,90	0,044	Var	J	6,09	0,0018	Var	E	-	-	Yok	O	6,13	0,0015	Var
H	4,46	0,113	Yok	O	6,09	0,0018	Var	F	-	-	Yok	M	6,13	0,0015	Var
E	-	-	Yok	G	5,54	0,0089	Var	J	-	-	Yok	F	5,58	0,0079	Var
N	-	-	Yok	N	5,54	0,0089	Var	C	-		Yok	N	3,35	0,5735	Yok

a: İstatistiksel anlamlılık

Şekil 3.20, 12 farklı senaryo için ANOVA testlerinden elde edilen sonuçların değişimini göstermektedir. Beklendiği üzere uygunluk sıralamasındaki en büyük farklılaşma, en fazla alternatif sayısına sahip olan 60 dönüm senaryolarında gerçekleşmiştir. Öte yandan, "Önerilen" yapısının kullanıldığı senaryolar "Mevzuat" yapılı senaryolara göre daha az farklılaşma göstermiştir. Bu ise uygun alan sayısının artmasıyla sıralamadaki değişimin de fazlalaşacağı yönündeki bir beklentiyi boşa çıkarmaktadır.



Şekil 3.20. 12 farklı senaryo için ANOVA sonuçları

Bu çalışmada, yer seçimi uygulamaları sonucunda alınan kararlara yapacağı etki düzeyi araştırılan "Ana Etkenler"; deney tasarımı yapısında O (Yerleşim Bölgelerinden Uzaklık), N (Müşterilere Yakınlık), L (Risk Algısı ve Paydaşların Onayı) ve H (Görünürlük) yapıları tarafından temsil edilmektedir. Bunlara ilave olarak "D", "F", "G", "J", "K" ve "M" yapıları bu 4 etken arasındaki ikili etkileşimleri ifade etmektedir. Aynı şekilde "B", "C", "E" ve "I" yapıları etkenler

arasındaki üçlü etkileşimleri ifade ederken “A” yapısı dörtlü bir etkileşimi ifade eder. Bu etkileşimler açısından, etkileşime neden olan ana etkenlerden hangisinin ne kadar büyüklükte bir farklılaşmaya neden olduğunu saptamak, mevcut CBS tabanlı deney yapısından ötürü oldukça güçtür. Bu zorluğu aşmak için, ikili, üçlü ve dörtlü etkileşimler açısından etkileşime neden olan tüm etkenlerin eşit oranda bir etkiye sahip olduğu varsayılacaktır. Bu durumda deney seti toplamda 4 ana etken, 6 ikili etkileşim, 4 üçlü etkileşim ve 1 dörtlü etkileşim içeren bir yapıdır ve bu 15 yapının nihai karar üzerinde yarattığı farklılaşmanın miktarının ayrı ayrı tespit edilmesi gerekir. Bu amaçla yapılan yeni bir normalizasyon uygulamasında, bir önceki aşamada elde edilmiş olan q-değerleri küçükten büyüğe (etki sıralaması) sıralanmıştır. En büyük q-değeri göstermiş olan yapı 15 etki seviyesi değeri (ESD) olarak işaretlenmiş ve bu birer birer azaltılarak devam ettirilmiştir. Her bir senaryo için ESD değerlerinin toplamı o senaryonun toplam etki seviyesi değeri (TESD) olarak belirlenmiş ve deney yapılarının ESD değerleri TESD değerine göre normalize edilmiştir. Bu değer normalleştirilmiş etki değeri (NED) olarak anılacaktır.12 senaryo için yürütülen istatistiksel çalışmaların sonuçları Tablo 3.13’de sunulmuştur.

Hangi ana etkenin karar üzerinde daha çok etkiye sahip olduğunun anlaşılabilmesi için tabloda sunulan etki sıralaması ve NED değerlerinin basitleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla; her etkenin NED değerine, içerisine dâhil olduğu diğer etkileşimlerden gelen NED payının eklenmesi ile elde edilen son etki değerleri (SED) elde edilmiştir. Örneğin “H” yapısının SED değeri; “H” yapısının NED değeri, "D", "F", ve "G" yapılarının NED değerlerinin yarısı, B", "C", ve "E" yapılarının NED değerlerinin üçte biri ve “A” yapısının NED değerinin dörtte birinin toplamına eşittir. Bu işlem ana etkenlerin tümü için ve tüm senaryolarda aynı şekilde uygulanmış olup sonuçlar Tablo 3.14’de sunulmuştur.

Tablo 3.14’deki yuvarlanmış değerlerden de görülebileceği üzere 12 senaryonun 7 tanesinde en düşük SED değerine sahip olan ana etken “N” yapısı yani müşterilere yakınlık ölçütü olarak görülmektedir. En yüksek SED değerine sahip olan ana etkenler konusunda ise bazı farklılıklar mevcuttur. 12 senaryonun 5 tanesinde “L” yapısı yani risk algısı ölçütü en yüksek SED değerini sağlarken 12 senaryonun iki tanesinde “H” yani görünürlük ölçütü en yüksek değeri almaktadır. Aynı şekilde en

yüksek ikinci SED değerleri için bir değerlendirme yapıldığında 12 senaryonun 6 tanesinde "L" yapısı ve 3 tanesinde "H" yapısı en yüksek SED değerlerini sağlamaktadır. Bu bulgulara göre, dışsal yer seçimi ölçütleri olarak saptadığımız görünürlük ve risk algısı ölçütlerinin "Yer_Karar_1" açısından bir değişime neden olma konusunda yapacağı etkinin ihmal edilebilir bir düzeyde olmadığı istatistiksel olarak çok açıktır.

Tablo 3.13. Ana etkenler ve ana etkenler arası etkileşim yapıları için elde edilen etki sıralaması ve NED (%) değerleri

60 dönüm								1000 dönüm								2000 dönüm							
Mevzuat_Eşit		Mevzuat_Tablo		Önerilen_Eşit		Önerilen_Tablo		Mevzuat_Eşit		Mevzuat_Tablo		Önerilen_Eşit		Önerilen_Tablo		Mevzuat_Eşit		Mevzuat_Tablo		Önerilen_Eşit		Önerilen_Tablo	
H	0,8	I	0,8	C	0,8	N	0,8	H	0,0	N	0,8	D	0,0	N	0,0	F	0,0	E	0,0	H	0,0	K	0,0
N	1,7	B	1,7	A	1,7	I	1,7	E	0,0	G	1,7	N	0,0	F	1,7	K	0,0	G	0,0	N	1,7	H	0,0
F	2,5	F	2,5	B	2,5	K	2,5	N	0,0	O	2,5	G	0,0	M	2,5	M	0,0	N	0,0	F	2,5	F	0,0
B	3,3	N	3,3	D	3,3	F	3,3	L	3,5	J	3,3	H	0,0	O	3,4	E	0,0	O	0,0	D	3,4	O	3,5
M	4,8	M	4,2	E	4,2	M	4,2	F	4,4	L	4,2	E	0,0	H	4,2	J	4,5	F	0,0	B	4,2	M	4,4
L	5,0	L	5,0	F	5,0	O	5,0	C	5,3	M	5,0	F	0,0	G	5,0	I	5,4	H	5,7	J	5,0	G	5,3
E	5,8	K	5,8	G	5,8	H	5,8	J	6,1	H	5,8	J	0,0	E	5,9	L	6,4	C	6,7	E	5,9	N	6,1
J	6,7	J	6,7	H	6,7	C	6,7	I	7,0	E	6,7	C	0,0	C	6,7	O	7,3	D	7,6	C	6,7	D	7,1
A	7,5	H	7,5	I	7,5	L	7,5	B	7,9	F	7,5	O	11	L	7,6	H	8,2	M	8,6	I	7,6	I	7,9
D	8,3	E	8,3	J	8,3	J	8,3	M	8,8	D	8,3	I	12	K	8,4	B	9,1	I	9,5	L	8,4	C	8,8
I	9,8	D	9,2	K	9,2	D	9,2	G	9,6	C	9,2	L	13	D	9,2	G	10	B	10	M	9,2	A	9,6
O	10	O	10	L	10	G	10	O	10	A	10	M	14	A	10	N	11	K	11	O	10	E	10
K	11	C	11	M	11	B	11	K	11	K	11	K	16	J	11	C	12	A	12	K	11	L	11
G	12	A	12	N	12	A	12	D	12	I	12	B	17	I	12	A	13	L	13	G	12	B	12
C	13	G	13	O	13	E	13	A	13	B	13	A	18	B	13	D	14	J	14	A	13	J	13

Tablo 3.14. Ana etkenler için elde edilen etki sıralaması ve SED (%) değerleri

60 dönüm								1000 dönüm								2000 dönüm							
Mevzuat_Eşit		Mevzuat_Tablo		Önerilen_Eşit		Önerilen_Tablo		Mevzuat_Eşit		Mevzuat_Tablo		Önerilen_Eşit		Önerilen_Tablo		Mevzuat_Eşit		Mevzuat_Tablo		Önerilen_Eşit		Önerilen_Tablo	
N	16	N	16	N	18	N	20	N	18	N	22	H	10	N	20	O	21	H	18	H	18	H	19
H	21	L	23	H	23	O	23	H	21	O	23	N	21	O	22	N	21	O	19	N	19	O	20
L	28	H	29	L	29	L	27	L	28	H	27	O	34	H	23	L	27	N	21	L	28	N	28
O	34	O	31	O	30	H	30	O	33	L	29	L	35	L	35	H	30	L	42	O	36	L	34

4- SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Evsel katı atık işleme ve bertaraf tesislerinin yer ve yöntem seçimi karar aşamalarında dışsallıkların çoğunlukla dikkate alınmıyor oluşunun farklı nedenleri olabilir. İlk olarak; dışsallıkların dikkate alınması ile alınmaması durumlarında elde edilen nihai kararların proses tipi ve yeri açısından bir değişikliğe neden olmayacağı varsayılıyor olabilir. Bu kabul bilimsel olarak sorgulanmak durumundadır ve bu tez çalışmasının temel amaçlarından biri de budur. İkincil olarak ; atık işleme ve bertaraf faaliyetini sürdüren işletmenin bu faaliyetler neticesinde neden olduğu dışsallıkları bir şekilde ödemesi ya da engellemesi sağlanmıyorsa, işletme açısından dışsallıkların karar aşamasında olması ya da olmaması bir şey ifade etmez. Zira mevcut iktisadi koşullarda işletmelerin temel güdüsü; en düşük içsel maliyetli alternatifi seçmek, en yüksek karlılığı sağlamaktır. Burada göz ardı edilen husus ise söz konusu faaliyetlerden kaynaklanan negatif dışsallıkların çevre ve halk sağlığı üzerinde oluşturulan olumsuzluklara eşdeğer olduğudur. Ve son olarak, atık işleme ve bertarafından sorumlu olan işletmenin faaliyet neticesinde neden olduğu dışsallıklarının bir şekilde hesaplanıp bu zararları için bir ödeme yapması sağlanmıyor olabilir. Aksi bir durum içinse mevcut iktisadi yapı açısından tek bir refleks mevcut görünüyor: Söz konusu iktisadi yapı; ödemek zorunda kaldığı dışsallıklarını içselleştirerek, tüm maliyeti hizmet verdiği yerleşimcilerden tahsil etmek yönünde hareket edecektir. Bu da yerleşimcilerin cebinden fazladan para çıkması anlamına gelir. Öte yandan bu parasal değerleme ve ödettirme müdahalesinin zeminlerini, henüz faaliyete başlamadan önce atmak da mümkündür. Kuşkusuz bu durumda da mevcut sistem "param kadar kirletirim" gibi bazı kaçış noktaları sunacaktır. Ancak, ideal koşullar yani negatif dışsallıkları mutlak suretle en aza indirmeyi görev edinen bir yönetim durumunda ilgili faaliyetin dışsallıklarını önceden en aza indirmek mümkün olabilir. Bu durumda da, söz konusu faaliyet için dışsallıkların dikkate alınmasının bir farklılığa yol açıp açmayacağının bilinmesi gerekir. 90'lı yıllarda özellikle enerji yatırımları için kanıtlanmış olan bu değişimler atık yönetimi konusunda henüz gösterilmemiştir. Bu tez çalışmasının temel motivasyonu da bu eksikliği hiç değilse ülke açısından doldurabilmektir.

Her karar yapısında olduğu gibi atık yönetiminde de dışsallıkları en aza indirecek bir karar verebilmenin ön koşulu, alternatiflerin dışsallık miktarlarına ilişkin bir karşılaştırmayı mümkün kılmaktır. Bu da dışsallıkların bir şekilde önceden belirlenmesi ile mümkündür. Fakat burada bir takım soru işaretleriyle karşılaşırız. Öncelikle; atık yönetimi gibi bir karar probleminde alternatiflerin neden olacağı dışsallıkların para ya da herhangi bir birim üzerinden doğru bir biçimde belirlenmesi (değerlenmesi) ve karşılaştırılması oldukça zordur. Alternatifin neden olacağı dışsallıklar için yapılacak bir değerleme; zaman, mekân ve sosyoekonomik yapı gibi çok sayıda değişkenden etkilenen bir büyüklüktür. İkincil olarak; bu çalışmada ele alındığı anlamıyla dışsallıklar iktisadi bir faaliyetin çevre ve insan sağlığı üzerinde yaratacağı olumsuz etkilerdir. Bu da yapılacak olan parayla değerleme uygulamasının doğal varlıklara bir fiyat biçme uygulaması olarak eleştirilmesini mümkün kılar. Zira doğal varlıkların para üzerinden değerlenmesi, parasal dışsal değerin içselleştirilerek doğal varlıkların alınıp satılabilir birer meta haline getirileceği yeni uygulamaları meşrulaştırmanın bir yolu olarak değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara ve önerilere geçilmeden önce; yukarıdaki paragrafta değinilen iki haklı eleştirinin, bu tez çalışmasının özellikle yöntem seçimi aşaması açısından hemen burada tartışılması son derece elzemdir. Yer seçimi aşamasında herhangi bir parasal değerleme uygulaması yapılmadığı için bu konu şimdilik bir kenara bırakabilinir.

İlk olarak; bu tez çalışmasının yöntem seçimi aşaması, atık işleme ve bertarafı ile ilgili dışsallıkların tespitini değil bu dışsallıkların nihai kararlar üzerine etkisini tartışma iddiasındadır. Tezin çalışma sahası olan Kocaeli için daha önce böyle bir değerleme çalışması da yapılmadığından bazı kabullere ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle çalışmada kullanılan yöntem dışsallıklarının miktarı, tüm alternatifler için aynı çalışmadan alınmış olup olası belirsizliklerin bu şekilde önüne geçilmeye çalışılmıştır. Ortaya çıkan belirsizliğin miktarı da, bir Monte Carlo simülasyonu ile gösterilmeye çalışılmıştır.

