

**KENTSEL KATI ATIK YÖNETİM SİSTEMLERİNİN
OLUŞTURULMASINDA FARKLI KARAR VERME
TEKNİKLERİNİN KULLANIMI**

Aysun ÖZKAN

Doktora Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat – 2008

"Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 050239"

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Aysun Özkan'ın **Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemlerinin Oluşturulmasında Farklı Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı** başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki Doktora tezi, 28.01.2008 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

| | Adı-Soyadı | İmza |
|---------------------|-----------------------------|-------------|
| Üye (Tez Danışmanı) | : Yard.Doç.Dr. MÜFİDE BANAR | |
| Üye | : Prof.Dr. GÜNAY KOCASOY | |
| Üye | : Prof.Dr. ÜLKER ÖĞÜTVEREN | |
| Üye | : Prof.Dr. CAN AYDAY | |
| Üye | : Doç.Dr. ERDEM ALBEK | |

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

KENTSEL KATI ATIK YÖNETİM SİSTEMLERİNİN OLUŞTURULMASINDA FARKLI KARAR VERME TEKNİKLERİNİN KULLANIMI

Aysun ÖZKAN

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yard.Doç.Dr. Müfide BANAR
İkinci Danışman: Yard.Doç.Dr. Metin ALTAN
2008, 202 sayfa**

Sürdürülebilir bir katı atık yönetimi planlaması teknik, çevresel, ekonomik, sosyal ve politik faktörleri içeren karmaşık ve disiplinlerarası bir konudur. Bu tezde, bir kentte katı atık yönetim sistemi kurulurken izlenmesi gereken tüm adımlar, farklı teknikler kullanılarak ele alınmıştır. Bu amaçla, Eskişehir kentindeki katı atıkların fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmış ve bu analiz sonuçlarına göre optimum atık yönetim sistemi ve geri kazanım sistemi belirlenmiş, belediyeler için büyük önem arz eden atık toplama ve taşıma rotaları oluşturulmuş ve son olarak düzenli depolama sahası yer seçimi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Tezde, bir yıl boyunca yapılan katı atık analizlerine göre Eskişehir'in kentsel katı atıklarının bileşimi %67 yiyecek atığı, %10 kağıt-karton, %5,6 plastik, %2,5 cam, %1,3 metal, %4 kül ve %9,6 diğer atıklar olarak bulunmuştur. Elde edilen atık karakterizasyonu sonuçlarına göre, Eskişehir kentsel katı atıklarının yönetimi için oluşturulan beş farklı senaryo, Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) ve ELECTRE III yöntemleri ile değerlendirilmiş ve Lingo 9.0 yazılımıyla bir karar destek sisteminin yapısı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara göre, S3 (%15 geri kazanım + %77 kompostlama + %8 düzenli depolama) senaryosunun en uygun senaryo olduğu belirlenmiştir. Geri kazanım sistemi olarak da, Analitik Serim Süreci (ANP) ve ELECTRE III yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre, geri kazanılabilir atıkların başlangıçta evlerde karışık olarak toplanması gerektiği, bunun yanı sıra geri kazanım merkezlerinin oluşturulması ve takiben atıkların ayırma tesislerinde de ayrılması gerektiği görülmüştür. Kentsel katı atık toplama ve taşıma rotaları ise coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve matematiksel modelleme yardımıyla belirlenmiş, bu konuda da mevcut duruma göre önemli iyileştirmeler sağlanmıştır. Son olarak, CBS, uzaktan algılama, ANP ve ELECTRE III yöntemleri kullanılarak, Eskişehir kenti için düzenli depolama sahası yer seçimi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çok Ölçütlü Karar Verme, Katı Atık Yönetimi, Yaşam Döngüsü Analizi, Uzaktan Algılama.

ABSTRACT

PhD Dissertation

UTILIZATION OF DIFFERENT DECISION MAKING TECHNIQUES FOR DEVELOPMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEMS

Aysun ÖZKAN

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Assist.Prof.Dr. Müfide BANAR
Co-supervisor: Assist.Prof.Dr. Metin ALTAN
2008, 202 pages**

A sustainable solid waste management system planning is a complex and an interdisciplinary subject, which requires the consideration of technical, environmental, economical, social and political factors. In this thesis, all of the stages which should be required for development of solid waste management system in a city were taken into consideration with different techniques. For this purpose, physical and chemical analysis of Municipal Solid Waste (MSW) in Eskişehir were carried out and optimum waste management and recycling system were determined according to these analyses results, and waste collection and transportation routes were obtained and finally landfill site selection realized.

According to solid waste analyses, it was found that the percentages of the components of the solid waste in Eskişehir were: food wastes 67 %, paper-cardboard 10 %, plastics 5.6 %, glass 2.5 %, metals 1.3 %, ash 4 % and miscellaneous 9.6 %. According to waste characterization results, five different scenarios for MSW management in Eskişehir were assessed by Life Cycle Assessment (LCA) and ELECTRE III techniques and the structure and application of the decision support system by using Lingo 9.0 optimization software realized. It is determined that the scenario to be preferred for the city of Eskişehir should be S3 (15% recycling+77% composting + 8% landfilling). Recycling wastes should firstly be separated from other wastes at home and then recycling centers should be installed and finally remaining wastes should be separated in a Material Recovery Facility (MRF) according to Analytic Network Process (ANP) and ELECTRE III studies. The route of MSW collection and transportation routes were designated by Geographical Information Systems (GIS) and mathematical modeling and important reduction in distances of available routes was realized. Finally, site selection for MSW landfill in Eskişehir was realized by GIS, remote sensing, ANP and ELECTRE III techniques.

Keywords: Geographic Information Systems, Multi-Criteria Decision Making, Solid Waste Management, Life Cycle Assessment, Remote Sensing.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı;

Lisans öğrenimimden bu yana birlikte çalıştığım, bu çalışmada da beni yönlendiren, çalışmamın her safhasında bilgi, yardım ve desteğini esirgemeyerek bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan, kendimi geliştirmemde en büyük paya sahip; yönlendiriciliği, model akademik kişiliği ve bana olan inancından dolayı değerli danışman hocam Y.Doç.Dr. Müfide BANAR'a;

Uydu ve Uzay Bilimleri Enstitüsü'nün her türlü imkanından yararlanmamı sağlayan ve Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri konusunda büyük destek veren Prof.Dr. Can AYDAY'a ve ikinci tez danışmanım Y.Doç.Dr. Metin ALTAN'a;

Matematiksel modelleme ve Çok Ölçütlü Karar Verme Tekniklerinin uygulanması aşamalarında beni yönlendiren Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Öğretim Üyesi Y.Doç.Dr. Aydın SİPAHİOĞLU'na;

Tez izleme komitemde bulunarak bu tez çalışmasına destek veren değerli hocam Prof.Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN'e;

Atıkların laboratuvara ulaştırılması ve her türlü veri desteklerinden dolayı başta Odunpazarı Belediye Başkanı Burhan SAKALLI ve Tepebaşı Belediye Başkanı Dr. Tacettin SARIOĞLU olmak üzere her iki belediyenin Temizlik İşleri Müdürleri Ahmet GEÇİLİ ve Koray KÖK ile temizlik şirketi elemanlarına;

Çok Ölçütlü Karar Verme ve Yaşam Döngüsü Analizi çalışmalarında verdikleri desteklerden dolayı çalışma arkadaşlarım Araş.Gör. Ilgın POYRAZ ACAR ve Araş.Gör. Zerrin ÇOKAYGİL'e;

Atık analizlerinde birlikte uğraş verdiğimiz, çalışma arkadaşım Tepebaşı Belediyesi'nde görevli Çevre Yüksek Mühendisi Alev KULAÇ ve Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi elemanlarından dostum Emel ÇELİKEL'e, ve yine desteklerinden dolayı dostlarım Araş.Gör.Dr. Ebru ÖNDER ve Kevser YILMAZLARDAN'a

Osmangazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında katı atık numunelerimizin ısı değer tayininin yapılabilmesi için gerekli izni veren Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hüriyet Erşahan ve analizler için değerli zamanlarını esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Dilek Angın'a ve Araş. Gör. Murat Doğru'ya;

Bu uzun süreçte gösterdikleri sabır, ilgi ve anlayışlarından dolayı eşime ve biricik kızım Ela'ya

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aysun ÖZKAN
Şubat 2008

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xv |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Amaç | 3 |
| | |
| 2. KENTSEL KATI ATIK YÖNETİMİ | 5 |
| 2.1. Önleme | 6 |
| 2.2. Toplama ve Taşıma / Aktarma | 9 |
| 2.3. Geri Kazanım/Geri Dönüşüm | 11 |
| 2.4. Kompostlama..... | 12 |
| 2.5. Yakma | 14 |
| 2.6. Düzenli Depolama | 16 |
| | |
| 3. KENTSEL KATI ATIK YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMINDA | |
| KULLANILAN ARAÇLAR | 20 |
| 3.1. Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri..... | 20 |
| 3.1.1. ELECTRE yöntemi | 22 |
| 3.1.2. Analitik Serim Süreci (ANP) yöntemi | 24 |
| 3.2. Uzaktan Algılama..... | 26 |
| 3.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) | 29 |
| 3.4. Yaşam Döngüsü Analizi(LCA) | 31 |
| 3.4.1. Hedef ve kapsam tanımı | 34 |
| 3.4.2. Envanter analizi..... | 35 |
| 3.4.3. Etki değerlendirmesi | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.4. Yorum..... | 36 |
| 4. KONUyla İLGİLİ ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR..... | 37 |
| 4.1. Atık Bileşiminin Belirlenmesi ve Geri Kazanım/Geri Dönüşü ile İlgili Çalışmalar | 37 |
| 4.2. Atık Yönetim Sistemlerinin Modellenmesi ile İlgili Çalışmalar | 38 |
| 4.3. Toplama-Taşıma Sistemlerinin Optimizasyonu ile İlgili Çalışmalar .. | 41 |
| 4.4. Düzenli Depolama Sahası Yer Seçimi ile İlgili Çalışmalar | 44 |
| 5. ESKİŞEHİR KENTİ VE MEVCUT KATI ATIK DURUMU..... | 48 |
| 5.1. Eskişehir Kentinin Özellikleri | 48 |
| 5.1.1. Coğrafi durum | 48 |
| 5.1.2. Topoğrafya ve jeomorfolojik durum | 49 |
| 5.1.3. İklim ve meteoroloji | 49 |
| 5.1.4. Bitki örtüsü | 51 |
| 5.1.5. Nüfus dağılımı | 51 |
| 5.1.6. İmar durumu | 52 |
| 5.1.7. Ekonomik durum | 53 |
| 5.1.8. Eğitim durumu | 54 |
| 5.2. Eskişehir Kenti Mevcut Katı Atık Durumu | 55 |
| 5.2.1. Kentsel atıklar | 56 |
| 5.1.2. Tıbbi atıklar | 57 |
| 5.1.3. Endüstriyel atıklar | 57 |
| 5.3. Kentsel Katı Atık Toplama ve Taşıma Sistemi | 58 |
| 5.4. Eskişehir Katı Atık Depolama Sahasının Özellikleri | 58 |
| 6. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 63 |
| 6.1. Eskişehir Kentsel Katı Atık Bileşiminin Belirlenmesi | 65 |
| 6.1.1. Nem oranlarının belirlenmesi | 66 |
| 6.1.2. Isıl değerin belirlenmesi | 66 |
| 6.1.3. pH tayini | 67 |
| 6.1.4. Ağır metal tayini | 67 |

| | |
|---|------------|
| 6.1.5. Katı atıkların su ile çalkalanarak özütlenmesi (TCLP) | 68 |
| 6.2. Kentsel Katı Atık Yönetim Sisteminin Belirlenmesi | 68 |
| 6.2.1. ELECTRE III yöntemi | 76 |
| 6.2.2. Yaşam döngüsü analizi (LCA)..... | 79 |
| 6.2.2.1. Çalışmada kullanılan SimaPro 7.0 yazılımı | 79 |
| 6.2.2.2. Hedef ve kapsam tanımı | 86 |
| 6.2.2.3. Envanter analizi..... | 87 |
| 6.2.3. Katı atık yönetim sistemi seçimi için doğrusal olmayan optimizasyon yaklaşımı | 90 |
| 6.2.3.1. Amaç fonksiyonu..... | 94 |
| 6.2.3.2. Kısıtlar | 95 |
| 6.3. Geri Kazanım Sisteminin Belirlenmesi | 101 |
| 6.3.1. ANP yöntemi..... | 102 |
| 6.3.2. ELECTRE III yöntemi | 108 |
| 6.4. Kentsel Katı Atık Toplama ve Taşıma Rotalarının Belirlenmesi | 110 |
| 6.4.1. Mevcut atık toplama bölgelerine göre rota belirlenmesi..... | 110 |
| 6.4.2. Atık karakterizasyon sonuçlarına göre rota belirlenmesi..... | 111 |
| 6.4.2.1. Matematiksel model kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar | 117 |
| 6.4.2.2. CBS kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar | 125 |
| 6.5. Düzenli Depolama Sahası Yer Seçimi Çalışmaları | 126 |
| 6.5.1. CBS ve UA teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar . | 127 |
| 6.5.2. Alternatif sahaların özellikleri..... | 141 |
| 6.5.3. Eskişehir için nüfus projeksiyonu ve atık miktarlarının tahmini | 145 |
| 6.5.4. ANP yöntemi ile yapılan çalışmalar..... | 148 |
| 6.5.5. ELECTRE III yöntemi ile yapılan çalışmalar | 153 |
| 7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME | 155 |
| 7.1. Atık Bileşimi ile İlgili Bulgular | 155 |
| 7.1.1. Kentsel katı atıkların mevsimsel değişimi | 157 |
| 7.1.2. Kentsel katı atıkların sosyo-ekonomik değişimi | 158 |
| 7.1.3. Kentsel katı atıkların kimyasal analiz sonuçları..... | 161 |

| | |
|--|------------|
| 7.2. Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi ile İlgili Bulgular | 165 |
| 7.2.1. ELECTRE III yöntemi | 165 |
| 7.2.2. Yaşam döngüsü analizi | 167 |
| 7.2.3. Doğrusal olmayan optimizasyon yöntemi | 170 |
| 7.3. Geri Kazanım Sistemi ile İlgili Bulgular | 171 |
| 7.3.1. ANP yöntemi | 171 |
| 7.3.2. ELECTRE III | 173 |
| 7.4. Kentsel Katı Atık Toplama-Taşıma Sistemleri ile İlgili Bulgular | 174 |
| 7.4.1. Mevcut atık toplama bölgeleri temel alınarak gerçekleştirilen çalışma sonuçları | 174 |
| 7.4.2. Kentsel katı atık toplama/taşıma rotalarının matematiksel modelleme ve CBS sonuçları | 177 |
| 7.5. Depolama Sahası Yer Seçimi Çalışmalarından Elde Edilen Sonuçlar . | 186 |
| 7.5.1. ANP çalışmalarından elde edilen sonuçlar | 186 |
| 7.5.2. ELECTRE III çalışmalarından elde edilen sonuçlar | 188 |
| 8. SONUÇ..... | 190 |
| KAYNAKLAR | 193 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| 2.1. Katı atık yönetim sistemi hiyerarşisi | 6 |
| 2.2. a) Normal zeminler için evsel katı atık depolama sahası tabanı sızdırmazlık sistemi..... | 18 |
| 2.2. b) Doğal kil bulunması halinde evsel katı atık depolama sahası tabanı sızdırmazlık sistemi..... | 18 |
| 2.2. c) İçme ve kullanma suyu havzaları uzun mesafe için evsel katı atık depolama sahası tabanı sızdırmazlık sistemi..... | 18 |
| 2.3. Depolama sahası üst geçirimsizlik sistemi | 19 |
| 3.1. Uzaktan algılama sistemi | 27 |
| 3.2. LCA'nın aşamaları ve sınırları | 32 |
| 3.3. LCA'nın uygulama alanlarına göre kullanım sıklığı..... | 33 |
| 3.4. LCA'nın genel yapısı..... | 33 |
| 5.1. Depolama sahasının konumu | 59 |
| 5.2. Depolama sahasının jeoloji haritası..... | 60 |
| 5.3. Depolama sahasının litolojik kesiti..... | 60 |
| 5.4.(a) Depolama sahasının eğim haritası..... | 61 |
| 5.4.(b) Depolama sahasının bakı haritası..... | 61 |
| 5.5. Depolama sahasının uydu görüntüsü (Landsat RGB/741) | 62 |
| 6.1. Tezin akış şeması..... | 64 |
| 6.2. Bir katı atık yönetim sisteminin geliştirilmesi için önerilen akış şeması..... | 69 |
| 6.3. Senaryo 1'in akım şeması..... | 71 |
| 6.4. Senaryo 2'nin akım şeması..... | 72 |
| 6.5. Senaryo 3'ün akım şeması..... | 73 |
| 6.6. Senaryo 4'ün akım şeması..... | 74 |
| 6.7. Senaryo 5'in akım şeması..... | 75 |
| 6.8. SimaPro 7.0 yazılımının yapısı..... | 80 |
| 6.9. Eco-indicator 99 kullanılarak yapılan bir analizin yapısı..... | 81 |
| 6.10. Karşılaştırma üçgeni | 82 |
| 6.11. Sistem sınırları | 86 |