Doğal varlıkların para üzerinden değerlenmesinin meşrulaştırılması konusundaki son derece haklı diğer eleştiriye gelince bu tez çalışması açısından söylenebilecek ilk şey; çalışmada hedeflenen noktanın doğrudan karar aşamasının kendisi olmasıdır. Bu

çalışmada para ile gerçekleştirilen dışsallık değerleme uygulamasının gelecekte, yer seçiminde olduğu gibi algı, görünürlük vs. gibi başka birimlerle gerçekleştirilmesi pek ala mümkündür. Bu yolla, henüz karar aşamasındayken yöntem seçimi süreçlerine müdahale etmenin yolunu açmak ve bunu doğal varlıkların sağlığı açısından zorunlu bir hale getirmek, doğal varlıkların metalaştırılması uygulamalarının meşrulaştırılması sorununu otomatik olarak ortadan kaldırabilecektir.

Bu tez çalışmasının yöntem seçimi aşamasında elde edilen bulgulara göre; atık işleme ve bertaraf tesisleri için yöntem seçerken dışsallıkların dikkate alınması ile elde edilen kararlar, mevcut pratiklerde hâkim olan dışsallıkları dikkate almama durumuna göre önemli farklılıklara neden olabilmektedir. Bu farklılıkların işaret ettiği iki önemli husus bulunmaktadır. İlk olarak; mali değerleme ve kazanç tartışmalarını bir kenara bırakırsak dışsallıkların en az olduğu alternatifi önceden belirlemek, çevre ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri de en aza indirmek anlamına gelecektir. İkincil olarak; dışsallıkların henüz karar aşamasındayken dikkate alınması kişi başına yıllık atık bertaraf maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu azalma miktarları bu çalışmada uygulanan Kocaeli örneği için 1–8 Euro/kişi.yıl olarak tespit edilmiştir. Proje süresi boyunca yerleşimciler tarafından karşılanacak olan ve binlerce milyon Euro gibi rakamların zikredildiği toplam proje maliyetleri açısından bir değerlendirme yapıldığında ise % 2-13 arasında önemli bir düşüş hesaplanmıştır. Buna göre; oluşan dışsallıkların faaliyetin yürütücü tarafından halka ödettirilmek suretiyle içselleştirilmesi gibi tartışmalı bir uygulamaya gidilme olasılığında dahi yerleşimcilerin mali yükümlülüğü önceden önemli bir oranda azaltılmış olacaktır.

Bu tez çalışmasının yöntem seçiminde dışsallıklar ile ilgili kısmında yapılan bazı kabuller çeşitli belirsizlikleri bünyesinde barındırmaktadır ve bu belirsizliğin boyutu bir simülasyon çalışmasıyla da gösterilmiştir. Öncelikle, kullanılan dışsallıklar başka bir bölge için elde edilen değerlerdir ve Kocaeli'ndeki gerçek durumu yansıtmaz. Ayrıca çalışmada kullanılan dışsallık senaryolarının temel kabulü olan; her prosese ait dışsallık miktarlarının orantılı olarak azalıp artacağı da her zaman doğru olmayabilir. Ve son olarak dışsallık miktarlarındaki değişimler için çeşitli senaryolar hazırlarken içsellik miktarlarındaki değişimlerin sabit tutulması da önemli bir

belirsizliğe neden olmaktadır. Yine de, çalışmanın belirsizliklerle ilgili bölümünde detaylandırılan bu ve benzeri belirsizliklerin ortadan kaldırılması yeni oluşturduğumuz ve son derece kullanışlı doğrusal model yapımıza ileride yapılabilecek müdahalelerle kolayca sağlanabilecektir. Bu anlamda bu tez çalışmasında elde edilen bulguları bir ön değerlendirme sonuçları olarak düşünmek daha doğru olacaktır.

Evsel atık işleme ve bertaraf tesisleri için yer seçimi konusunda dışsallıkların mali olarak ifadesi oldukça güçtür. Ayrıca yukarıda sözü edilen nedenlerden ötürü ciddi tartışmalara da gebe olan bu uygulama yerine yer seçimi aşamasında farklı bir uygulamaya gidilmiştir. Bu uygulama; bir atık işleme ve bertaraf tesisinin nereye yapılacağı konusundaki karar mekanizmasının dışsallık oluşturabilecek ölçütler olarak değerlendirilebilecek "Risk Algısı ve Paydaşların Onayı" ve "Görünürlük" ölçütlerinin yer seçimi karar yapısında göz önünde bulundurulması ile bulundurulmaması arasındaki farklılıkların araştırılması şeklindedir. Bu çalışma özelinde Kocaeli için yürütülen yer seçimi çalışması sonucunda; bu iki dışsal ölçütün karar yapısında bulunması ile bulunmaması arasında istatistiksel olarak son derece anlamlı farklar olduğu gösterilmiştir. Bu anlamda tesislerin yer seçimleri sırasında, sözü edilen bu iki ölçütün karar yapısında bulundurulmasının çevre ve halk sağlığı açısından oluşabilecek zararların önceden önlenmesini sağlayabileceği son derece açıktır. Olası bir tesisin riskli algılanıp algılanmayacağı büyük oranda öznellik içereceği için görünürlük gibi somut bir kavram üzerinden karar yapısına müdahale etmek ise bu aşamada daha akılcı görülmektedir.

Çalışmadan çıkarılabilecek diğer sonuç ve önerileri ise şu şekilde özetlemek mümkündür:

– Yöntem seçimi maliyet optimizasyon modelinde kullanılan karma tam sayılı modellerin evsel katı atık kütlesinin modellenmesinde kullanıldığı pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Öte yandan bu çalışmaların, atık kütlesini bütüncül olarak nasıl hareket ettirdiği ise son derece belirsizdir. İlk olarak Solano ve diğ. (2002a) ve Solano ve diğ. (2002b) tarafından tanımlanıp çözülmeye çalışılan bu sorun, şimdiye dek yalnızca modele başlangıçta sunulan alternatif çözümlerin olması halinde işlerlik kazanabilmiştir. Asıl sorun olan modele doğrudan en iyi çözümün sorulması hali ise

hala yanıtsızdır. Bu tez çalışmasında bu sorunun cevabı parçalı bir proses kütle dengesi yapısı ile verilmiştir (Bu yapının detaylarına Korucu ve diğ. (2014)'den ulaşmak mümkündür). Bu açıdan bakıldığında, bu tez çalışmasıyla birlikte evsel katı kütlesinin doğrusal olarak modellenebilmesi konusunda önemli bir gelişme sağlandığını söylemek mümkündür. Ayrıca tamamen doğrusal olarak yapılandırılabilen bu model, alınacak nihai kararın mutlak doğru olduğunu da garanti eden bir yapı sunduğundan, bu yeni model yapısının karar vericilere önemli kolaylıklar sağlayabileceği açıktır. Çalışmada ortaya çıkarılan bu yeni modelin GLPK Lab Editöründe kullanılan işlem ve veri dosyaları EK H'de sunulmuştur. EK H'de sunulan dosyalar çalışmanın "Yüksek_Düzey_Dışsallık" (5,5,75,75,35) senaryosunun depolama alan sayısının sınırlandırılmadığı biçimi için uygulanmış halini göstermekte olup, çalışmamızda kullanılan sayısal veriler, çok büyük alan kaplayacağı için veri dosyasında gösterilmemiştir. Bunun yerine, sayısal verilerin geleceği yerler üç nokta ("...") ile işaretlenmiştir. Söz konusu iki dosya, çalışılması istenen herhangi bir bölge için, bölgeye özgü modelleme değişikliklerini yapmak, işlem dosyasını düzenlemek ve veri dosyasına parametre verilerini yıllar bazında girmek suretiyle kolaylıkla kullanılabilir.

– Evsel katı atık yönetimi için salt matematiksel modellerle gerçekleştirilecek bir karar süreci uygulamada önemli sorunlara neden olacaktır. Bu nedenle bu tür matematik modellerin başka karar verme mekanizmaları ile desteklenmesi gerekir. Tüm paydaşların aktif bir katılımını gerektiren atık yönetimi gibi süreçler açısından en uygun destek mekanizmasının da çok ölçütlü karar verme mekanizmaları olduğu söylenebilir. Bu mekanizmalarla elde edilecek paydaş görüşleri ve teknik bilgilerin matematiksel modellere aktarılması ve sonuçlara katılımcıların beklentileri yönünde müdahalelerde bulunmak olumlu sonuçlar doğurabilir. Fakat kullanılan çok amaçlı karar mekanizmasının süreç açısından uygunluğu mutlaka etüt edilmelidir. Zira AHP ve ANP gibi birbirinden türetilmiş iki mekanizma bile özellikle alt ölçütler konusunda farklı sonuçlar gösterebilmektedir (bkz. Korucu ve diğ., 2011). Bu tez çalışmasında kullanılan matematik modelden elde edilen nihai karar sonuçları, çok ölçütlü karar yapısında elde edilen bulgular aracılığıyla modele geriye dönük bir müdahalede bulunmayı gerektirecek işaretler sunmamıştır. Ancak bu ideal durum her koşul için sağlanamayabileceğinden, bu gibi karar destek mekanizmalarının mutlak suretle uygulanıp kenarda bekletilmesi faydalı olacaktır.

– Mevcut yer seçimi uygulamalarında kullanılan karar mekanizmalarının büyük bir çoğunluğu çok ölçütlü karar mekanizmaları olup bu yapıların söz konusu problemin doğası açısından büyük kolaylıklar sağladığı çok açıktır. Öte yandan bu mekanizmaların hali hazırdaki kullanımlarının; özellikle mekanizmanın ekonomik yapı lehinde biçimlendirilme eğilimi, sosyal ölçütlerin kullanımındaki sınırlılık gibi sorunlarından ve olası hatalı yapılandırmalardan ötürü (bkz. Korucu, 2011) ciddi bir eleştirisi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan bu türden bir eleştiriye Korucu ve Erdağı (2012a) ve Korucu ve Erdağı (2012b)'den ulaşmak mümkündür.

– Atık işleme ve bertaraf tesislerinin yer seçimi konusunda Türkiye'deki mevzuat son derece yetersizdir. Özellikle tampon bölge uygulamaları konusunda göze çarpan bu yetersizliğin kapsamlı bir değerlendirmesine Korucu ve Karademir (2012)'den ulaşmak mümkündür. Bu mevzuatın derhal gözden geçirilip ulusal bir yer seçimi standardı oluşturmak önemli bir gereklilik olarak karşımızda durmaktadır.

– Mevcut yer seçimi uygulamalarının yukarıda sözü edilen türden sorunlarından dolayı bu tez çalışmasında oluşturulan yeni bir karar yapısı tez çalışmasının yer seçimi aşamasında kullanılmıştır. Kocaeli özelinde de bir uygulaması gerçekleştirilen (bkz. Korucu ve diğ., 2013) bu yeni yapının kullanılması yer seçiminin toplumsal ve çevresel zararlarını en aza indirmek için olumlu sonuçlar doğurabilir. Ancak nihai karar alınmadan önce, sözü edilen karar yapısında tanımlanan son karar verme fazındaki işlemlerin (örneğin Demirarslan ve diğ., 2013 gibi) mutlaka gerçekleştirilmesi gerektiği akıldan çıkarılmamalıdır.

– Bu tez çalışmasının yer seçimi aşamasında yapılan deneysel çalışmalar; "risk algısı ve paydaşların onayı" ile "görünürlük" gibi dışsallık oluşturduğu bilinen ölçütlerin karar mekanizmasına dâhil edilmesinin, son derece önemli farklara neden olduğu yine bu çalışmada oluşturulan istatistiksel bir yaklaşımla gösterilmiştir (bkz. Korucu ve Karademir, 2013b; Korucu ve Karademir, 2014). Bu anlamda yer seçimi çalışmaları sırasında özellikle "görünürlük" dışsal ölçütünün karar mekanizmasına dâhil edilmesi çok olumlu sonuçlar doğurabilir. Bu gerekliliğin mevzuat ile desteklenmesi de oldukça faydalı olacaktır. Ayrıca çalışmada elde edilen senaryo temelli bulgular; yer alternatifinin ne kadar çok olursa nihai kararın dışsallıklardan etkilenme oranının o kadar az olacağı gibi bir kabulün geçersiz olduğunu da göstermiştir. Bu açıdan bakıldığında, yer alternatifi çok olan bölgeler için dahi bu gibi bir sorgulamayı gerçekleştirmenin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

AAKY, Ambalaj atıklarının kontrolü yönetmeliği, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Resmi Gazete: 28035, 2011.

ADDDY, Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik, T.*C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Resmi Gazete: 27533, 2010.

AYİY, Atıkların yakılmasına ilişkin yönetmelik, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Resmi Gazete: 27721, 2010.

Abou Najm M., El-Fadel M., Computer-based interface for an integrated solid waste management optimization model, *Environmental Modelling and Software*, 2004, **19**(12), 1151-1164.

Akbari V., Rajabi M. A., Chavoshi S. H., Shams R., Landfill site selection by combining GIS and fuzzy multi criteria decision analysis, case study: Bandar Abbas, Iran, *World Applied Sciences Journal*, 2008, **3**, 39-47.

Badran M., El-Haggar S., Optimization of municipal solid waste management in Port Said-Egypt, *Waste Management*, 2006, **26**, 534-545.

Bazaraa S. B., Sherali H. D., Shetty C. M., *Nonlinear programming*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2006.

Begievi N., Divjak B., Hunjak T., Decision-making on prioritization of projects in higher education institutions using the analytic network process approach, *Central European Journal of Operations Research*, 2010, **18**(3), 341-364.

Boyd S., Vandenberghe L., *Convex Optimization*, Cambridge UP, 2004.

Chang Y. F., Lin C. J., Chyan J. M., Chen I. M., Chang J.E., Multiple regression models for the lower heating value of municipal solid waste in Taiwan, *Journal of Environmental Management*, 2007, **85**, 891-899.

Cheng S., Chan C. W., Huang G. H., Using multiple criteria decision analysis for supporting decisions of solid waste management, *Journal of Environmental Science and Health*, 2002, **37**(6), 975–990.

Cheng S., Chan C. W., Huang G. H., An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2003, **16**, 543-554.

Chiueh P., Lo S., Chang C., A GIS-based system for allocating municipal solid waste incinerator compensatory fund, *Waste Management*, 2008, **28**(12), 2690-2701.