| | |
|---|-----|
| 6.12. Modelin şematik gösterimi | 91 |
| 6.13. BCR modeli ve Super Decisions yazılım görüntüsü | 106 |
| 6.14.(a) Fayda kümesi ölçütleri | 106 |
| 6.14.(b) Maliyet kümesi ölçütleri | 107 |
| 6.14.(c) Risk kümesi ölçütleri..... | 107 |
| 6.15. Eskişehir kenti için mevcut atık toplama programı | 111 |
| 6.16. Atık toplama bölgeleri | 116 |
| 6.17. Matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılan örnek serim | 119 |
| 6.18. Tek aracın tüm atığı toplamaya yettiği durumda elde edilen çözüm | 120 |
| 6.19. Atık miktarını toplayacak sayıda aracın kullanıldığı durumda elde edilen çözüm..... | 121 |
| 6.20. Tek aracın 2 sefer yaparak atığı topladığı durumda elde edilen çözüm | 122 |
| 6.21. Kısa yollara aracın girmesine gerek olmadığı durumda elde edilen çözüm | 123 |
| 6.22. Matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılan bölgede oluşturulan düğüm noktaları | 124 |
| 6.23. Matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılan bölgedeki tek yönlü yollar | 125 |
| 6.24. Eskişehir merkezdeki yollar ve düğümler | 126 |
| 6.25. Eskişehir kent merkezi..... | 128 |
| 6.26. Çalışma alanı | 129 |
| 6.27. Eskişehir kent merkezi ve etrafındaki etki alanı..... | 129 |
| 6.28. Çalışma alanı içindeki yerleşim yerleri | 130 |
| 6.29. Çalışma alanı içindeki yerleşim yerlerinin etki alanları | 130 |
| 6.30. Çalışma alanı içinde yer alan barajlar..... | 131 |
| 6.31. Çalışma alanı içinde yer alan barajların etki alanları..... | 131 |
| 6.32. Çalışma alanı içinde yer alan göletler..... | 132 |
| 6.33. Çalışma alanı içinde yer alan göletlerin etki alanları..... | 132 |
| 6.34. Çalışma alanı içinde yer alan akarsular | 133 |

| | |
|---|-----|
| 6.35. Çalışma alanı içinde yer alan akarsuların etki alanları | 133 |
| 6.36. Çalışma alanı içinde saptanan aktif ve pasif faylar..... | 134 |
| 6.37. Çalışma alanı içinde saptanan fayların etki alanı | 134 |
| 6.38. Çalışma alanının jeolojik özellikleri..... | 135 |
| 6.39. Çalışma alanının uydu görüntüsü (LANDSAT 2005 RGB/741)... | 135 |
| 6.40. Çalışma alanının yükseklik haritası | 136 |
| 6.41. Çalışma alanının eğim haritası | 136 |
| 6.42. Çalışma alanının kent merkezi dışındaki bölgeleri..... | 137 |
| 6.43. Çalışma alanının kent merkezi ve köyler dışındaki bölgeleri..... | 137 |
| 6.44. Çalışma alanının kent merkezi, köyler ve barajlar dışındaki bölgeleri..... | 138 |
| 6.45. Çalışma alanının kent merkezi, köyler, barajlar ve göletler dışındaki bölgeleri | 138 |
| 6.46. Çalışma alanının kent merkezi, köyler, barajlar, göletler ve akarsular dışındaki bölgeleri..... | 139 |
| 6.47. Çalışma alanının kent merkezi, köyler, barajlar, göletler, akarsular ve faylar dışındaki bölgeleri..... | 139 |
| 6.48. Depolama sahası yer seçimi çalışmalarında değerlendirilebilecek bölgeler | 140 |
| 6.49. Depolama sahası yer seçimi çalışmalarında değerlendirilen alternatif sahalarda..... | 141 |
| 6.50. Satılmışoğlu sahasının görünümü..... | 142 |
| 6.51. Nemli sahası görünümü | 143 |
| 6.52. Kızılinler sahası görünümü..... | 144 |
| 6.53. Çavlum sahası görünümü | 145 |
| 6.54. Depolama sahası yer seçiminde kullanılan BCR modeli ve Super Decision yazılım görüntüsü | 148 |
| 6.55.(a) Fayda kümesi ölçütleri | 149 |
| 6.55.(b) Maliyet kümesi ölçütleri | 149 |
| 6.55.(c) Risk kümesi ölçütleri..... | 150 |
| 7.1. Eskişehir'deki kentsel katı atıkların genel bileşimi | 155 |
| 7.2. Eskişehir'deki geri kazanılabilir atık dağılımı..... | 156 |

| | |
|---|-----|
| 7.3. Kentsel katı atıkların ve farklı malzemelerin ısı değerlerinin karşılaştırılması | 162 |
| 7.4. Senaryoların sıralaması..... | 165 |
| 7.5. Farklı etki sınıfı yöntemleri için duyarlık analizi sonuçları..... | 170 |
| 7.6. Optimum geri kazanım sistemi seçiminde ANP akış diyagramı ve sonuçları | 172 |
| 7.7. Optimum geri kazanım sistemi seçiminde ANP toplam sonuçları | 173 |
| 7.8. O6 bölgesi için atık toplama rotası | 175 |
| 7.9. Atık toplama aracının garaj, bölge ve depolama sahası arasındaki rotası | 177 |
| 7.10. Transportation Manager programı ile elde edilen rota | 178 |
| 7.11. Tek yönlü yolların dikkate alındığı durumda elde edilen çözüm | 179 |
| 7.12. Tek yönlü yolların dikkate alınmadığı durumda elde edilen çözüm | 182 |
| 7.13. Geri kazanım merkezleri için toplama rotaları | 185 |
| 7.14. Alternatif depolama sahalarnın yer seçiminde ANP'nin akış diyagramı ve sonuçları..... | 187 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|-----|
| 2.1. Evsel katı atıklarda kirlilik önleme yöntemleri | 8 |
| 2.2. Toplama yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları..... | 10 |
| 2.3. Kompostlama süreci için önemli tasarım değişkenleri..... | 13 |
| 3.1. Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması..... | 21 |
| 3.2. ANP yönteminde kullanılan derecelendirmeler..... | 25 |
| 3.3. CBS tasarım ve uygulama alanları | 30 |
| 4.1. Depolama sahası yer seçimi için önceden yapılan çalışmalarda dikkate alınan kriterler | 45 |
| 5.1. Yıllar itibariyle Eskişehir ili nüfus sayım sonuçları | 52 |
| 6.1. Bölgelere göre numune sayıları | 66 |
| 6.2. Katı atık yönetim sistemi seçimi için ELECTRE III'de kullanılan ölçütler ve özellikleri | 76 |
| 6.3. Ölçüt, alternatif, eşik değeri ve ölçüt ağırlıklarının performans değerleri..... | 79 |
| 6.4. Eskişehir kentsel katı atıklarının bileşimi..... | 86 |
| 6.5. Senaryolar için toplam geri kazanım oranları ve taşıma mesafeleri..... | 88 |
| 6.6. Türkiye'nin elektrik enerjisi kaynakları ve hızları | 88 |
| 6.7. Doğrusal olmayan optimizasyon çalışmasında kullanılan gösterimler | 92 |
| 6.8. Taşıma maliyetleri | 96 |
| 6.9. Geri kazanım senaryoları için hesaplanan gelirler ve maliyetler | 105 |
| 6.10. ELECTRE III yöntemiyle yapılan çalışmada kullanılan ölçütler ve özellikleri | 108 |
| 6.11. Geri kazanım sisteminin belirlenmesinde kullanılan performans değerleri..... | 109 |
| 6.12. Mahallelerde oluşan atık miktarları | 113 |
| 6.13. Tepebaşı Belediyesi kentsel katı atık toplama programı | 115 |
| 6.14. Odunpazarı Belediyesi kentsel katı atık toplama programı..... | 115 |

| | |
|---|-----|
| 6.15. Eskişehir için nüfus projeksiyonu ve tahmini atık miktarları..... | 146 |
| 6.16. 2010-2030 yılları arasında Eskişehir il merkezinde depolanacak toplam katı atık miktarı..... | 147 |
| 6.17. Alternatif sahaların kapasiteleri..... | 151 |
| 6.18. Depolama sahası maliyetleri..... | 153 |
| 6.19. Depolama sahası yer seçimi çalışmalarında kullanılan ölçütler ve özellikleri..... | 154 |
| 6.20. Ölçüt, alternatif, eşik değeri ve ölçüt ağırlıklarının performans değerleri..... | 154 |
| 7.1. Türkiye’deki büyük kentlerde kentsel katı atık bileşimi | 156 |
| 7.2. Eskişehir’deki kentsel katı atık bileşiminin mevsimsel değişimi | 158 |
| 7.3. Atık karakterizasyon sonuçlarının mevsimsel değişime göre istatistiksel değerlendirmesi | 158 |
| 7.4. Tepebaşı ve Odunpazarı Bölgesi’ndeki mahallelerin/bölgelerin sosyo-ekonomik düzeyleri..... | 159 |
| 7.5. Eskişehir’deki kentsel katı atık bileşiminin sosyo-ekonomik değişimi | 160 |
| 7.6. Atık karakterizasyon sonuçlarının sosyoekonomik değişime göre istatistiksel değerlendirmesi | 160 |
| 7.7. Eskişehir kentsel katı atıklarının ısı değerleri | 161 |
| 7.8. Eskişehir kentsel katı atıklarının pH ve ağır metal içerikleri | 163 |
| 7.9. Eskişehir kentsel katı atıklarının TCLP analizi sonuçları | 164 |
| 7.10. Uygunluk matrisi | 165 |
| 7.11. Karakterizasyon sonuçları | 169 |
| 7.12. Elde edilen sonuçlar..... | 171 |
| 7.13. Uygunluk matrisi | 173 |
| 7.14. Geri kazanım senaryolarının ANP ve ELECTRE III sonuçlarının karşılaştırılması..... | 174 |
| 7.15. Mevcut durum ve çalışma sonuçlarının karşılaştırması..... | 176 |
| 7.16. Tepebaşı ve Odunpazarı Belediyeleri için haftalık atık toplama mesafeleri..... | 177 |

| | |
|--|-----|
| 7.17. Transportation Manager programı kullanılarak Tepebaşı Belediyesi gece programı Bölge 8 için elde edilen mesafeler..... | 179 |
| 7.18. Tek yönlü yolların dikkate alındığı durumda elde edilen Lingo yazılımı çıktısı..... | 180 |
| 7.19. Tek yönlü yolların dikkate alınmadığı durumda elde edilen Lingo yazılımı çıktısı..... | 183 |
| 7.20. Sonuçların karşılaştırılması | 185 |
| 7.21. Geri kazanım merkezlerinin toplama rotalarının mesafeleri | 186 |
| 7.22. Alternatif sahaların BCR modeline göre uygunluk sıralaması | 188 |
| 7.23. Uygunluk matrisi | 188 |
| 7.24. Alternatif sahaların ANP ve ELECTRE III sonuçlarının karşılaştırılması | 188 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|-----------------|--|
| AAKY | :Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği |
| AB | :Avrupa Birliği |
| AD | : Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (Abiotic Depletion) |
| ADF | :Abiyotik Tükenme Faktörü (Abiotic Depletion Factor) |
| AHP | :Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchical Process) |
| ANP | :Analitik Serim Süreci (Analytic Network Process) |
| BOCR | :Fayda-Fırsat-Maliyet-Risk (Benefit Opportunities Cost Risk) |
| Bq | :Bequerel (radyoaktivite birimi) |
| Btu | :İngiliz ısı birimi (British thermal unit) |
| Ca | :Kalsiyum |
| CARP | :Kapasiteli Ayrıt Rotalama Problemi (Capacitated Arc Routing Problem) |
| CBS | :Coğrafi Bilgi Sistemleri |
| CCPP | :Kapasiteli Çinli Postacı Problemi (Capacitated Chinese Postman Problem) |
| Cd | :Kadmiyum |
| CFC | :Kloro florokarbon gazları (Chloro Fluoro Carbon) |
| CH ₄ | :Metan |
| C/N | :Karbon / Azot |
| CO ₂ | :Karbondiyoksit |
| Cr | :Krom |
| Cu | :Bakır |
| ÇEVKO | :Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı |
| DALY | :Disability Adjusted Life Years |
| DQI | :Veri Kalite İndikatörleri (Data Quality Indicators) |
| DSİ | :Devlet Su İşleri |
| DW | :Bağıl yetersizlik ağırlığı (Disability Weight) |
| EEA | :Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency) |
| ELECTRE | :Elimination Et Choix Traduisant la Réalité |
| EPA | :Amerika Çevre Koruma Ajansı (USA Environmental Protection Agency) |

| | |
|--------|--|
| GPS | :Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System) |
| GSMH | :Gayri Safi Milli Hasıla |
| GVNT | :Yönlendirilmiş Değişken Komşuluk Eşiklemesi (Guided Variable Neighborhood Thresholding) |
| GWP100 | :100 yıllık zaman dilimi için Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential for time horizon 100 years) |
| HDPE | : Yüksek Yoğunluklu Poli Etilen (High Density Poly Ethylene) |
| HKS | :Hareketli Konteyner Sistemi |
| HTP | :İnsanın Toksikite Potansiyeli (Human Toxicity Potentials) |
| IPCC | :Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change) |
| ISO | :Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (International Organization for Standardization) |
| İTİA | :İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi |
| K | :Potasyum |
| KDS | :Karar Destek Sistemi |
| KHK | :Kanun Hükmünde Kararname |
| KV | :Karar Verici |
| L | :yetersizlik süresi (disability length) |
| LCA | :Yaşam Döngüsü Analizi |
| LCA | :Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment) |
| MCDM | :Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri (Multi Criteria Decision Making) |
| Mg | :Magnezyum |
| MJ | :Mega Joule (enerji birimi) |
| MRF | :Malzeme İşleme Tesisi (Material Recovery Facility) |
| MSS | :Çok Bantlı Tarama Sistemi (Multispectral Scanning System) |
| MSW | :Kentsel Katı Atık (Municipal Solid Waste) |
| NAIADE | :Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments |
| NIMBY | : Benim arka bahçemde değil (Not In My Back Yard) |
| Ni | :Nikel |