ÇEDY, Çevresel etki değerlendirmesi yönetmeliği, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Resmi Gazete: 26939, 2008.

Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs), A study to estimate the disamenity costs of landfill in Great Britain: final report, *Department for Environment, Food and Rural Affairs of UK*, PB 7273, 2003.

Demirarslan K. O., Korucu M. K., Karademir A., Katı atık depolama alanlarının nihai yer seçiminde coğrafi bilgi sistemleri ve kirlilik dağılım modellerinin birlikte kullanımı için bir yöntem önerisi, *Uluslararası Katılımlı V. Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, Eskişehir, Türkiye, 18-20 Eylül 2013.

Dursun M., Evaluating solid waste management scenarios using fuzzy multi-criteria decision making approaches, Master Thesis, Galatasaray University, Institute of Science and Engineering, İstanbul, 2007, 213591.

Dijkgraaf E., Vollebergh H. R. J., Burn or bury? a social cost comparison of final waste disposal methods, *Ecological Economics*, 2004, **50**(3-4), 233-247.

EHCIP, Yüksek maliyetli çevre yatırımlarının planlanması projesi, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, 2005.

Eshet T., Ayalon O., Shechter M., A critical review of economic valuation studies of externalities from incineration and landfilling, *Waste Management and Research*, 2005, **23**(6), 487-504.

Eshet T., Ayalon O., Shechter M., Valuation of externalities of selected waste management alternatives: a comparative review and analysis, *Resources, Conservation and Recycling*, 2006, **46**(4), 335-364.

Eshet T., Baron M. G., Shechter M., Externalities from landfills and transfer stations: applying and testing the benefit transfer method, Editors: Lehmann E. C., *Landfill research focus*, Nova Science Pub Inc., New York, 153-198, 2007a.

Eshet T., Baron M. G., Shechter M., Ayalon O., Measuring externalities of waste transfer stations in Israel using hedonic pricing, *Waste Management*, 2007b, **27**(5), 614-625.

Fiorucci P., Minciardi R., Roba M., Sacile R., Solid waste management in urban areas: Development and application of a decision support system, *Resources, Conservation and Recycling*, 2003, **37**(4), 301-328.

Forman E. H., Gass S. I., The analytic hierarchy process: an exposition, *Operations Research*, 2001, **49**, 469-486.

Gale R. J. P., Stokoe P. K., Environmental cost accounting and business strategy, Editors: Madu C.N., *Handbook of environmentally conscious manufacturing*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 119-136, 2001.

Garrod G., Willis K., Estimating lost amenity due to landfill waste disposal, *Resources, Conservation and Recycling*, 1998, **22**(1), 83-95.

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

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

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

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

Hernandez M. G., Martin-Cejas R. R., Incentives towards sustainable management of the municipal solid waste on islands, *Sustainable Development*, 2005, **13**, 13–24.

Huang G. H., Linton J. D., Yeomans J. S., Yoogalingam R., Policy planning under uncertainty: efficient starting populations for simulation-optimization methods applied to municipal solid waste management, *Journal of Environmental Management*, 2005, **77**, 22-34.

Hung M. L., Ma H., Yang W. F., A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management, *Waste Management*, 2007, **27**, 209-219.

Isely P., Lowen A., Price and substitution in residential solid waste, *Contemporary Economic Policy*, 2007, **25**, 433-443.

İZAYDAŞ, Teklif ve raporlar, *İzmit Atık ve Atıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş Genel Müdürlüğü*, 2011.

Jamasb T., Nepal R., Issues and options in waste management: a social cost–benefit analysis of waste-to-energy in the UK, *Resources, Conservation and Recycling*, 2010 **54**(12), 1341-1352.

Jenkins R. R., Maguire K. M., Morgan C., Host community compensation and municipal solid waste landfills, *Environmental Protection Agency National Center for Environmental Economics of United States*, 0204, 2002.

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

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

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

KAKY, Katı atıkların kontrolü yönetmeliği, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Resmi Gazete: 25777, 2005.

Kinnaman T. C., Policy watch: examining the justification for residential recycling, *The Journal of Economic Perspectives*, 2006, **20**, 219-232.

Kinnaman T. C., The economics of municipal solid waste management, *Waste Management*, 2009, **29**(10), 2615-2617.

Kuruüzüm A., Atsan N., Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları, *Akdeniz İ.İ.B.F Dergisi*, 2001, **1**, 83-105.

KBB ÇKKDB, Kocaeli büyükşehir belediyesi katı atık yönetim planı, *Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı*, 2009.

KOÜ ÇEVRE, Kocaeli ili yaz ve kış dönemi katı atık karakterizasyonu, *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü*, 2008.

Korucu M. K., Karademir A., Durmuşoğlu E., Atık bertarafında riskin algılanması, risk iletişimi ve Kocaeli için bir değerlendirme, *Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli-2008*, Kocaeli, Türkiye, 14-17 Mayıs 2008.

Korucu, M. K., Discussion of 'combining ahp with gis for landfill site selection: a case study in the lake beysehir catchment area (Konya, Turkey), waste management, 30, 11, 2010, 2037-2046', *Waste Management*, 2011, **31**(6), 1250-1251.

Korucu M. K., Alkan A., Karademir A., Aladağ Z., Uludağ O., Evsel Katı atık yönetiminde en uygun bertaraf seçeneğinin belirlenmesi için analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve analitik ağ prosesi (ANP) yöntemlerinin kullanımı ve Kocaeli için bir karşılaştırma, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Samsun, Türkiye, 5-8 Ekim 2011.

Korucu M. K., Erdagi B., 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*, 2012a, **32**(12), 2315-2323.

Korucu M. K., Erdağı B., Evsel katı atıkların nihai bertarafı için yer seçiminde kullanılan çok kriterli karar analizi uygulamalarının bir eleştirisi, *7. Karaburun Bilim Kongresi*, İzmir, Türkiye, 5-9 Eylül 2012b.

Korucu M. K., Karademir A., Evsel nitelikli katı atık bertaraf tesislerinin yer seçimi konusunda Türkiye'deki ulusal mevzuat ve sorunlar, *Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu VII*, İstanbul, Türkiye, 22-23 Kasım 2012.

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

Korucu M. K., Karademir A., Evsel nitelikli katı atıkların işlenmesi ve bertarafı için yöntem seçiminde doğrusal bir maliyet optimizasyon modeli ve belirsizlikler, *Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 29 Mayıs-1 Haziran 2013a.

Korucu M. K., Karademir A., Evsel nitelikli katı atıkların bertarafı için yer seçiminde dışsal kriterlerin nihai karar üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 10. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Ankara, Türkiye, 12-14 Eylül 2013b.

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

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

Korucu M. K., Cihan A., Alkan A., Karademir A., Aladağ Z., Dışsallıkların evsel katı atık işleme ve bertarafı için sistem seçimi üzerine etkileri, *Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*, Gaziantep, Türkiye, 14 -16 Ekim 2015.

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

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

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

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

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

Liamsanguan C., Gheewala S. H., LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW management systems, *Journal of Environmental Management*, 2008, **87**, 132-138.

Lober D. J., Resolving the siting impasse: modeling social and environmental locational criteria with a geographic information system, *Journal of the American Planning Association*, 1995, **61**(4), 482-495.

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

Miranda M. L., Hale, B., Waste not, want not: The private and social costs of waste-to-energy production, *Energy Policy*, 1997**, 25**(6), 587-600.

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

Morrissey A. J., Browne J., Waste management models and their application to sustainable waste management, *Waste Management*, 2004, **24**, 297-308.

Nahman A., Pricing landfill externalities: emissions and disamenity costs in Cape Town, South Africa, *Waste Management*, 2011, **31**(9), 2046-2056.

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

Nilsson-Djerf J., McDougall F., Social factors in sustainable waste management, *Warmer Bulletin*, 2000, **73**, 18–20.

Petts J., Municipal waste management: inequities and the role of deliberation, *Risk Analysis*, 2000, **20**(6), 821–832.

Rabl A., Spadaro J. V., Zoughaib A., Environmental impacts and costs of solid waste: a comparison of landfill and incineration, *Waste Management and Research*, 2008, **26**, 147.

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

Saaty T. L., How to make a decision: the analytic hierarchy process, *Interfaces*, 1994, **24**(6), 19-43.

Saaty T., Decision making - the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP), *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2004, **13**, 1-35.

Saaty T., Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes, *European Journal of Operational Research*, 2006, **168**, 557-570.

Shmelev S. E. *Ecological economics: sustainability in practice*, Springer, New York, 2011.

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

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

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

Sua J. P., Chiueh P. T., Hunga M. L., Maa H. W., Analyzing policy impact potential for municipal solid waste management decision-making: a case study of Taiwan, *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, **51**, 418–434.

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

Tchobanoglous G., Kreith F., *Handbook of solid waste management*, 2th ed., McGraw-Hill, New York, 2002.

US EPA, Decision maker's guide to solid waste management, volume II, *United States Environmental Protection Agency*, Washington,1995.

US EPA, Full cost accounting for municipal solid waste management: a handbook, *United States Environmental Protection Agency*, EPA 530-R-95-041, 1997.

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

Weng Y. C., Fujiwara T., Examining the effectiveness of municipal solid waste management systems: an integrated cost–benefit analysis perspective with a financial cost modeling in Taiwan, *Waste Management*, 2011, **31**(6), 1393-1406.

Xi B., Su J., Huang G., Qin X., Jiang Y., Huo S., Ji D., Yao B., 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*, 2010, **23**, 620-631.

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

Yang C. L., Chuang S. P., Huang R. H., Manufacturing evaluation system based on AHP/ANP approach for wafer fabricating industry, *Expert Systems with Applications*, 2009, **36**(8), 11369-11377.

Yenice M. K., Doğruparmak Ş. Ç., Durmuşoğlu E., Kocaeli ili katı atık karakterizasyonu, *Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu–TURKAY 2009*, İstanbul, Türkiye, 15-17 Haziran 2009.

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

EKLER

EK-A

Katılımcı Kurumlar

Kamu Kurumları Temsilcileri (Grup 1)

- Kocaeli Çevre İl Müdürlüğü
- Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğü
- Kocaeli Sanayi ve Ticaret İl Müdürlüğü

Üniversite Temsilcileri (Grup 2)

- KOÜ Çevre Mühendisliği Bölümü
- KOÜ Çevre Mühendisliği Bölümü
- KOÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü

Kent Temsilcileri (Grup 3)

- Kocaeli Kent Konseyi Temsilcisi
- Çevre Mühendisleri Odası Kocaeli Temsilciliği
- Kocaeli Sanayi Odası Temsilcisi
- Kocaeli Kent Konseyi Çevre Çalışma Grubu Temsilcisi
- TMMOB İKK Çevre Platformu Temsilcisi
- MARSİAD Temsilcisi

İZAYDAŞ A.Ş. Temsilcileri (Grup 4)

- İZAYDAŞ A.Ş. (3 kişi)

Yerel Yönetim Temsilcileri (Grup 5)

- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı
- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı
- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
- Kandıra, İzmit, Kartepe, Başiskele, Gölcük, Karamürsel, Gebze, Körfez, Dilovası, Darıca, Çayırova ve Derince Belediyesi

EK-B

Karar Verme Ortaklığının Çalışma Takvimi

Tablo B.1. Karar verme ortaklığının yöntem belirlemeye yönelik çalışma takvimi

Tarih	Oturum	Saat	Oturumun Konusu
4 Mayıs 2011 Çarşamba	I. Oturum	11:00	Projenin Katılımcılara Tanıtılması ve Mevcut Evsel Atık Yönetimi
	II. Oturum	13:00	Kullanılabilir Yöntem Alternatiflerinin Tanıtılması ve Katılımcılara İlişkin Verilerin Toplanması
11 Mayıs 2011 Çarşamba	I. Oturum	11:00	Katılımcıların Atık Bertarafı Yöntem Alternatiflerine İlişkin Yönelimlerinin Belirlenmesi
	II. Oturum	13:00	Eldeki Veriler ve Veri İhtiyacının Değerlendirilmesi
25 Mayıs 2011 Çarşamba	I. Oturum	11:00	Belirlenen Yöntemler İçin Amaç Fonksiyonu ve Kısıtların Saptanması
	II. Oturum	13:00	Maliyetlerin Değerlendirilmesi
15 Haziran 2011 Çarşamba	I. Oturum	11:00	Yöntem Seçimi İçin Model Önerileri ve Senaryoların Değerlendirilmesi
	II. Oturum	13:00	Yer Seçimi İçin Yöntemler Bazında Kriter Değerlendirmesi
20 Temmuz 2011 Çarşamba (gün boyu)			Bertaraf Yöntemi Belirleme Sonuç Raporunun Taraflara Sunulması ve Tartışma

EK-C

Katılımcıların Toplantı Takip Durumları ve Süreklilikleri

Tablo C.1. Katılımcıların toplantılara katılım durumları

Kurumlar	04.05.2011	11.05.2011	25.05.2011	15.06.2011
ÇEVRE İL MÜDÜRLÜĞÜ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
İL SAĞLIK MÜDÜRLÜĞÜ	Katıldı	Katıldı	X	X
SANAYİ VE TİCARET İL MÜDÜRLÜĞÜ	Katıldı	Katıldı	X	X
KOÜ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
İZAYDAŞ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
KOCAELİ KENT KONSEYİ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
ÇEVRE MÜHENDİSLERİ ODASI	Katıldı	X	X	Katıldı
KOCAELİ SANAYİ ODASI	Katıldı	Katıldı	X	X
KBB İMAR VE ŞEHİRCİLİK	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
KBB ÇEVRE KORUMA VE KONTROL	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
KBB BASIN YAYIN HALKLA İLİŞKİLER	X	X	X	X
KANDIRA BELEDİYESİ	X	Katıldı	Katıldı	X
İZMİT BELEDİYESİ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
KARTEPE BELEDİYESİ	X	Katıldı	Katıldı	Katıldı
BAŞİSKELE BELEDİYESİ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
GÖLCÜK BELEDİYESİ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	X
KARAMÜRSEL BELEDİYESİ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
GEBZE BELEDİYESİ	X	Katıldı	Katıldı	Katıldı
KÖRFEZ BELEDİYESİ	Katıldı	X	X	X
DİLOVASI BELEDİYESİ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
DARICA BELEDİYESİ	X	Katıldı	X	X
ÇAYIROVA BELEDİYESİ	Katıldı	Katıldı	Katıldı	Katıldı
DERİNCE BELEDİYESİ	Katıldı	Katıldı	X	X
MARSİAD	Katıldı	Katıldı	Katıldı	X
ÇEVRE PLATFORMU	Katıldı	Katıldı	X	Katıldı
İSU	X	Katıldı	Katıldı	Katıldı

X : Kurum temsilcisi toplantıya katılmamıştır.