| | |
|-----------------|--|
| NOEC | :Olumsuz etkinin görülmediği derişim (No-Observed Effectuated Concentration) |
| NO _x | :Azotoksitler |
| NO ₂ | :Azotdioksit |
| ORWARE | :Organik Atık Araştırma Modeli (Organic Waste Research Model) |
| P2 | :Kirlilik Önleme (Pollution Prevention) |
| PAF | :Potansiyel olarak etkilenmiş kısım (Potentially Affected Fraction) |
| PAH | :Poli Aromatik Hidrokarbon |
| Pb | :Kurşun |
| PCB | :Poliklorlu Bifeniller |
| PDF | :Potansiyel olarak kaybolan kısım (Potentially Disappeared Fraction) |
| PO | : Fotokimyasal Oksidasyon (Photochemical Oxidation) |
| POO | :Görülme Yüzdesi (Probability of Occurance) |
| PVC | :Poli Vinil Klorür |
| RBV | :Kamera sistemi (Return Beam Vidicon) |
| RDF | :Atıktan türetilmiş yakıt (Refuse Derived Fuel) |
| RGB | :Kırmızı Yeşil Mavi (Red Green Blue) |
| SAM | :Sayısal Arazi Modeli |
| SETAC | :Çevresel Toksikoloji ve Kimya Birliğı (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) |
| SKS | :Sabit Konteyner Sistemi |
| SO ₂ | :Kükürt dioksit |
| TASAR | : Ayırma Süreçleri ve Geri Kazanım Analizi için Bir Araç Modeli (Tool for Analysing Separation Actions and Recovery) |
| TCDD | :Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları |
| TCLP | :Katı atıkların su ile çalkalanarak özütlenmesi (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) |
| TEDAŞ | :Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi |
| TEİAŞ | :Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi |
| TM | :Tematik haritalayıcı (Thematic Mapper) |
| TS | :Türk Standartları |

| | |
|-------|---|
| TSP | :Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem) |
| TUSAŞ | :Uçak Motor Fabrikası |
| TÜİK | :Türkiye İstatistik Kurumu |
| UA | :Uzaktan Algılama |
| UTM | :Universal Transverse Mercator |
| WHO | :Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization) |
| VOCs | :Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Carbons) |
| YASS | : Yeraltı Su Seviyesi |
| YLD | :yetersizlik yılları (years of disability) |
| YOLL | : kaybedilen yaşam yılları (years of life lost) |
| Zn | : Çinko |

1. GİRİŞ

Son yıllarda artan nüfus ve yaşam kalitesinin iyileşmesi, üretilen katı atık miktarının artmasına ve katı atıkların fiziksel içeriğinin değişmesine neden olmuştur. Oysaki, kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak için katı atık oluşumu azaltılmalı, etkin bir katı atık yönetimi amaçlanmalıdır. Bu husus, yeniden kullanım, geri dönüşüm, kompostlama, yakma ve düzenli depolama süreçleri ile bütünleştirilmelidir (Banar ve ark. 2007).

Türkiye’de katı atık yönetimi konusu, vahşi depolama sahalarının yarattığı kirlilikle gündeme gelmiştir. Önce vahşi depolama sahalarının iyileştirilmesi ve yeni düzenli depolama sahalarının açılması söz konusu olmuş, daha sonra kompostlama ve geri kazanım/geri dönüşüm konuları tartışılmaya başlanmıştır. Ülkemizde Çevre ve Orman Bakanlığı verilerine göre, 2007 yılı itibariyle 3225 belediyenin 29’unda düzenli depolama tesisi bulunurken, 28 tesis inşaat halinde ve 26 tesis de proje aşamasındadır (Özkan ve ark. 2005b; http-1).

Türkiye’de kişi başına günde 0,6 kg. evsel nitelikli katı atık ve ortalama 1 kg. kentsel katı atığın ortaya çıktığı kabul edilmektedir. 2000 yılı kesin nüfus sayımı sonuçlarına göre, ülkemiz nüfusu 67,8 milyon kişidir ve günde ortalama 68.000 ton, yılda 28,4 milyon ton civarında kentsel katı atık üretilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’nin 1992 yılında yaptığı çalışma sonucunda tespit edilen evsel nitelikli atık bileşimi, söz konusu atıkların % 65 organik, % 23 kül-cüruf ve % 12 geri kazanılabilir nitelikli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar periyodik olarak tekrarlanmadığı için evsel nitelikli geri kazanılabilir katı atık miktarı ve bileşimi hakkında güncel rakamlar verilememektedir. Ancak, TÜİK verileri ile yerel yönetimlerin yapmakta olduğu katı atık analizleri değerlendirilerek hareket edildiğinde, geri kazanılabilir atık miktarının 3 milyon ton/yıl seviyesinin üzerine çıktığı söylenebilir. Yılda yaklaşık 800 bin ile 1 milyon ton atığın geri kazanıldığı Türkiye’de, bu atıkların büyük bir kısmı atık depolama sahalarından ve sokaklardan, ilkel ve sağlıksız koşullarda toplanmaktadır. Ancak, bu şekilde toplanan atıkların bir kısmı yaş atıkla karıştığı için değerlendirilememektedir. Daha sağlıklı ve verimli bir geri kazanım sistemi oluşturmanın temel koşulu, geri kazanılabilir atıkların kaynağında, yani konutlarda, işyerlerinde, okullarda, otel ve tatil köylerinde yaş atıklardan ayrı

toplanmasıdır. Böylece daha temiz ve fazla miktarda geri kazanılabilir atık ekonomik bir şekilde değerlendirilebilir (Banar ve Özkan, 2005).

AB müktesebatı kapsamında, Türkiye’de atık yönetimi konusundaki mevzuat çalışmaları da hızla devam etmektedir. Kentsel katı atıklarla ilgili ilk olarak 1991’de yayımlanan ve daha sonraki yıllarda revizyona uğrayan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete) mevcuttur. Bunun yanı sıra ilk kez 30.07.2004 tarihinde yayımlanan ve daha sonra yapılan değişikliklerle 24 Haziran 2007’de tekrar yayımlanan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği ile geri kazanılabilir atıkların değerlendirilmesi ile ilgili belediyelere sorumluluklar verilmiş ve Türkiye’de bu konuyla ilgili önemli adımlar atılmıştır.

Bu belirgin mevzuatın yanı sıra, genel kapsam içinde atık yönetimi açısından idari konuları ele alan, AB müktesebatına yönelik konularla ilgili olarak da aşağıdaki yasal düzenlemeler mevcuttur:

- 1580 sayılı Belediye Kanunu (14.4.1930 tarih ve 1471 sayılı Resmi Gazete),
09.07.2007 tarih ve 5215 Sayılı Kanun ile değişiklik yapılmıştır.
- 1593 sayılı Umumi Hıfzısıhha Kanunu (6.5.1930 tarih ve 1489 sayılı Resmi Gazete),
- 2872 sayılı Çevre Kanunu (11.8.1983 tarih ve 18132 sayılı Resmi Gazete),
26.04.2006 tarih ve 5491 Sayılı Kanun ile değişiklik yapılmıştır.
- 3030 sayılı Büyükşehir Belediyeleri Kanunu (9.7.1984 tarih ve 18453 sayılı Resmi Gazete),
10.07.2004 tarih ve 5216 Sayılı Kanun ile değişiklik yapılmıştır.
3194 sayılı İmar Kanunu (9.5.1985 tarih ve 18749 sayılı Resmi Gazete) gibi ([http-2](#)).

Esasen, ortaya çıkışlarından, nihai bertarafına kadar son derece titiz ve dikkatli bir şekilde takip edilmeleri gereken katı atıklar, bir yönetim sistemi yaklaşımı ile ele alınmalıdır. O nedenle, özellikle kentlerde benimsenecek katı atık yönetim sisteminin seçimi, önemli bir karar problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Katı atık yönetimi için önerilen sistemlerde, farklı arıtım ve bertaraf yöntemlerinden sadece bir veya iki tanesi tercih edilebileceği gibi, hepsinin dâhil

edildiği karmaşık ve pahalı sistemler de kurulabilir. Bu bağlamda, katı atık yönetim sisteminin seçiminde, ekonomik, sosyal, kültürel ve teknik faktörler bir arada düşünülmeli yani entegre bir yaklaşım sergilenmelidir.