EK-D

Atık Kütlesi Bütüncül Hareketi İçin Kullanılan Proses Çıkış Yüzdeleri

Tablo D.1. Optimizasyon modelinde kullanılan bütüncül harekete ait proses çıkışı yüzdeleri

Hareket Noktası	Transfer İstasyonları							Ayırıcılar							Kompost Tesisi (K2)							Yakma Tesisleri (T2 ve BT2)							Yakma Tesisleri (T3 ve BT3)						
Geçerli Olduğu Değişkenler	λ_f[f, s, y, i], β_f[f, t2, y, i], γ_f[f, bt2, y, i], δ_f[f, l, y, i]							σ_s[s, k2, y, i], β_s[s, t3, y, i] γ_s[s, bt3, y, i], δ_s[s, l, y, i]							δ_k2[k2, l, y, i]							δ_t2[t2, l, y, i] δ_bt2[bt2, l, y, i]							δ_t3[t3, l, y, i] δ_bt3[bt3, l, y, i]						
	Kütle İçerisindeki Yüzdeler (%)							Kütle İçerisindeki Yüzdeler (%)							Kütle İçerisindeki Yüzdeler (%)							Kütle İçerisindeki Yüzdeler (%)							Kütle İçerisindeki Yüzdeler (%)						
Bileşen (i)	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
2016	16,4	46,9	16,5	6,2	1,8	2,0	10,2	16,6	48,5	16,2	4,5	1,9	1,8	10,6	20,0	37,9	19,5	5,4	2,2	2,2	12,8	61,7	17,6	6,2	2,3	0,7	7,6	3,9	62,6	18,3	6,1	1,7	0,7	6,7	4,0
2017	16,4	46,9	16,5	6,2	1,8	2,0	10,2	16,6	48,5	16,2	4,5	1,9	1,8	10,6	20,0	37,9	19,5	5,4	2,2	2,2	12,8	61,7	17,6	6,2	2,3	0,7	7,6	3,9	62,6	18,3	6,1	1,7	0,7	6,7	4,0
2018	16,4	46,9	16,5	6,2	1,8	2,0	10,2	16,6	48,5	16,2	4,5	1,9	1,8	10,6	20,0	37,9	19,5	5,4	2,2	2,2	12,8	61,7	17,6	6,2	2,3	0,7	7,6	3,9	62,6	18,3	6,1	1,7	0,7	6,7	4,0
2019	16,4	46,9	16,5	6,2	1,8	2,0	10,2	16,6	48,5	16,2	4,5	1,9	1,8	10,6	20,0	37,9	19,5	5,4	2,2	2,2	12,8	61,7	17,6	6,2	2,3	0,7	7,6	3,9	62,6	18,3	6,1	1,7	0,7	6,7	4,0
2020	17,4	42,9	17,7	6,7	1,9	2,1	11,2	17,7	44,5	17,5	4,9	2,0	1,8	11,6	21,0	34,3	20,7	5,8	2,3	2,2	13,7	63,3	15,6	6,4	2,5	0,7	7,5	4,1	64,2	16,1	6,3	1,8	0,7	6,6	4,2
2021	17,4	42,9	17,7	6,7	1,9	2,1	11,2	17,7	44,5	17,5	4,9	2,0	1,8	11,6	21,0	34,3	20,7	5,8	2,3	2,2	13,7	63,3	15,6	6,4	2,5	0,7	7,5	4,1	64,2	16,1	6,3	1,8	0,7	6,6	4,2
2022	17,4	42,9	17,7	6,7	1,9	2,1	11,2	17,7	44,5	17,5	4,9	2,0	1,8	11,6	21,0	34,3	20,7	5,8	2,3	2,2	13,7	63,3	15,6	6,4	2,5	0,7	7,5	4,1	64,2	16,1	6,3	1,8	0,7	6,6	4,2
2023	17,4	42,9	17,7	6,7	1,9	2,1	11,2	17,7	44,5	17,5	4,9	2,0	1,8	11,6	21,0	34,3	20,7	5,8	2,3	2,2	13,7	63,3	15,6	6,4	2,5	0,7	7,5	4,1	64,2	16,1	6,3	1,8	0,7	6,6	4,2
2024	17,4	42,9	17,7	6,7	1,9	2,1	11,2	17,7	44,5	17,5	4,9	2,0	1,8	11,6	21,0	34,3	20,7	5,8	2,3	2,2	13,7	63,3	15,6	6,4	2,5	0,7	7,5	4,1	64,2	16,1	6,3	1,8	0,7	6,6	4,2
2025	18,4	38,8	19,2	7,3	2,0	2,2	12,0	18,8	40,4	19,0	5,3	2,1	2,0	12,4	21,9	30,6	22,1	6,2	2,4	2,3	14,5	64,5	13,6	6,7	2,6	0,7	7,8	4,2	65,5	14,1	6,6	1,9	0,7	6,9	4,3
2026	18,8	37,6	19,6	7,5	2,0	2,3	12,2	19,2	39,1	19,4	5,4	2,1	2,0	12,7	22,3	29,5	22,5	6,3	2,5	2,3	14,7	64,9	13,0	6,8	2,6	0,7	7,9	4,2	66,0	13,4	6,7	1,9	0,7	6,9	4,4
2027	18,8	37,6	19,6	7,5	2,0	2,3	12,2	19,2	39,1	19,4	5,4	2,1	2,0	12,7	22,3	29,5	22,5	6,3	2,5	2,3	14,7	64,9	13,0	6,8	2,6	0,7	7,9	4,2	66,0	13,4	6,7	1,9	0,7	6,9	4,4
2028	18,8	37,6	19,6	7,5	2,0	2,3	12,2	19,2	39,1	19,4	5,4	2,1	2,0	12,7	22,3	29,5	22,5	6,3	2,5	2,3	14,7	64,9	13,0	6,8	2,6	0,7	7,9	4,2	66,0	13,4	6,7	1,9	0,7	6,9	4,4
2029	18,8	37,6	19,6	7,5	2,0	2,3	12,2	19,2	39,1	19,4	5,4	2,1	2,0	12,7	22,3	29,5	22,5	6,3	2,5	2,3	14,7	64,9	13,0	6,8	2,6	0,7	7,9	4,2	66,0	13,4	6,7	1,9	0,7	6,9	4,4
2030	19,4	35,1	20,3	7,9	2,1	2,3	12,9	19,8	36,6	20,2	5,8	2,2	2,1	13,4	22,7	27,3	23,1	6,6	2,5	2,4	15,4	65,6	11,9	6,9	2,7	0,7	7,8	4,4	66,7	12,4	6,8	2,0	0,8	6,9	4,5
2031	19,4	35,1	20,3	7,9	2,1	2,3	12,9	19,8	36,6	20,2	5,8	2,2	2,1	13,4	22,7	27,3	23,1	6,6	2,5	2,4	15,4	65,6	11,9	6,9	2,7	0,7	7,8	4,4	66,7	12,4	6,8	2,0	0,8	6,9	4,5
2032	19,4	35,1	20,3	7,9	2,1	2,3	12,9	19,8	36,6	20,2	5,8	2,2	2,1	13,4	22,7	27,3	23,1	6,6	2,5	2,4	15,4	65,6	11,9	6,9	2,7	0,7	7,8	4,4	66,7	12,4	6,8	2,0	0,8	6,9	4,5
2033	19,4	35,1	20,3	7,9	2,1	2,3	12,9	19,8	36,6	20,2	5,8	2,2	2,1	13,4	22,7	27,3	23,1	6,6	2,5	2,4	15,4	65,6	11,9	6,9	2,7	0,7	7,8	4,4	66,7	12,4	6,8	2,0	0,8	6,9	4,5
2034	19,4	35,1	20,3	7,9	2,1	2,3	12,9	19,8	36,6	20,2	5,8	2,2	2,1	13,4	22,7	27,3	23,1	6,6	2,5	2,4	15,4	65,6	11,9	6,9	2,7	0,7	7,8	4,4	66,7	12,4	6,8	2,0	0,8	6,9	4,5
2035	20,0	33,2	20,8	8,3	2,2	2,4	13,2	20,5	34,6	20,6	6,1	2,3	2,1	13,8	23,3	25,6	23,4	6,9	2,6	2,4	15,7	66,3	11,0	6,9	2,8	0,7	7,9	4,4	67,5	11,4	6,8	2,0	0,8	7,0	4,6
2036	20,3	31,9	21,2	8,5	2,2	2,4	13,5	20,9	33,4	21,0	6,2	2,4	2,2	14,1	23,6	24,5	23,8	7,0	2,7	2,5	16,0	66,7	10,5	6,9	2,8	0,7	8,0	4,4	67,9	10,9	6,8	2,0	0,8	7,1	4,6
2037	20,3	31,9	21,2	8,5	2,2	2,4	13,5	20,9	33,4	21,0	6,2	2,4	2,2	14,1	23,6	24,5	23,8	7,0	2,7	2,5	16,0	66,7	10,5	6,9	2,8	0,7	8,0	4,4	67,9	10,9	6,8	2,0	0,8	7,1	4,6
2038	20,3	31,9	21,2	8,5	2,2	2,4	13,5	20,9	33,4	21,0	6,2	2,4	2,2	14,1	23,6	24,5	23,8	7,0	2,7	2,5	16,0	66,7	10,5	6,9	2,8	0,7	8,0	4,4	67,9	10,9	6,8	2,0	0,8	7,1	4,6
2039	20,3	31,9	21,2	8,5	2,2	2,4	13,5	20,9	33,4	21,0	6,2	2,4	2,2	14,1	23,6	24,5	23,8	7,0	2,7	2,5	16,0	66,7	10,5	6,9	2,8	0,7	8,0	4,4	67,9	10,9	6,8	2,0	0,8	7,1	4,6
2040	20,9	29,6	22,2	8,8	2,3	2,5	13,8	21,5	31,0	22,1	6,5	2,4	2,2	14,4	24,1	22,6	24,7	7,3	2,7	2,5	16,2	67,4	9,5	7,1	2,8	0,8	7,9	4,4	68,6	9,9	7,1	2,1	0,8	7,0	4,6

EK-E

MRF Bölgeleri İçin Öngörülen Nüfus, Atık ve Atık Sınıflarına Ait Miktarlar

Tablo E.1. Gebze-Dilovası-Çayırova-Darıca MRF Bölgesi (F1)

YILLAR	$P_{F1,y}$ (kişi)	Biyogaz (ton)	$m_{F1,y}$ (ton)	$m_{F1,y,0}$ (ton)	$m_{F1,y,1}$ (ton)	$m_{F1,y,2}$ (ton)	$m_{F1,y,3}$ (ton)	$m_{F1,y,4}$ (ton)	$m_{F1,y,5}$ (ton)	$m_{F1,y,6}$ (ton)
2016	651.132	898,9	258.154,0	29.273,0	88.992,4	73.571,0	27.718,7	8.030,6	9.066,9	21.501,4
2017	664.094	933,6	268.124,1	30.403,5	92.429,4	76.412,4	28.789,2	8.340,8	9.417,0	22.331,8
2018	677.323	969,4	278.392,5	31.567,9	95.969,2	79.338,8	29.891,7	8.660,2	9.777,7	23.187,0
2019	690.824	1006,2	288.967,2	32.767,0	99.614,6	82.352,4	31.027,2	8.989,2	10.149,1	24.067,8
2020	704.604	938,8	299.962,3	35.506,3	92.942,3	90.270,3	34.302,7	9.628,8	10.531,5	26.780,2
2021	716.415	979,0	312.810,7	37.027,2	96.923,4	94.136,9	35.772,0	10.041,3	10.982,6	27.927,3
2022	728.430	1012,0	323.357,8	38.275,6	100.191,4	97.311,0	36.978,2	10.379,8	11.352,9	28.868,9
2023	740.653	1054,3	336.868,6	39.874,9	104.377,6	101.376,9	38.523,2	10.813,5	11.827,3	30.075,1
2024	753.084	1089,2	348.002,9	41.192,9	107.827,6	104.727,6	39.796,5	11.170,9	12.218,2	31.069,2
2025	765.731	995,1	359.549,3	43.986,4	98.515,2	114.653,1	43.625,9	11.898,0	13.340,1	33.530,6
2026	777.094	1033,4	373.370,5	45.677,3	102.302,1	119.060,4	45.302,9	12.355,3	13.852,9	34.819,6
2027	788.631	1072,5	387.525,4	47.408,9	106.180,5	123.574,1	47.020,3	12.823,7	14.378,1	36.139,6
2028	800.342	1120,7	404.932,8	49.538,5	110.950,1	129.125,0	49.132,5	13.399,8	15.024,0	37.763,0
2029	812.234	1161,9	419.819,0	51.359,7	115.028,8	133.871,9	50.938,7	13.892,4	15.576,3	39.151,2
2030	824.306	1120,1	438.152,5	54.469,8	110.894,4	143.202,9	55.787,6	14.935,3	16.253,1	42.609,4
2031	834.198	1149,1	449.484,5	55.878,6	113.762,4	146.906,5	57.230,5	15.321,5	16.673,4	43.711,5
2032	844.208	1178,6	461.025,3	57.313,3	116.683,4	150.678,5	58.699,9	15.714,9	17.101,5	44.833,8
2033	854.339	1208,7	472.778,4	58.774,4	119.658,0	154.519,8	60.196,4	16.115,6	17.537,5	45.976,7
2034	864.591	1239,3	484.747,1	60.262,3	122.687,3	158.431,6	61.720,3	16.523,5	17.981,5	47.140,7
2035	874.966	1190,7	497.014,8	63.272,1	117.880,4	164.407,8	65.763,1	17.437,2	18.931,8	49.322,3
2036	883.715	1218,0	508.420,6	64.724,1	120.585,6	168.180,8	67.272,3	17.837,4	19.366,3	50.454,2
2037	892.553	1245,8	520.004,9	66.198,8	123.333,1	172.012,7	68.805,1	18.243,8	19.807,5	51.603,8
2038	901.478	1274,0	531.770,0	67.696,6	126.123,5	175.904,5	70.361,8	18.656,5	20.255,7	52.771,4
2039	910.493	1302,6	543.718,4	69.217,7	128.957,4	179.856,9	71.942,8	19.075,7	20.710,8	53.957,1
2040	919.598	1220,2	555.964,0	71.876,8	120.803,1	190.557,0	75.777,1	20.058,6	21.173,0	55.718,4

Tablo E.2. Körfez-Derince MRF Bölgesi (F2)

YILLAR	$P_{F2,y}$ (kişi)	Biyogaz (ton)	$m_{F2,y}$ (ton)	$m_{F2,y,0}$ (ton)	$m_{F2,y,1}$ (ton)	$m_{F2,y,2}$ (ton)	$m_{F2,y,3}$ (ton)	$m_{F2,y,4}$ (ton)	$m_{F2,y,5}$ (ton)	$m_{F2,y,6}$ (ton)
2016	297.129	410,2	117.802,6	13.358,0	40.609,6	33.572,4	12.648,8	3.664,6	4.137,4	9.811,7
2017	301.903	424,4	121.891,6	13.821,7	42.019,2	34.737,7	13.087,8	3.791,8	4.281,1	10.152,2
2018	306.758	439,0	126.083,3	14.297,0	43.464,2	35.932,3	13.537,9	3.922,2	4.428,3	10.501,4
2019	311.692	454,0	130.378,7	14.784,1	44.945,0	37.156,5	13.999,1	4.055,8	4.579,1	10.859,1
2020	316.709	422,0	134.828,6	15.959,6	41.776,2	40.575,2	15.418,6	4.328,0	4.733,8	12.037,3
2021	320.880	438,5	140.106,9	16.584,4	43.411,7	42.163,6	16.022,2	4.497,5	4.919,1	12.508,5
2022	325.108	451,7	144.318,9	17.082,9	44.716,7	43.431,2	16.503,8	4.632,7	5.067,0	12.884,6
2023	329.394	468,9	149.817,1	17.733,7	46.420,3	45.085,8	17.132,6	4.809,2	5.260,0	13.375,5
2024	333.738	482,7	154.221,6	18.255,1	47.785,0	46.411,3	17.636,3	4.950,5	5.414,6	13.768,7
2025	338.142	439,4	158.774,7	19.424,1	43.503,7	50.630,1	19.264,9	5.254,1	5.890,9	14.806,9
2026	341.781	454,5	164.215,6	20.089,8	44.994,5	52.365,1	19.925,1	5.434,1	6.092,8	15.314,3
2027	345.459	469,8	169.755,1	20.767,4	46.512,3	54.131,5	20.597,2	5.617,4	6.298,3	15.830,9
2028	349.177	488,9	176.666,0	21.612,9	48.405,8	56.335,3	21.435,7	5.846,1	6.554,7	16.475,4
2029	352.938	504,9	182.422,9	22.317,2	49.983,2	58.171,0	22.134,3	6.036,6	6.768,3	17.012,3
2030	356.740	484,8	189.622,0	23.573,2	47.992,4	61.974,8	24.143,6	6.463,6	7.033,9	18.440,4
2031	361.021	497,3	194.526,2	24.182,9	49.233,7	63.577,7	24.768,0	6.630,8	7.215,9	18.917,3
2032	365.353	510,1	199.520,8	24.803,8	50.497,8	65.210,1	25.403,9	6.801,0	7.401,1	19.403,0
2033	369.737	523,1	204.607,2	25.436,2	51.785,1	66.872,5	26.051,5	6.974,4	7.589,8	19.897,6
2034	374.174	536,3	209.787,0	26.080,1	53.096,1	68.565,4	26.711,1	7.151,0	7.782,0	20.401,4
2035	378.664	515,3	215.096,1	27.382,7	51.015,8	71.151,8	28.460,7	7.546,4	8.193,2	21.345,5
2036	382.451	527,1	220.032,3	28.011,1	52.186,6	72.784,6	29.113,8	7.719,6	8.381,3	21835,4
2037	386.275	539,1	225.045,7	28.649,3	53.375,6	74.443,0	29.777,2	7.895,5	8.572,2	22.332,9
2038	390.138	551,3	230.137,4	29.297,5	54.583,3	76.127,3	30.450,9	8.074,1	8.766,2	22.838,2
2039	394.040	563,7	235.308,4	29.955,8	55.809,7	77.837,8	31.135,1	8.255,5	8.963,1	23.351,3
2040	397.980	528,1	240.608,0	31.106,6	52.280,7	82.468,5	32.794,5	8.680,9	9.163,2	24.113,6

Tablo E.3. İzmit MRF Bölgesi (F3)

YILLAR	$P_{F3,y}$ (kişi)	Biyogaz (ton)	$m_{F3,y}$ (ton)	$m_{F3,y,0}$ (ton)	$m_{F3,y,1}$ (ton)	$m_{F3,y,2}$ (ton)	$m_{F3,y,3}$ (ton)	$m_{F3,y,4}$ (ton)	$m_{F3,y,5}$ (ton)	$m_{F3,y,6}$ (ton)
2016	377.948	521,8	149.844,8	16.991,4	51.655,4	42.704,1	16.089,2	4.661,4	5.262,8	12.480,4
2017	385.891	542,5	155.801,2	17.666,8	53.708,8	44.401,6	16.728,8	4.846,7	5.472,0	12.976,5
2018	394.009	563,9	161.945,1	18.363,5	55.826,7	46.152,6	17.388,5	5.037,8	5.687,8	13.488,2
2019	402.305	586,0	168.281,6	19.082,0	58.011,1	47.958,4	18.068,8	5.234,9	5.910,4	14.016,0
2020	410.784	547,3	174.878,0	20.700,2	54.185,4	52.627,6	19.998,5	5.613,6	6.139,9	15.612,9
2021	417.876	571,1	182.458,6	21.597,5	56.534,2	54.908,9	20.865,4	5.857,0	6.406,0	16.289,6
2022	425.095	590,6	188.704,2	22.336,8	58.469,4	56.788,4	21.579,6	6.057,4	6.625,3	16.847,2
2023	432.445	615,6	196.687,4	23.281,8	60.943,0	59.190,9	22.492,5	6.313,7	6.905,6	17.560,0
2024	439.926	636,3	203.291,4	24.063,5	62.989,2	61.178,3	23.247,8	6.525,7	7.137,5	18.149,6
2025	447.542	581,6	210.143,5	25.708,5	57.578,5	67.010,6	25.497,7	6.953,9	7.796,8	19.597,4
2026	454.435	604,3	218.342,5	26.711,5	59.825,0	69.625,1	26.492,6	7.225,2	8.101,0	20.362,1
2027	461.440	627,6	226.747,0	27.739,7	62.127,8	72.305,1	27.512,3	7.503,4	8.412,9	21.145,8
2028	468.552	656,1	237.063,8	29.001,8	64.954,6	75.594,9	28.764,1	7.844,8	8.795,6	22.107,9
2029	475.781	680,6	245.916,7	30.084,9	67.380,2	78.417,9	29.838,3	8.137,7	9.124,1	22.933,5
2030	483.124	656,5	256.800,3	31.924,6	64.995,0	83.930,9	32.697,0	8.753,5	9.525,9	24.973,3
2031	488.921	673,5	263.441,9	32.750,3	66.675,9	86.101,6	33.542,7	8.979,9	9.772,3	25.619,2
2032	494.789	690,8	270.205,9	33.591,2	68.387,9	88.312,3	34.403,9	9.210,5	10.023,2	26.277,0
2033	500.726	708,4	277.094,4	34.447,5	70.131,3	90.563,7	35.281,0	9.445,3	10.278,7	26.946,9
2034	506.735	726,3	284.109,3	35.319,6	71.906,7	92.856,4	36.174,1	9.684,4	10.538,9	27.629,1
2035	512.816	697,9	291.299,3	37.083,6	69.089,4	96.359,1	38.543,6	10.219,9	11.095,9	28.907,7
2036	517.944	713,9	297.984,2	37.934,7	70.675,0	98.570,4	39.428,2	10.454,4	11.350,5	29.571,1
2037	523.123	730,2	304.773,8	38.799,0	72.285,3	100.816,3	40.326,5	10.692,6	11.609,1	30.244,9
2038	528.354	746,7	311.669,3	39.676,8	73.920,7	103.097,3	41.238,9	10.934,6	11.871,8	30.929,2
2039	533.638	763,5	318.672,2	40.568,3	75.581,7	105.413,8	42.165,5	11.180,2	12.138,6	31.624,1
2040	538.974	715,2	325.849,3	42.126,8	70.802,5	111.685,1	44.412,8	11.756,3	12.409,5	32.656,5

Tablo E.4. Kandıra MRF Bölgesi (F4)

YILLAR	$P_{F4,y}$ (kişi)	Biyogaz (ton)	$m_{F4,y}$ (ton)	$m_{F4,y,0}$ (ton)	$m_{F4,y,1}$ (ton)	$m_{F4,y,2}$ (ton)	$m_{F4,y,3}$ (ton)	$m_{F4,y,4}$ (ton)	$m_{F4,y,5}$ (ton)	$m_{F4,y,6}$ (ton)
2016	60.561	83,6	24.010,6	2.722,6	8.277,1	6.842,8	2.578,1	746,9	843,3	1.999,8
2017	60.867	85,6	24.574,7	2.786,6	8.471,5	7.003,5	2.638,6	764,5	863,1	2.046,8
2018	61.177	87,6	25.144,9	2.851,3	8.668,1	7.166,0	2.699,9	782,2	883,1	2.094,3
2019	61.490	89,6	25.720,9	2.916,6	8.866,7	7.330,2	2.761,7	800,1	903,4	2.142,3
2020	61.806	82,4	26.311,9	3.114,5	8.152,7	7.918,3	3.008,9	844,6	923,8	2.349,1
2021	62.063	84,8	27.098,8	3.207,7	8.396,5	8.155,1	3.098,9	869,9	951,4	2.419,3
2022	62.320	86,6	27.664,5	3.274,6	8.571,8	8.325,3	3.163,6	888,0	971,3	2.469,8
2023	62.580	89,1	28.463,0	3.369,2	8.819,2	8.565,6	3.254,9	913,7	999,3	2.541,1
2024	62.844	90,9	29.040,4	3.437,5	8.998,1	8.739,4	3.321,0	932,2	1.019,6	2.592,7
2025	63.107	82,0	29.631,9	3.625,1	8.119,0	9.449,0	3.595,4	980,6	1.099,4	2.763,4
2026	63.292	84,2	30.409,9	3.720,3	8.332,2	9.697,1	3.689,8	1.006,3	1.128,3	2.835,9
2027	63.499	86,4	31.202,8	3.817,3	8.549,4	9.949,9	3.786,0	1.032,5	1.157,7	2.909,9
2028	63.668	89,2	32.212,8	3.940,8	8.826,2	10.272,0	3.908,5	1.066,0	1.195,2	3.004,1
2029	63.854	91,3	33.004,2	4.037,7	9.043,0	10.524,4	4.004,6	1.092,2	1.224,5	3.077,9
2030	64.044	87,0	34.042,0	4.232,0	8.615,9	11.126,1	4.334,4	1.160,4	1.262,8	3.310,5
2031	64.813	89,3	34.922,4	4.341,5	8.838,7	11.413,8	4.446,5	1.190,4	1.295,4	3.396,1
2032	65.590	91,6	35.819,1	4.452,9	9.065,7	11.706,9	4.560,7	1.221,0	1.328,7	3.483,3
2033	66.377	93,9	36.732,3	4.566,4	9.296,8	12.005,3	4.676,9	1.252,1	1.362,6	3.572,1
2034	67.174	96,3	37.662,2	4.682,0	9.532,1	12.309,3	4.795,3	1.283,8	1.397,1	3.662,6
2035	67.980	92,5	38.615,3	4.915,9	9.158,7	12.773,6	5.109,4	1.354,8	1.470,9	3.832,1
2036	68.660	94,6	39.501,5	5.028,7	9.368,8	13.066,7	5.226,7	1.385,9	1.504,7	3.920,0
2037	69.346	96,8	40.401,5	5.143,3	9.582,3	13.364,4	5.345,8	1.417,4	1.538,9	4.009,3
2038	70.040	99,0	41.315,6	5.259,6	9.799,1	13.666,8	5.466,7	1.449,5	1.573,8	4.100,0
2039	70.740	101,2	42.243,9	5.377,8	10.019,3	13.973,9	5.589,6	1.482,1	1.609,1	4.192,2
2040	71.448	94,8	43.195,3	5.584,4	9.385,7	14.805,2	5.887,5	1.558,4	1.645,0	4.329,0

Tablo E.5. Kartepe-Başiskele-Gölcük MRF Bölgesi (F5)

YILLAR	$P_{F5,y}$ (kişi)	Biyogaz (ton)	$m_{F5,y}$ (ton)	$m_{F5,y,0}$ (ton)	$m_{F5,y,1}$ (ton)	$m_{F5,y,2}$ (ton)	$m_{F5,y,3}$ (ton)	$m_{F5,y,4}$ (ton)	$m_{F5,y,5}$ (ton)	$m_{F5,y,6}$ (ton)
2016	352.250	486,3	139.656,4	15.836,1	48.143,2	39.800,5	14.995,3	4.344,4	4.905,0	11.631,8
2017	359.146	504,9	145.003,1	16.442,4	49.986,4	41.324,3	15.569,4	4.510,7	5.092,8	12.077,2
2018	366.183	524,1	150.508,1	17.066,6	51.884,1	42.893,1	16.160,4	4.682,0	5.286,1	12.535,7
2019	373.365	543,8	156.176,1	17.709,4	53.838,0	44.508,5	16.769,0	4.858,3	5.485,2	13.007,8
2020	380.695	507,2	162.068,6	19.183,9	50.216,4	48.772,7	18.533,6	5.202,4	5.690,2	14.469,2
2021	387.681	529,8	169.274,5	20.036,9	52.449,1	50.941,3	19.357,7	5.433,7	5.943,1	15.112,6
2022	394.803	548,5	175.257,3	20.745,1	54.302,9	52.741,7	20.041,9	5.625,8	6.153,2	15.646,7
2023	402.063	572,3	182.868,9	21.646,1	56.661,3	55.032,4	20.912,3	5.870,1	6.420,4	16.326,3
2024	409.464	592,2	189.214,8	22.397,2	58.627,6	56.942,1	21.638,0	6.073,8	6.643,2	16.892,8
2025	417.009	541,9	195.806,8	23.954,5	53.650,3	62.438,9	23.758,2	6.479,5	7.264,9	18.260,4
2026	423.786	563,5	203.616,6	24.910,0	55.790,2	64.929,3	24.705,8	6.737,9	7.554,7	18.988,7
2027	430.730	585,8	211.656,4	25.893,5	57.993,1	67.493,0	25.681,3	7.004,0	7.853,0	19.738,5
2028	437.695	612,9	221.451,7	27.091,9	60.676,9	70.616,5	26.869,8	7.328,1	8.216,4	20.652,0
2029	444.831	636,3	229.919,6	28.127,8	62.997,1	73.316,8	27.897,3	7.608,3	8.530,6	21.441,7
2030	452.091	614,3	240.304,9	29.874,0	60.820,1	78.539,7	30.596,8	8.191,3	8.914,0	23.369,2
2031	457.516	630,2	246.520,0	30.646,6	62.393,1	80.571,0	31.388,1	8.403,1	9.144,6	23.973,6
2032	463.006	646,4	252.849,5	31.433,5	63.995,1	82.639,7	32.194,0	8.618,9	9.379,3	24.589,1
2033	468.562	662,9	259.295,5	32.234,8	65.626,5	84.746,4	33.014,7	8.838,6	9.618,5	25.216,0
2034	474.185	679,7	265.859,8	33.050,9	67.287,9	86.891,9	33.850,5	9.062,3	9.862,0	25.854,3
2035	479.875	653,0	272.588,0	34.701,6	64.651,6	90.169,5	36.067,8	9.563,4	10.383,2	27.050,9
2036	484.674	668,0	278.843,5	35.498,0	66.135,2	92.238,8	36.895,5	9.782,9	10.621,4	27.671,6
2037	489.521	683,3	285.196,9	36.306,8	67.642,1	94.340,5	37.736,2	10.005,8	10.863,4	28.302,1
2038	494.416	698,7	291.649,5	37.128,2	69.172,5	96.474,9	38.590,0	10.232,2	11.109,2	28.942,5
2039	499.360	714,4	298.202,6	37.962,5	70.726,8	98.642,6	39.457,0	10.462,1	11.358,8	29.592,8
2040	504.354	669,2	304.918,7	39.420,8	66.254,5	104.511,1	41.560,0	11.001,2	11.612,3	30.558,8