1.1. Amaç

Diğer kentlere ve ülkemize model oluşturabilecek bir entegre kentsel katı atık yönetim sisteminin oluşturulması amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, öncelikle Eskişehir ilindeki mevcut atık bileşiminin belirlenmesi ve toplama-taşıma sisteminin optimizasyonu yapılmış, daha sonra entegre atık yönetim sisteminin özü gereği geri kazanım, kompostlama, yakma ve düzenli depolama seçenekleri farklı senaryolar şeklinde ele alınarak en uygun Katı Atık Yönetim Sistemi Modeli oluşturulmuştur. Bu sistematik yaklaşımda kullanılan en önemli araçlar Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri (MCDM), Uzaktan Algılama (UA), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)'dir. Farklı araçların birlikte kullanıldığı bu tez çalışmasının, Avrupa Birliği atık yönetim direktifleri çerçevesinde ülkemiz için son derece yararlı sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında;

- Eskişehir kentsel katı atıklarının bileşimini belirleyebilmek amacıyla, 13 Ekim 2005 tarihinden başlayarak 1 yıl süresince atık karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu süre içerisinde 64 bölgeden her hafta alınan katı atık örneklerinde nem, pH, ısı değer, ağır metal ve besi elementleri analizleri yapılmıştır.
- Eskişehir kentsel katı atıklarının entegre bir şekilde yönetimi için oluşturulan 5 farklı senaryo ise, yaşam döngüsü analizi ve ELECTRE III yöntemleri ile ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.
- Entegre katı atık yönetim sisteminin geliştirilmesinde yerel yönetimlerin karar vermesine yardımcı olmak amacıyla Lingo 9.0 yazılımıyla bir karar destek sisteminin yapısı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen atık karakterizasyonu sonuçlarına göre, Eskişehir'de en uygun geri kazanım sisteminin oluşturulması amacıyla, 5 farklı geri kazanım sistemi senaryosu oluşturulmuş ve bu senaryolar Analitik Serim Süreci

(ANP) ve ELECTRE III gibi çok ölçütlü karar verme teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

- Belirlenen en uygun geri kazanım sistemi senaryosuna göre, kentsel katı atık toplama ve taşıma rotaları ise, CBS ve Lingo 9.0 yazılımı yardımıyla belirlenmiştir.
- Son olarak, belirlenen en uygun entegre katı atık yönetim sistemine göre, Eskişehir kentsel katı atıklarının depolanabileceği bir düzenli depolama sahasının yer seçimi CBS, UA ve MCDM teknikleri yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

2. KENTSEL KATI ATIK YÖNETİMİ

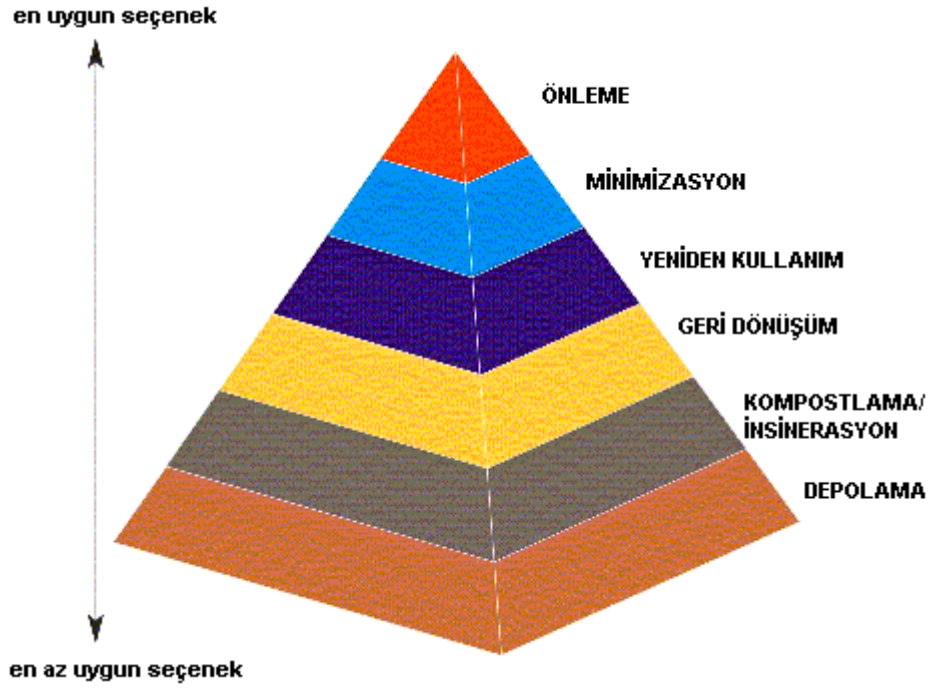
Tüm dünyada sürdürülebilir gelişim için stratejilerin belirlenmesi ve geliştirilmesinin vurgulandığı 1992'deki Birleşmiş Milletler Çevre ve Gelişim Konferansı'nda (Gündem 21), atık azaltılması ve atıkların maksimum geri dönüşüm/geri kazanımına odaklanılmış ve güvenli atık bertarafı üzerinde durulmuştur (Leao ve ark. 2001). Bunu takiben, kentsel katı atık yönetim sistemleri, depolama temelli yaklaşımdan, kaynakta azaltma ve geri kazanım temelli bir yaklaşımla ele alınmaya başlanmıştır. Özellikle toprağı kısıtlı olan, Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkeler, ulusal geri kazanım ve geri dönüşüm hedeflerini yükseltmiş ve AB Düzenli Depolama Direktifi'ne göre, depolama sahasına gönderilecek, biyolojik olarak bozunabilen atıklarını en aza indirmeye çalışmaktadırlar (Burnley ve ark. 2006).

Bu noktada, atık oluşumundan nihai bertarafa kadar bütün aşamaları içine alan entegre bir katı atık yönetiminin unsurları ile bunların birbirleri ile ilişkilerinin çok iyi bilinmesi gerekliliğı doğmaktadır. Etkili bir katı atık yönetimi:

- Önleme,
- Toplama, taşıma ve aktarma,
- Geri kazanım/geri dönüşüm,
- Arıtım,
 - Kompostlama
 - Yakma
- Bertaraf
 - Depolama

olmak üzere başlıca 5 unsurdan oluşur.

Entegre atık yönetim sisteminin parçalarını oluşturan arıtım/bertaraf sistemlerinin hiyerarşik yapısı Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu bölümde, söz konusu sistemlerin hepsi ayrı ayrı ele alınmıştır.



Şekil 2.1. Katı atık yönetim sistemi hiyerarşisi (Banar, 2006)

2.1. Önleme

Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından 1980’lerde düzenlenen kongrelerde, üretim ve atıkların sadece çıkışta (end of pipe) arıtımı sonucu tüketilen doğal kaynakların, gelecek nesillerin ihtiyacını karşılayamayacağı görüşülmüş ve zararlı maddelerin kullanılmasını, ya da doğal kaynakların tüketilmesini en aza indirmeyi ve atık üretiminin kaynağında azaltılmasını ele alan yeni bir kavram geliştirilmiştir. Bu kavram, atık azaltımı, kaynakta azaltma, yeşil mühendislik, sürdürülebilir mühendislik gibi adlarla anılmış, fakat en çok kullanılanı EPA tarafından bulunan kirlilik önleme “**pollution prevention**” (P2) terimi olmuştur (Bishop 2000).