Tablo E.6. Karamürsel MRF Bölgesi (F6)

YILLAR	$P_{F6,y}$ (kişi)	Biyogaz (ton)	$m_{F6,y}$ (ton)	$m_{F6,y,0}$ (ton)	$m_{F6,y,1}$ (ton)	$m_{F6,y,2}$ (ton)	$m_{F6,y,3}$ (ton)	$m_{F6,y,4}$ (ton)	$m_{F6,y,5}$ (ton)	$m_{F6,y,6}$ (ton)
2016	57.613	79,5	22.841,8	2.590,1	7.874,2	6.509,7	2.452,6	710,6	802,2	1.902,5
2017	58.197	81,8	23.496,7	2.664,4	8.099,9	6.696,3	2.522,9	730,9	825,2	1.957,0
2018	58.785	84,1	24.161,7	2.739,8	8.329,2	6.885,8	2.594,3	751,6	848,6	2.012,4
2019	59.381	86,5	24.838,7	2.816,5	8.562,5	7.078,7	2.667,0	772,7	872,4	2.068,8
2020	59.982	79,9	25.535,4	3.022,6	7.912,1	7.684,6	2.920,1	819,7	896,5	2.279,8
2021	60.535	82,7	26.431,6	3.128,7	8.189,7	7.954,3	3.022,6	848,5	928,0	2.359,8
2022	61.096	84,9	27.121,2	3.210,3	8.403,4	8.161,8	3.101,5	870,6	952,2	2.421,3
2023	61.658	87,8	28.043,7	3.319,5	8.689,2	8.439,4	3.207,0	900,2	984,6	2.503,7
2024	62.228	90,0	28.755,8	3.403,8	8.909,9	8.653,7	3.288,4	923,1	1.009,6	2.567,3
2025	62.804	81,6	29.489,6	3.607,7	8.080,1	9.403,7	3.578,1	975,9	1.094,1	2.750,1
2026	63.385	84,3	30.454,6	3.725,7	8.344,4	9.711,4	3.695,2	1.007,8	1.129,9	2.840,1
2027	63.899	86,9	31.399,3	3.841,3	8.603,3	10.012,6	3.809,8	1.039,0	1.165,0	2.928,2
2028	64.565	90,4	32.666,6	3.996,4	8.950,5	10.416,7	3.963,6	1.081,0	1.212,0	3.046,4
2029	65.164	93,2	33.681,3	4.120,5	9.228,5	10.740,3	4.086,7	1.114,6	1.249,7	3.141,0
2030	65.769	89,4	34.958,9	4.346,0	8.847,9	11.425,7	4.451,1	1.191,6	1.296,8	3.399,7
2031	66.558	91,7	35.863,1	4.458,4	9.076,8	11.721,3	4.566,3	1.222,5	1.330,3	3.487,6
2032	67.357	94,0	36.783,9	4.572,9	9.309,8	12.022,2	4.683,5	1.253,8	1.364,5	3.577,2
2033	68.165	96,4	37.721,6	4.689,4	9.547,2	12.328,7	4.802,9	1.285,8	1.399,3	3.668,4
2034	68.983	98,9	38.676,6	4.808,2	9.788,9	12.640,8	4.924,5	1.318,4	1.434,7	3.761,2
2035	69.811	95,0	39.655,4	5.048,3	9.405,3	13.117,6	5.247,0	1.391,3	1.510,5	3.935,3
2036	70.509	97,2	40.565,4	5.164,1	9.621,2	13.418,7	5.367,5	1.423,2	1.545,2	4.025,6
2037	71.214	99,4	41.489,7	5.281,8	9.840,4	13.724,4	5.489,8	1.455,6	1.580,4	4.117,3
2038	71.926	101,6	42.428,4	5.401,3	10.063,0	14.034,9	5.614,0	1.488,6	1.616,1	4.210,5
2039	72.646	103,9	43.381,7	5.522,7	10.289,1	14.350,3	5.740,1	1.522,0	1.652,5	4.305,1
2040	73.372	97,4	44.358,8	5.734,8	9.638,5	15.204,0	6.046,0	1.600,4	1.689,3	4.445,6

EK-F

“Yöntem Seçimi_Karar_1” İçin Tesislere Gelecek Atık Miktarları ve Bileşenler

Tablo F. 1. Optimizasyon modelinin öngördüğü tesislere gelecek olan yıllık atık miktarları

İzmit Yakma Tesisi			İzmit Deponi Sahası			Gebze Deponi Sahası		
Yıl	Miktar (ton)	Kümülatif (ton)	Yıl	Miktar (ton)	Kümülatif (ton)	Yıl	Miktar (ton)	Kümülatif (ton)
2016	506.718	506.718	2016	140.662	140.662	2016	0	0
2017	525.627	1.032.346	2017	145.911	286.572	2017	0	0
2018	545.079	1.577.425	2018	151.311	437.883	2018	0	0
2019	565.089	2.142.513	2019	156.865	594.748	2019	0	0
2020	573.362	2.715.876	2020	165.339	760.087	2020	0	0
2021	597.447	3.313.323	2021	172.284	932.371	2021	0	0
2022	617.109	3.930.432	2022	177.954	1.110.324	2022	0	0
2023	642.398	4.572.830	2023	185.246	1.295.571	2023	0	0
2024	663.129	5.235.959	2024	191.224	1.486.795	2024	0	0
2025	667.627	5.903.587	2025	200.257	1.687.052	2025	0	0
2026	683.100	6.586.687	2026	204.818	1.891.870	2026	9.656	9.656
2027	683.100	7.269.787	2027	204.603	2.096.472	2027	35.370	45.027
2028	683.100	7.952.887	2028	204.338	2.300.811	2028	67.080	112.107
2029	683.100	8.635.987	2029	204.113	2.504.924	2029	94.080	206.187
2030	683.100	9.319.087	2030	208.065	2.712.989	2030	116.066	322.252
2031	683.100	10.002.187	2031	207.899	2.920.887	2031	136.735	458.987
2032	683.100	10.685.287	2032	207.730	3.128.617	2032	157.785	616.772
2033	683.100	11.368.387	2033	207.558	3.336.175	2033	179.221	795.993
2034	683.100	12.051.487	2034	207.382	3.543.557	2034	201.052	997.045
2035	683.100	12.734.587	2035	218.508	3.762.065	2035	207.935	1.204.980
2036	683.100	13.417.687	2036	235.344	3.997.409	2036	210.554	1.415.534
2037	683.100	14.100.787	2037	256.007	4.253.416	2037	210.554	1.626.088
2038	683.100	14.783.887	2038	276.992	4.530.408	2038	210.554	1.836.643
2039	683.100	15.466.987	2039	298.304	4.828.713	2039	210.554	2.047.197
2040	683.100	16.150.087	2040	305.655	5.134.368	2040	214.354	2.261.551

EK-G

Uygun Alanlara Ait Pafta Bilgileri

Tablo G.1. 60 dönümden büyük alan ihtiyacı için uygun alanlara ait 1/5.000 pafta bilgileri

Pafta Adı	İlçe	Alan (m^2)	Uygunluk	Pafta Adı	İlçe	Alan (m^2)	Uygunluk
F23C22C	Derince	6.425.500	5,21	G24A13C	İzmit	60.600	4
G23B3A	Derince	3.213.300	5,10	G24A13D	İzmit	122.900	4
G23B10A	İzmit	85.600	5	G24A14B	İzmit	167.300	4
G23B10B	İzmit	322.800	5	G24A14C	İzmit	74.200	4
G23B3C	Derince	125.900	5	G24A14D	İzmit	320.800	4
G23B3D	Derince	1.311.200	5	G24A15A	İzmit	95.900	4
G23B4C	İzmit	450.900	5	G24A15C	İzmit	329.400	4
G23B4D	Derince	1.076.700	5	G24A15D	İzmit	371.100	4
G23B5D	İzmit	1.552.100	5	G24A17B	İzmit	120.500	4
G23B9A	Derince	187.300	5	G24A18C	İzmit	60.200	4
G23B9B	İzmit	435.900	5	G24A19A	İzmit	65.100	4
G24A1D	İzmit	1.082.700	5	G24A7D	İzmit	553.700	4
G24A7A	İzmit	63.800	5	G24A9C	İzmit	156.400	4
G23B1B	Derince	5.124.400	4,10	G24A9D	İzmit	60.500	4
G24A6B	İzmit	121.800	4,84	G24B11A	İzmit	833.900	4
G24A6A	İzmit	70.600	4,81	G24B11D	İzmit	89.000	4
G23B10D	İzmit	199.300	4,79	G24A24B	İzmit	1.913.700	3,99
G23B10C	İzmit	290.400	4,73	G23B14D	Derince	69.900	3,97
G24A10C	İzmit	4.682.300	4,65	G24A20D	İzmit	518.900	3,96
G24A9B	İzmit	871.700	4,42	G24A20B	İzmit	189.800	3,95
G23B9C	İzmit	1.965.100	4,31	G23B13A	Derince	1.455.200	3,93
G23B8A	Derince	482.700	4,23	G24A19D	İzmit	79.200	3,88
G23B2C	Derince	105.200	4,19	G24A18A	İzmit	275.800	3,76
G24A10A	İzmit	1.356.000	4,12	G24A17A	İzmit	84.400	3,59
G24A6D	İzmit	266.300	4,08	G24A18D	İzmit	85.800	3,57
G23B2D	Derince	1.219.400	4,05	G24A25A	İzmit	137.300	3,42
G23B13B	Derince	219.600	4	G24A24A	İzmit	143.400	3,41
G23B14A	Derince	283.000	4	G24A11D	İzmit	86.000	3,34
G23B14B	İzmit	177.300	4	G24A18B	İzmit	130.000	3,33
G23B15A	İzmit	75.100	4	G24A19C	İzmit	91.900	3,28
G23B15B	İzmit	73.800	4	G23B13D	Derince	175.200	3,15
G23B15D	İzmit	126.300	4	G24A20A	İzmit	171.700	3,08
G23B1C	Derince	363.900	4	G23B14C	İzmit	74.700	3,01
G23B7A	Derince	1.222.700	4	G23B13C	Derince	62.100	3
G23B7B	Derince	73.700	4	G23B15C	İzmit	275.800	3
G23B7C	Derince	437.400	4	G23B18C	İzmit	267.800	3
G23B8B	Derince	843.100	4	G23B20B	İzmit	197.100	3
G23B8D	Derince	948.300	4	G23B22B	Derince	96.000	3
G24A10D	İzmit	90.300	4	G24A16A	İzmit	293.300	3
G24A11A	İzmit	526.700	4	G24A16B	İzmit	78.600	3
G24A11C	İzmit	178.600	4	G24A17D	İzmit	194.000	3
G24A12B	İzmit	88.000	4	G24A19B	İzmit	185.800	3
G24A12C	İzmit	102.600	4	G24A23A	İzmit	124.700	3
G24A12D	İzmit	61.300	4	G24A24D	İzmit	77.200	3
G24A13B	İzmit	553.300	4	G23B24A	İzmit	279.100	2,84

Tablo G.2. 1000 dönümden büyük alan ihtiyacı için uygun alanlara ait 1/5.000 pafta bilgileri

Pafta Adı	İlçe	Alan (m^2)	Uygunluk	Pafta Adı	İlçe	Alan (m^2)	Uygunluk
G23B1B	Körfez	5.123.700	5	G23A10D	Gebze	8.277.100	4
G23A2C	Gebze	6.187.500	4,69	G23B12A	Körfez	1.165.200	4
G23A5A	Gebze	2.257.100	4,59	G23B6A	Körfez	1.212.500	4
G23B1C	Körfez	4.840.100	4,21	G23B6C	Körfez	1.279.800	4
G23A5D	Gebze	1.163.800	4,20	G23B6D	Körfez	1.180.800	4
G23A3C	Gebze	8.314.100	4,04	G23B12B	Körfez	1.163.200	3,57
G23A14B	Gebze	3.366.000	4	G23B17A	Körfez	1.299.100	3,10

Tablo G.3. 2000 dönümden büyük alan ihtiyacı için uygun alanlara ait 1/5.000 pafta bilgileri

Pafta Adı	İlçe	Alan (m^2)	Uygunluk	Pafta Adı	İlçe	Alan (m^2)	Uygunluk
F23C22C	Kandıra	6.427.800	5,21	F24D16B	Kandıra	2.082.500	4,08
F23C23C	Kandıra	3.209.800	5,08	G24A8C	Kandıra	7.941.600	4,05
F23C19C	Kandıra	3.226.100	5	F24D21C	Kandıra	3.619.100	4,00
F23C25D	Kandıra	2.444.800	5	G23B8A	Derince	2.650.100	4,00
G23B4A	Kandıra	2.928.000	5	F24D17B	Kandıra	3.159.000	4
G23B5A	Kandıra	3.111.000	5	F24D22C	Kandıra	2.668.300	4
G23B1B	Derince	5.122.600	99	F24D22D	Kandıra	4.242.000	4
F23C25C	Kandıra	3.600.900	4,98	G23B14B	İzmit	2.088.300	4
F24C11B	Kandıra	8.096.600	4,92	G24B11D	İzmit	5.974.900	4
G24B1C	Kandıra	2.037.500	4,76	F24D23C	Kandıra	3.212.800	3,99
G24B11A	Kandıra	4.677.200	4,65	G24A24B	İzmit	1.917.000	3,99
F24C16B	Kandıra	3.958.800	4,53	G24A14C	İzmit	2.273.300	3,84
F24D16D	Kandıra	2.264.400	4,22	F24D19B	Kandıra	4.601.400	3,58

EK-H

Çalışmada Geliştirilen Maliyet Optimizasyon Modelinin Veri ve İşlem Dosyaları

GDAT Uzantılı Veri Dosyası:

```
data;
set BILESENLER := m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6;
set YILLAR := Y2016 Y2017 Y2018 Y2019 Y2020 Y2021 Y2022 Y2023 Y2024 Y2025 Y2026 Y2027 Y2028
      Y2029 Y2030 Y2031 Y2032 Y2033 Y2034 Y2035 Y2036 Y2037 Y2038 Y2039 Y2040;
set MERKEZLER := F1 F2 F3 F4 F5 F6;
set BK := Buyuk Kucuk;
set DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI := m1 m2 m3;
param YANMA_KAYBI := ...;
param KOMPOST_BILESENLERI := ...;
param TASIMA_MALIYETLERI : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...;
param UZAKLIKLAR : F1 F2 F3 F4 F5 F6:= ...;
param AYRILMIS_MADDE_SATIS_GETIRI_ORANLARI : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...;
param DEPOLAMA_KURULUM_MALIYETI :=
    Buyuk ...
    Kucuk ...;
param DEPOLAMA_KAPATMA_MALIYETI :=
    Buyuk ...
    Kucuk ...;
param DEPOLAMA_ALAN_MALIYETI :=
    Buyuk ...
    Kucuk ...;
param DYLBK :=
    m1 ...
    m2 ...
    m3 ...;
param DK :=
    Buyuk ...
    Kucuk ...;
param DYL := ...;
param HV :=
    m0 ...
    m1 ...
    m2 ...
    m3 ...
    m4 ...
    m5 ...
    m6 ...;
param phei : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...;
param R : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...;
param Rm1 : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...;
param M :=
      [*, *, M1] : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...
      [*, *, M2] : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...
      [*, *, M3] : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...
      [*, *, M4] : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...
      [*, *, M5] : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ...
      [*, *, M6] : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ... ;
param F_CIKIS : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ... ;
param S_CIKIS : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ... ;
param K2_CIKIS : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ... ;
param T2_BT2_CIKIS : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ... ;
param T3_BT3_CIKIS : m0 m1 m2 m3 m4 m5 m6 := ... ;
end;
```

GMPL Uzantılı İşlem Dosyası:

```
set BILESENLER;
set YILLAR;
set MERKEZLER;
set BK;
set DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI;
param M{y in YILLAR, i in BILESENLER, f in MERKEZLER};
param R{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param phei{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param DK{z in BK};
param DYLBK{m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI};
param DYL{y in YILLAR};
param DEPOLAMA_ALAN_MALIYETI{z in BK};
param DEPOLAMA_KURULUM_MALIYETI{z in BK};
param DEPOLAMA_KAPATMA_MALIYETI{z in BK};
param AYRILMIS_MADDE_SATIS_GETIRI_ORANLARI{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param UZAKLIKLAR{p in MERKEZLER, q in MERKEZLER};
param TASIMA_MALIYETLERI{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param KOMPOST_BILESENLERI{i in BILESENLER};
param YANMA_KAYBI{i in BILESENLER};
param Rm1{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param F_CIKIS{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param S_CIKIS{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param K2_CIKIS{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param T2_BT2_CIKIS{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param T3_BT3_CIKIS{y in YILLAR, i in BILESENLER};
param HV{i in BILESENLER};
var Lambda_f{f in MERKEZLER, s in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Sigma_f_R{f in MERKEZLER, k1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Sigma_s{s in MERKEZLER, k2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Beta_f_R{f in MERKEZLER, t1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Beta_f{f in MERKEZLER, t2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Beta_s{s in MERKEZLER, t3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Gama_f_R{f in MERKEZLER, bt1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Gama_f{f in MERKEZLER, bt2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Gama_s{s in MERKEZLER, bt3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_f{f in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_s{s in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_k1{k1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_k2{k2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_k{k in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_t1{t1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_t2{t2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_t3{t3 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_t{t in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_bt1{bt1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_bt2{bt2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_bt3{bt3 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Delta_bt{bt in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}, >=0;
var Ayirici{s in MERKEZLER}, binary;
var Organik_Atik_Isleyici{k in MERKEZLER}, binary;
var Kompost_1{k1 in MERKEZLER}, binary;
var Kompost_2{k2 in MERKEZLER}, binary;
var Kucuk_Termal_Isleyici{t in MERKEZLER}, binary;
var Kucuk_Yakma_1{t1 in MERKEZLER}, binary;
var Kucuk_Yakma_2{t2 in MERKEZLER}, binary;
var Kucuk_Yakma_3{t3 in MERKEZLER}, binary;
var Buyuk_Termal_Isleyici{bt in MERKEZLER}, binary;
var Buyuk_Yakma_1{bt1 in MERKEZLER}, binary;
var Buyuk_Yakma_2{bt2 in MERKEZLER}, binary;
var Buyuk_Yakma_3{bt3 in MERKEZLER}, binary;
var Deponi{l in MERKEZLER, z in BK}, binary;
var Giren_Ayirici{l in MERKEZLER, y in YILLAR};
var Giren_Kompost{l in MERKEZLER, y in YILLAR};
```

```
var Giren_Kucuk_Yakma{l in MERKEZLER, y in YILLAR};
var Giren_Buyuk_Yakma{l in MERKEZLER, y in YILLAR};
var Giren_Deponi{l in MERKEZLER, y in YILLAR};
s.t. Transfer_Istasyonu_Dugumleri{f in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: M[y, i, f] - (R[y, i] *
    M[y, i, f]) - sum{s in MERKEZLER} (Lambda_f[f, s, y, i]) - sum{k1 in MERKEZLER} (Sigma_f_R[f, k1,
    y, i]) - sum{t1 in MERKEZLER} (Beta_f_R[f, t1, y, i]) - sum{t2 in MERKEZLER} (Beta_f[f, t2, y, i]) -
    sum{bt1 in MERKEZLER} (Gama_f_R[f, bt1, y, i])- sum{bt2 in MERKEZLER} (Gama_f[f, bt2, y, i]) -
    sum{l in MERKEZLER} (Delta_f[f, l, y, i]) = 0;
s.t. Kaynakta_Ayrilan_Organik{f in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{k1 in MERKEZLER} (Sigma_f_R[f,
    k1, y, 'm1']) + sum{t1 in MERKEZLER} (Beta_f_R[f, t1, y, 'm1']) + sum{bt1 in MERKEZLER}
    (Gama_f_R[f, bt1, y, 'm1']) - (Rm1[y, 'm1'] * M[y, 'm1', f]) = 0;
s.t. Sigma_f_R_m1_Haric{f1 in MERKEZLER, f2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER:i <>
    'm1'}: Sigma_f_R[f1, f2, y, i] = 0;
s.t. Beta_f_R_m1_Haric{f1 in MERKEZLER, f2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER:i <> 'm1'}:
    Beta_f_R[f1, f2, y, i] = 0;
s.t. Gama_f_R_m1_Haric{f1 in MERKEZLER, f2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER:i <>
    'm1'}: Gama_f_R[f1, f2, y, i] = 0;
s.t. Ayirici_Dugumleri{s in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{f in MERKEZLER}
    Lambda_f[f, s, y, i] - sum{f in MERKEZLER} (phei[y, i] * Lambda_f[f, s, y, i]) - sum{k2 in
    MERKEZLER} (Sigma_s[s, k2, y, i]) - sum{t3 in MERKEZLER} (Beta_s[s, t3, y, i])- sum{bt3 in
    MERKEZLER} (Gama_s[s, bt3, y, i]) - sum{l in MERKEZLER} (Delta_s[s, l, y, i]) = 0;
s.t. Kompost_1_Dugumleri{k1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{f in MERKEZLER}
    (Sigma_f_R[f, k1, y, i]) - sum{f in MERKEZLER} (KOMPOST_BILESENLERI[i] * Sigma_f_R[f, k1, y,
    i]) - sum{l in MERKEZLER} (Delta_k1[k1, l, y, i]) = 0;
s.t. Kompost_2_Dugumleri{k2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{s in MERKEZLER}
    (Sigma_s[s, k2, y, i]) - sum{s in MERKEZLER} (KOMPOST_BILESENLERI[i] * Sigma_s[s, k2, y, i]) -
    sum{l in MERKEZLER} (Delta_k2[k2, l, y, i]) = 0;
s.t. Kucuk_Yakma_1_Dugumleri{t1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{f in
    MERKEZLER} (Beta_f_R[f, t1, y, i]) - YANMA_KAYBI[i] * sum{f in MERKEZLER} (Beta_f_R[f, t1, y,
    i]) - sum{l in MERKEZLER} (Delta_t1[t1, l, y, i]) = 0;
s.t. Kucuk_Yakma_2_Dugumleri{t2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{f in
    MERKEZLER} (Beta_f[f, t2, y, i]) - YANMA_KAYBI[i] * sum{f in MERKEZLER} (Beta_f[f, t2, y, i]) -
    sum{l in MERKEZLER} (Delta_t2[t2, l, y, i]) = 0;
s.t. Kucuk_Yakma_3_Dugumleri{t3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{s in
    MERKEZLER} (Beta_s[s, t3, y, i]) - YANMA_KAYBI[i] * sum{s in MERKEZLER} (Beta_s[s, t3, y, i]) -
    sum{l in MERKEZLER} (Delta_t3[t3, l, y, i]) = 0;
s.t. Buyuk_Yakma_1_Dugumleri{bt1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{f in
    MERKEZLER} (Gama_f_R[f, bt1, y, i]) - YANMA_KAYBI[i] * sum{f in MERKEZLER} (Gama_f_R[f,
    bt1, y, i]) - sum{l in MERKEZLER} (Delta_bt1[bt1, l, y, i]) = 0;
s.t. Buyuk_Yakma_2_Dugumleri{bt2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{f in
    MERKEZLER} (Gama_f[f, bt2, y, i]) - YANMA_KAYBI[i] * sum{f in MERKEZLER} (Gama_f[f, bt2, y,
    i]) - sum{l in MERKEZLER} (Delta_bt2[bt2, l, y, i]) = 0;
s.t. Buyuk_Yakma_3_Dugumleri{bt3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}: sum{s in
    MERKEZLER} (Gama_s[s, bt3, y, i]) - YANMA_KAYBI[i] * sum{s in MERKEZLER} (Gama_s[s, bt3, y,
    i]) - sum{l in MERKEZLER} (Delta_bt3[bt3, l, y, i]) = 0;
s.t. Ayirici_Kurulumlari{s in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER}
    (Lambda_f[f, s, y, i]) - 99000 * Ayirici[s] <= 0;
s.t. Organik_Atik_Isleyici_Kurulumlari{k in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in
    BILESENLER} (Sigma_f_R[f, k, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Sigma_s[s, k, y, i])
    - 148500 * Organik_Atik_Isleyici[k] <= 0;
s.t. Kucuk_Termal_Proses_Kurulumlari_US{t in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in
    BILESENLER} (Beta_f_R[f, t, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Beta_f[f, t, y, i]) +
    sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Beta_s[s, t, y, i]) - 284625 * Kucuk_Termal_Isleyici[t] <= 0;
s.t. Buyuk_Termal_Proses_Kurulumlari_US{bt in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in
    BILESENLER} (Gama_f_R[f, bt, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Gama_f[f, bt, y, i])
    + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Gama_s[s, bt, y, i]) - 683100 * Buyuk_Termal_Isleyici[bt]
    <= 0;
s.t. Kucuk_Termal_Proses_Kurulumlari_AS{t in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in
    BILESENLER} (Beta_f_R[f, t, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Beta_f[f, t, y, i]) +
    sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Beta_s[s, t, y, i]) - 210375 * Kucuk_Termal_Isleyici[t] >= 0;
s.t. Buyuk_Termal_Proses_Kurulumlari_AS{bt in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in
    BILESENLER} (Gama_f_R[f, bt, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Gama_f[f, bt, y, i])
    + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Gama_s[s, bt, y, i]) - 504900 * Buyuk_Termal_Isleyici[bt]
    >= 0;
s.t. Isil_Deger_Kisiti_Kucuk{t in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER}
    (HV[i] * Beta_f_R[f, t, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (HV[i] * Beta_f[f, t, y, i]) +
```

```
sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (HV[i] * Beta_s[s, t, y, i]) - (8000000 * Kucuk_Termal_Isleyici[t]) >= 0;
s.t. Isil_Deger_Kisiti_Buyuk{bt in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (HV[i] * Gama_f_R[f, bt, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (HV[i] * Gama_f[f, bt, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (HV[i] * Gama_s[s, bt, y, i]) - (8000000 * Buyuk_Termal_Isleyici[bt]) >= 0;
s.t. Depolama_Alani_Kurulumlari_US{l in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_f[f, l, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_s[s, l, y, i]) + sum{k1 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_k1[k1, l, y, i]) + sum{k2 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_k2[k2, l, y, i]) + sum{t1 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_t1[t1, l, y, i]) + sum{t2 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_t2[t2, l, y, i]) + sum{t3 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_t3[t3, l, y, i]) + sum{bt1 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_bt1[bt1, l, y, i]) + sum{bt2 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_bt2[bt2, l, y, i]) + sum{bt3 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_bt3[bt3, l, y, i]) - sum{z in BK} (DK[z] * Deponi[l, z]) <= 0;
s.t. Deponi_Yasal_Kisiti{l in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_f[f, l, y, m]) + sum{s in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_s[s, l, y, m]) + sum{k1 in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_k1[k1, l, y, m]) + sum{k2 in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_k2[k2, l, y, m]) + sum{t1 in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_t1[t1, l, y, m]) + sum{t2 in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_t2[t2, l, y, m]) + sum{t3 in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_t3[t3, l, y, m]) + sum{bt1 in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_bt1[bt1, l, y, m]) + sum{bt2 in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_bt2[bt2, l, y, m]) + sum{bt3 in MERKEZLER, m in DEPOLAMA_YASAL_LIMIT_BILESENLERI} (DYLBK[m] * Delta_bt3[bt3, l, y, m]) <= DYL[y];
s.t. Deponi_Secimi{l in MERKEZLER}: sum{z in BK} (Deponi[l, z]) <= 1;
s.t. Termal_Secimi{m in MERKEZLER}: (Buyuk_Termal_Isleyici[m] + Kucuk_Termal_Isleyici[m]) <= 1;
s.t. Ayirici_Sayisi_Ust_Limit_Kisiti: sum{s in MERKEZLER} Ayirici[s] <= 6;
s.t. Organik_Atik_Isleyici_Sayisi_Ust_Limit_Kisiti: sum{k in MERKEZLER} Organik_Atik_Isleyici[k] <= 6;
s.t. Kucuk_Termal_Isleyici_Sayisi_Ust_Limit_Kisiti: sum{t in MERKEZLER} Kucuk_Termal_Isleyici[t] <= 6;
s.t. Buyuk_Termal_Isleyici_Sayisi_Ust_Limit_Kisiti: sum{bt in MERKEZLER} Buyuk_Termal_Isleyici[bt] <= 6;
s.t. Depolama_Alani_Sayisi_Ust_Limit_Kisiti: sum{l in MERKEZLER, z in BK} Deponi[l, z] <= 6;
s.t. Depolama_Alani_Sayisi_Alt_Limit_Kisiti: sum{l in MERKEZLER, z in BK} Deponi[l, z] >= 1;
s.t. Transfer_Istasyonu_Cikisi1{f in MERKEZLER, s in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: F_CIKIS[y, i] * Lambda_f[f, s, y, j] - F_CIKIS[y, j] * Lambda_f[f, s, y, i] = 0;
s.t. Transfer_Istasyonu_Cikisi2{f in MERKEZLER, t2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: F_CIKIS[y, i] * Beta_f[f, t2, y, j] - F_CIKIS[y, j] * Beta_f[f, t2, y, i] = 0;
s.t. Transfer_Istasyonu_Cikisi3{f in MERKEZLER, bt2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: F_CIKIS[y, i] * Gama_f[f, bt2, y, j] - F_CIKIS[y, j] * Gama_f[f, bt2, y, i] = 0;
s.t. Transfer_Istasyonu_Cikisi4{f in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: F_CIKIS[y, i] * Delta_f[f, l, y, j] - F_CIKIS[y, j] * Delta_f[f, l, y, i] = 0;
s.t. Ayirici_Cikisi1{s in MERKEZLER, k2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: S_CIKIS[y, i] * Sigma_s[s, k2, y, j] - S_CIKIS[y, j] * Sigma_s[s, k2, y, j] = 0;
s.t. Ayirici_Cikisi2{s in MERKEZLER, t3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: S_CIKIS[y, i] * Beta_s[s, t3, y, j] - S_CIKIS[y, j] * Beta_s[s, t3, y, j] = 0;
s.t. Ayirici_Cikisi3{s in MERKEZLER, bt3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: S_CIKIS[y, i] * Gama_s[s, bt3, y, j] - S_CIKIS[y, j] * Gama_s[s, bt3, y, j] = 0;
s.t. Ayirici_Cikisi4{s in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: S_CIKIS[y, i] * Delta_s[s, l, y, j] - S_CIKIS[y, j] * Delta_s[s, l, y, j] = 0;
s.t. K2_Cikisi{k2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: K2_CIKIS[y, i] * Delta_k2[k2, l, y, j] - K2_CIKIS[y, j] * Delta_k2[k2, l, y, j] = 0;
s.t. T2_BT2_Cikisi1{t2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: T2_BT2_CIKIS[y, i] * Delta_t2[t2, l, y, j] - T2_BT2_CIKIS[y, j] * Delta_t2[t2, l, y, j] = 0;
s.t. T2_BT2_Cikisi2{bt2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: T2_BT2_CIKIS[y, i] * Delta_bt2[bt2, l, y, j] - T2_BT2_CIKIS[y, j] * Delta_bt2[bt2, l, y, j] = 0;
s.t. T3_BT3_Cikisi1{t3 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: T3_BT3_CIKIS[y, i] * Delta_t3[t3, l, y, j] - T3_BT3_CIKIS[y, j] * Delta_t3[t3, l, y, j] = 0;
```