Kirlilik önleme, atık yönetimine yeni anlayışlar getirmektedir. Atığın oluşmasını bekleyip, zararsız hale getirmeye çalışmak yerine, kirlilik önleme anlayışı; bir ürünün oluşmasını sağlayan ham maddelerinden, kullanıldıktan sonra bertarafına ya da geri dönüşümüne kadar ömrünün belirlenmesini ve böylece çevreye en az zararlı hale getirmeyi benimsemektedir. Bu da, daha az toksik ya da çevreye daha az zarar verici madde kullanılması, daha etkin üretim süreçleri ya da daha az enerji ile çalışan süreçler bulunması, kullanıldıktan sonra geri dönüşümü daha kolay olan ürünler tasarlanması ve yakma tesislerine ya da depolama

tesislerine gidecek atık miktarını azaltıcı yeni ambalajlar tasarlanması anlamına gelmektedir.

Kirlilik önlemenin hem ekonomik hem de çevresel avantajları vardır (Tchobanoglous ve ark. 1993):

Ekonomik: Bir katı atık yönetim sisteminin toplam maliyeti, malzemelerin toplanması, işlenmesi ve bertarafından oluşur. Kaynakta azaltma, katı atık yönetim sisteminin maliyetlerini çeşitli şekillerde azaltabilir; öncelikle, atık miktarını azaltarak, yatırım maliyetleri ve toplama maliyetleri gibi hususlarda etkin bir tasarruf sağlar.

Yeni teknolojiler, özellikle kağıtsız haberleşmeyi teşvik etmekte ve elektronik posta ve elektronik gazeteler yoluyla daha az atık üreterek iletişim sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra endüstri, ürünlerinin ambalajlanmasında artık daha az ambalaj malzemesi kullanma veya geri dönüştürülmüş malzemeden üretilen ambalajları piyasaya verme eğilimindedir. Bu anlamda yapılan Ar-Ge çalışmalarının temelinde daha az ambalaj malzemesi kullanarak, daha etkin sonuçların alınması yatmaktadır. Bir endüstriden çıkan atıkların diğer bir endüstride kullanılması da önemli bir kaynakta azaltma yöntemidir.

Çevresel: Atıkların azaltılmasının en önemli çevresel yararı, kaynakların daha az kullanılması, daha az enerji harcanması ve daha az kirlilik yaratılmasıdır. Çünkü, NO_x, CO₂ ve CH₄ gibi sera etkisine neden olan gazlar, özellikle hammaddelerin sağlanması için kullanılan enerji türlerinden kaynaklanır. Bu nedenle kentsel katı atıklar ile ilgili faaliyetlerin küresel ısınmadaki payları büyüktür.

İçecek kapları için uygulanan depozito ve kota sistemleri gibi uygulamalar, bu malzemelerin geri dönüşüm oranlarında % 80'in üzerinde bir artışa neden olabilir. Ancak, atık yönetimiyle ilgili kararların bazı çevresel etkileri her zaman çok net değildir. Örneğin; tek kullanımlık olanlar yerine yıkanabilir tabak, bardak, mutfak gereçleri ve havlu gibi ürünlerin kullanımı su tüketimini artırabilir. Bu da, arıtılan atıksudaki organik madde ve askıda katı madde miktarını artırır. Yine aynı şekilde, eski bir malzemenin onarımı ve yeniden kullanımı, etkinliğinin azalmasına veya daha fazla enerji harcanmasına neden olabilir.

Toplam atık üretiminin büyük bir kısmını oluşturan kentsel atıklarla ilgili olarak Çizelge 2.1’de, ortalama bir evde üretilen atığın % 30 oranında nasıl azaltılabileceği görülmektedir.

Çizelge 2.1. Kentsel katı atıklarda kirlilik önleme yöntemleri (Tchobanoglous ve ark. 1993).

| Bileşen | Tipik (%) | Atık kaynağı (kaynakta azaltma aktivitesi) | Azalma (%) |
|---------------------|--------------|---|-------------|
| Organikler | | | |
| Yiyecek atıkları | 9,0 | Yiyecek hazırlama ve dökme (kompostlama) | 50 |
| Kağıt | 34,0 | Gazete (elektronik kopyalar) Tek taraflı kopyalar (çift taraflı kopya) Haberleşme (e-mail) Alışveriş torbaları (yeniden kullanılabilir torbalar) | 20 |
| Karton | 6,0 | Ambalajlama (aşırı ambalajlanmış ürünlere para ödemekten kaçınma) | 10 |
| Plastikler | 7,0 | Aşırı ambalajlama (para ödemekten kaçınma; üretici sorumluluğu) | 25 |
| Tekstiller | 2,0 | İstenmeyen giysiler (başkalarına verme) | - |
| Kauçuk | 0,5 | | - |
| Deri | 0,5 | | - |
| Bahçe atıkları | 18,5 | Çim ve bahçe işleri (yerinde kompostlama) | 90 |
| Odun | 2,0 | | - |
| İnorganikler | | | |
| Cam | 8,0 | Şişeler (yeniden kullanma) | 10 |
| Teneke kutular | 6,0 | Gıda kutuları (ödemeden kaçınma) | 10 |
| Alüminyum | 0,5 | İçecek kutuları (ödemeden kaçınma) | - |
| Diğer metal | 3,0 | | - |
| Toz, kül vb. | 3,0 | | - |
| Toplam | 100,0 | | 31,7 |

2.2. Toplama ve Taşıma / Aktarma

Katı atıkların düzenli ve ekonomik bir şekilde toplanması gerekir. Belediyelerin en sık kullandığı yöntemlerden biri olan sistemsiz toplamada, atık için kullanılan kaplar, herhangi bir standarda tabi değildir. Bu durumda konut sakinleri, çöplerini kendi temin ettikleri poşet, teneke vb. kaplara doldurup belirli bir yere veya yol kenarına bırakırlar. Bu sistemler, belediyeler için düşük maliyet ve organizasyon kolaylığından dolayı avantajlı görülebilir. Özellikle yerleşimin yoğun olduğu ve sokakların dar olduğu bölgelerde bu toplama yöntemi kolaylık sağlar. Ancak, atıkların açıkta kalması, poşetlerin yırtılması, bazı atıkların doğrudan açık olarak sokağa atılmasından dolayı, ciddi hijyenik problemler meydana gelebilir (Çevre ve Orman Bakanlığı 2000).

Hareketli konteyner sisteminde (HKS) ise atıkların toplanması için kullanılan konteynerler Malzeme İşleme Tesisi (MRF)'ne, aktarma istasyonuna ya da bertaraf alanına götürülür, boşaltılır ve tekrar ya ilk alındığı bölgeye ya da bir diğer bölgeye geri götürülür. Bu sistemler, idealde atık miktarı fazla olduğu zaman kullanılır, çünkü bunlarda daha büyük kapasiteli konteynerler kullanılır. Büyük konteynerlerin kullanımı, toplama zamanını kısaltır, hoş olmayan birikmeleri ve hijyenik olmayan koşulları önler. HKS'nin bir diğer avantajı esnekliğidir. Tüm atık tiplerinin toplanabilmesi için gereken konteynerler farklı boyut ve şekillerde olabilir. Bu sistemlerde sadece bir kamyon ve sürücü yeterli olmakla birlikte, emniyet açısından bir yardımcı bulunması tercih edilir (Tchobanoglous ve ark. 1993; Banar 2006).

Sabit konteyner sisteminde (SKS), konteynerler, atığın üretildiği yerde kalır, sadece kaldırım kenarına boşaltmak için götürülüp, yerine konur. Bu sistemler, tüm atık tiplerinin toplanmasında kullanılabilirler. Sistem, toplanacak atığın tipine, miktarına ve toplama noktalarına bağlı olarak değişir. Ekonomik olması açısından günümüzde sıkıştırılmalı araçlar kullanılmaktadır. Bu sistemlerde personel gereksinimi, toplama aracının mekanik veya elle yüklemeli olmasına göre değişir. Mekanik yüklemeli sistemlerde işçilik gereksinimi HKS ile aynıdır (Tchobanoglous ve ark. 1993; Banar 2006).

Bu toplama yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.2'de karşılaştırılmıştır.