s.t. T3_BT3_Cikisi2{bt3 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER, j in BILESENLER: i<>j}: T3_BT3_CIKIS[y, i] * Delta_bt3[bt3, l, y, j] - T3_BT3_CIKIS[y, j] * Delta_bt3[bt3, l, y, j] = 0;

s.t. Ayirici_Giris_Miktari {s in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Lambda_f[f, s, y, i]) - Giren_Ayirici[s, y] = 0;

s.t. Kompost_Giris_Miktari {k in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Sigma_f_R[f, k, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Sigma_s[s, k, y, i]) - Giren_Kompost[k, y] = 0;

s.t. Kucuk_Yakma_Giris_Miktari {t in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Beta_f_R[f, t, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Beta_f[f, t, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Beta_s[s, t, y, i]) - Giren_Kucuk_Yakma[t, y] = 0;

s.t. Buyuk_Yakma_Giris_Miktari {bt in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Gama_f_R[f, bt, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Gama_f[f, bt, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Gama_s[s, bt, y, i]) - Giren_Buyuk_Yakma[bt, y] = 0;

s.t. Deponi_Giris_Miktari {l in MERKEZLER, y in YILLAR}: sum{f in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_f[f, l, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_s[s, l, y, i]) + sum{k1 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_k1[k1, l, y, i]) + sum{k2 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_k2[k2, l, y, i]) + sum{t1 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_t1[t1, l, y, i]) + sum{t2 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_t2[t2, l, y, i]) + sum{t3 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_t3[t3, l, y, i]) + sum{bt1 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_bt1[bt1, l, y, i]) + sum{bt2 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_bt2[bt2, l, y, i]) + sum{bt3 in MERKEZLER, i in BILESENLER} (Delta_bt3[bt3, l, y, i])- Giren_Deponi[l, y] = 0;

minimize Amac: sum{s in MERKEZLER} (4000 * 25 * Ayirici[s]) + sum{k in MERKEZLER} (50000 * 25 * Organik_Atik_Isleyici[k]) + sum{t in MERKEZLER} (0 * 25 * Kucuk_Termal_Isleyici[t]) + sum{bt in MERKEZLER} (0 * 25 * Buyuk_Termal_Isleyici[bt]) + sum{l in MERKEZLER, z in BK} (DEPOLAMA_ALAN_MALIYETI[z] * Deponi[l, z] * 25) + sum{s in MERKEZLER} (645000 * 25 * Ayirici[s]) + sum{k in MERKEZLER} (3750000 * 25 * Organik_Atik_Isleyici[k]) + sum{f in MERKEZLER, t1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (20 * Beta_f_R[f, t1, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, t2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (20 * Beta_f[f, t2, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, t3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (20 * Beta_s[s, t3, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, bt1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (17 * Gama_f_R[f, bt1, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, bt2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (17 * Gama_f[f, bt2, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, bt3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (17 * Gama_s[s, bt3, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_f[f, l, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_s[s, l, y, i]) + sum{k1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_k1[k1, l, y, i]) + sum{k2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_k2[k2, l, y, i]) + sum{t1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_t1[t1, l, y, i]) + sum{t2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_t2[t2, l, y, i]) + sum{t3 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_t3[t3, l, y, i]) + sum{bt1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_bt1[bt1, l, y, i]) + sum{bt2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_bt2[bt2, l, y, i]) + sum{bt3 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40.24 * Delta_bt3[bt3, l, y, i]) - sum{f in MERKEZLER, s in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (AYRILMIS_MADDE_SATIS_GETIRI_ORANLARI[y, i] * phei[y, i] * Lambda_f[f, s, y, i]) - sum{f in MERKEZLER, k1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40 * KOMPOST_BILESENLERI[i] * Sigma_f_R[f, k1, y, i]) - sum{s in MERKEZLER, k2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (40 * KOMPOST_BILESENLERI[i] * Sigma_s[s, k2, y, i]) - sum{f in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (23 * 0.104 * Delta_f[f, l, y, i]) - sum{s in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (23 * 0.104 * Delta_s[s, l, y, i]) - sum{k1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (23 * 0.104 * Delta_k1[k1, l, y, i]) - sum{k2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (23 * 0.104 * Delta_k2[k2, l, y, i]) - sum{t1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (0 * Delta_t1[t1, l, y, i]) - sum{t2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (0 * Delta_t2[t2, l, y, i]) - sum{t3 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (0 * Delta_t3[t3, l, y, i]) - sum{bt1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (0 * Delta_bt1[bt1, l, y, i]) - sum{bt2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (0 * Delta_bt2[bt2, l, y, i]) - sum{bt3 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (0 * Delta_bt3[bt3, l, y, i]) - sum{t in MERKEZLER} (10000000 * Kucuk_Termal_Isleyici[t]) - sum{bt in MERKEZLER} (15000000 * Buyuk_Termal_Isleyici[bt]) + sum{f in MERKEZLER, s in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (5 * Lambda_f[f, s, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, k1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (5 * Sigma_f_R[f, k1, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, k2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (5 * Sigma_s[s, k2, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, t1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (75 * Beta_f_R[f, t1, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, t2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (75 * Beta_f[f, t2, y,

```
    i]) + sum{s in MERKEZLER, t3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (75 * Beta_s[s, t3, y,
    i]) + sum{f in MERKEZLER, bt1 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (75 * Gama_f_R[f,
    bt1, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, bt2 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (75 *
    Gama_f[f, bt2, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, bt3 in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER}
    (75 * Gama_s[s, bt3, y, i]) + sum{f in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in
    BILESENLER} (35 * Delta_f[f, l, y, i]) + sum{s in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in
    BILESENLER} (35 * Delta_s[s, l, y, i]) + sum{k1 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in
    BILESENLER} (35 * Delta_k1[k1, l, y, i]) + sum{k2 in MERKEZLER, l in MERKEZLER, y in YILLAR, i
    in BILESENLER} (35 * Delta_k2[k2, l, y, i]) + sum{t1 in MERKEZLER,  l in MERKEZLER, y in
    YILLAR, i in BILESENLER} (35 * Delta_t1[t1, l, y, i]) + sum{t2 in MERKEZLER,  l in MERKEZLER, y
    in YILLAR, i in BILESENLER} (35 * Delta_t2[t2, l, y, i]) + sum{t3 in MERKEZLER,  l in MERKEZLER,
    y in YILLAR, i in BILESENLER} (35 * Delta_t3[t3, l, y, i]) + sum{bt1 in MERKEZLER,  l in
    MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (35 * Delta_bt1[bt1, l, y, i]) + sum{bt2 in
    MERKEZLER,  l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (35 * Delta_bt2[bt2, l, y, i]) +
    sum{bt3 in MERKEZLER,  l in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (35 * Delta_bt3[bt3, l, y,
    i]) + sum{p in MERKEZLER, q in MERKEZLER, y in YILLAR, i in BILESENLER} (UZAKLIKLAR[p,
    q] * TASIMA_MALIYETLERI[y, i] * (Lambda_f[p, q, y, i] + Sigma_f_R[p, q, y, i] + Sigma_s[p, q, y, i] +
    Beta_f_R[p, q, y, i] + Beta_f[p, q, y, i] + Beta_s[p, q, y, i] + Gama_f_R[p, q, y, i] + Gama_f[p, q, y, i] +
    Gama_s[p, q, y, i] + Delta_f[p, q, y, i] + Delta_s[p, q, y, i] + Delta_k1[p, q, y, i] + Delta_k2[p, q, y, i] +
    Delta_t1[p, q, y, i] + Delta_t2[p, q, y, i] + Delta_t3[p, q, y, i] + Delta_bt1[p, q, y, i] + Delta_bt2[p, q, y, i] +
    Delta_bt3[p, q, y, i]));
solve;
end;
```

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Demirarslan K. O., **Korucu M. K.,** Karademir A., Katı atık depolama alanlarının nihai yer seçiminde coğrafi bilgi sistemleri ve kirlilik dağılım modellerinin birlikte kullanımı için bir yöntem önerisi, *Uluslararası Katılımlı V. Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, Eskişehir, Türkiye, 18-20 Eylül 2013.

Korucu M. K., Karademir A., Durmuşoğlu E., Atık bertarafında riskin algılanması, risk iletişimi ve Kocaeli için bir değerlendirme, *Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli-2008*, Kocaeli, Türkiye, 14-17 Mayıs 2008.

Korucu, M. K., Discussion of 'combining ahp with gis for landfill site selection: a case study in the lake beysehir catchment area (konya, turkey), waste management, 30, 11, 2010, 2037-2046', *Waste Management*, 2011, **31**(6), 1250-1251.

Korucu M. K., Alkan A., Karademir A., Aladağ Z., Uludağ O., Evsel Katı atık yönetiminde en uygun bertaraf seçeneğinin belirlenmesi için analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve analitik ağ prosesi (ANP) yöntemlerinin kullanımı ve Kocaeli için bir karşılaştırma, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Samsun, Türkiye, 5-8 Ekim 2011.

Korucu M. K., Erdagi B., 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*, 2012a, **32**, 2315-2323.

Korucu M. K., Erdağı B., Evsel katı atıkların nihai bertarafı için yer seçiminde kullanılan çok kriterli karar analizi uygulamalarının bir eleştirisi, *7. Karaburun Bilim Kongresi*, İzmir, Türkiye, 5-9 Eylül 2012b.

Korucu M. K., Karademir A., Evsel nitelikli katı atık bertaraf tesislerinin yer seçimi konusunda Türkiye'deki ulusal mevzuat ve sorunlar, *Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu VII*, İstanbul, Türkiye, 22-23 Kasım 2012.

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

Korucu M. K., Karademir A., Evsel nitelikli katı atıkların işlenmesi ve bertarafı için yöntem seçiminde doğrusal bir maliyet optimizasyon modeli ve belirsizlikler, *Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 29 Mayıs-1 Haziran 2013a.

Korucu M. K., Karademir A., Evsel nitelikli katı atıkların bertarafı için yer seçiminde dışsal kriterlerin nihai karar üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 10. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Ankara, Türkiye, 12-14 Eylül 2013b.

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

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

Korucu M. K., Cihan A., Alkan A., Karademir A., Aladağ Z., Dışsallıkların evsel katı atık işleme ve bertarafı için sistem seçimi üzerine etkileri, *Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*, Gaziantep, Türkiye, 14 -16 Ekim 2015.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit'te tamamladı. 2000 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu. 2005-2008 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2005 yılından bu yana Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.