Kentsel katı atık yönetim sistemlerinde toplam maliyetin en büyük kısmı katı atık toplama ve taşıma hizmetlerinden kaynaklanır. Bu nedenle, atık toplama rotaları oluşturulurken en kısa mesafeler belirlenmeli ve dolayısıyla atık toplama için harcanacak sürenin ve maliyetlerin de en aza indirilmesi sağlanmalıdır. Rota oluşturma işleminde dikkat edilmesi gereken esaslar şunlardır (Tchobanoglous ve ark. 1993):

- Toplama noktası ve sıklığı ile ilgili yasal durum incelenmelidir.
- Personel sayısı ve araç tipi gibi mevcut sistem şartları saptanmalıdır.
- Rotanın başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmelidir.

Çizelge 2.2. Toplama yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları (Çevre ve Orman Bakanlığı 2000).

| Toplama yöntemi | Avantaj | Dezavantaj |
|-----------------------------|--|---|
| Sistemsiz toplama | <ul style="list-style-type: none">• Düşük maliyet.• Belediye için organizasyon, konteyner temini vb. yükümlülükler yok.• Daha az yer ihtiyacı.• Özel donanım (sıkıştırılmalı ya da vinçli kamyon) gerektirmez. | <ul style="list-style-type: none">• Hijyenik açıdan sakıncalı.• Temizlik görevlileri için kötü çalışma koşulları (toz, koku, ağır kutuların kaldırılması).• Yığma yerinin yakınında oturanlara ciddi boyutta rahatsızlık.• Yolların kirlenmesi.• Haşere toplanması.• Sürekli görsel kirlilik.• Atıkların yayılması, sızıntı, haşere ve görsel kirlilikten dolayı atıkları günlük ya da günaşırı toplamak gerekir. |
| Sabit konteyner sistemi | <ul style="list-style-type: none">• Düşük işletme giderleri.• Temizlik görevlileri için iyi çalışma koşulları (mekanik yükleme, düşük toz ve koku seviyesi, açıkta atık yok).• Sızıntı problemi yok.• Kolay kullanım.• Esneklik.• Sıkıştırılmalı kamyon teknolojisiyle uyum sağlar. | <ul style="list-style-type: none">• Yüksek yatırım giderleri.• Yüksek alan ihtiyacı (kutular için ev dahilinde, konteynerler için ise genel alanlarda).• Konteyner kullanıldığında, sokak görünümüne olumsuz kalıcı bir etki olur.• Konteynerleri temizlemek gerekir.• Atıklar kış aylarında donup kutu cidarlarına yapışabilir. |
| Hareketli konteyner sistemi | <ul style="list-style-type: none">• Düşük işletme giderleri.• Temizlik görevlileri için iyi çalışma koşulları (mekanik yükleme, düşük toz ve koku seviyesi, açıkta atık yok).• Sızıntı problemi yok.• Kolay kullanım.• Esneklik. | <ul style="list-style-type: none">• Yüksek yatırım giderleri (konteyner ve vinçli kamyonlar).• Yüksek alan ihtiyacı.• Konteynerleri temizlemek gerekir.• Atıklar kış aylarında donup kutu cidarlarına yapışabilir. |

- Engebeli arazilerde rotanın başlangıç noktası tepede olmalıdır.
- En son boşaltılacak konteyner, bertaraf tesisine en yakın olan olmalıdır.
- Trafiğin yoğun olduğu bölgelerdeki katı atıklar günün erken saatlerinde/gece toplanmalıdır.
- Katı atık üretiminin az olduğu dağınık alma noktalarında toplama bir seferde veya aynı günde yapılmalıdır.

2.3. Geri Kazanım/Geri Dönüşüm

Türkiye’de ambalaj atıklarının geri kazanımı ile ilgili olarak 24 Haziran 2007’de en son şeklini alan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği’ne göre; ambalaj, her türlü ürünün, tüketiciye veya kullanıcıya ulaştırılması aşamasında, taşınması, korunması, saklanması ve satışa sunumu için kullanılan herhangi bir malzemeden yapılmış ürünler olarak tanımlanmaktadır. Ambalajlar, üretimlerinde kullanılan malzeme çeşitlerine göre: kağıt-karton, plastik, metal, ahşap, cam, tekstil ve kompozit (karışık/katlı) ambalaj şeklinde sınıflandırılabilirken, kullanım amacına bağlı olarak Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği’ne göre; satış ambalajı, dış ambalaj, nakliye ambalajı ve kompozit olmak üzere de 4 ayrı gruba ayrılabilir (Çevre ve Orman Bakanlığı 2007).

Bu ambalajların kullanımından sonra oluşan atıkların geri kazanımı hem ekonomik hem de çevresel açıdan çok önemlidir. Plastik, cam, metal, kağıt, seramik, tekstil, kemik ve ahşap gibi malzemeler, depolama alanlarına gömülmek yerine ikincil hammadde olarak değerlendirildiği takdirde; hem endüstrinin hammadde ihtiyacı azaltılır, endüstriye ekonomik şekilde hammadde temin edilir, hem de hammadde üretimi için harcanan enerji, su vb. tüketimi azaltılır. Ayrıca, depolama sahalarına giden atık hacmi de önemli ölçüde azaltılmış ve depolama sahalarının ömrü uzatılmış olur.

Bu atıkları değerlendirebilmek için, atıkların mümkün olduğu kadar temiz olması gerekir. Bu açıdan en uygun yaklaşım, bunları üretildiği yerde (evlerden) ayrı toplamak, sonra bir ayırma tesisinde daha saf bileşenlere ayırmaktır. Ancak, bazı yerlerde bu yaklaşım sosyo-ekonomik koşullardan dolayı mümkün değildir. Bu durumda, atıklar karışık toplanır, sonra bir ayırma tesisinde diğer atıklardan

ayrıldıktan sonra daha saf bileşenlere ayrıştırılır. Uzun vadede yine amaç, atıkları kaynakta ayrı toplamak olmalıdır.

Türkiye’de ambalaj endüstrisinin veya belediyelerin çok büyük bir bölümünün henüz verimli bir kaynakta ayrı toplama altyapıları yoktur. Ancak, yenilenmiş haliyle AAKY hükümleri çerçevesinde ve yetkilendirilmiş kuruluş olan ÇEVKO’nun katkılarıyla belediyeler bazında yoğun bir çalışma programı başlamış 2006 yılında 272 bin ton ambalaj geri kazandırılmıştır ([http-3](#)).

2.4. Kompostlama

Kompostlama süreci genel olarak, katı atığın içindeki organik atıkların bozunması işlemidir. Bu süreç, katı atığın içinde bulunan yaprak, kağıt ve yiyecek atıkları gibi organik maddelerin, daha kararlı, toprak yapıcısı ve şartlandırıcısı olarak kullanılabilen bir hale dönüştürebilen biyolojik bir işlemdir (İpekoğlu 1990, Şahin 1999).

Kompost, bir toprak düzenleyicisi olup, gübre değildir. Gübre olarak tanımlanabilmesi için daha fazla miktarda azot, fosfor ve potasyum içermesi gerekir. Ayrıca kompostun içerdiği maddelerin çözünmesi, kimyasal gübrelerin aksine, ancak uzun bir süre içerisinde gerçekleşebilir ve alıcı ortama aktarımı zaman alır. Normal olarak kompost hammaddelerinden birisi olan bitki atıklarının bünyesinde bol miktarda azot bulunmaktadır. Ancak bu madde kompostlaşma süreci esnasında kaybolduğundan, kompost bünyesinde ancak organik-bağlı azot kalmaktadır ki, bu da kompostun içerdiği diğer maddeler gibi gecikmeli olarak toprağa verilebilmektedir (Banar 2006).

Kompostun en önemli faydası toprağın yapısını ve özelliğini iyileştirmesidir. Bunun yanısıra,

- Toprağın boşluk hacmini artırır,
- Toprağın havalanmasını kolaylaştırır,
- Zor işlenen toprakların kolay işlenmesini sağlar,
- Toprağın su tutma kabiliyetini artırır,
- Yüksek mineral gübrelemeye karşı tampon etkisi yapar,
- Besin maddelerinin daha iyi kullanılmasını sağlar (Tabasaran 1990).

Kompostlama işlemi için önemli tasarım değişkenleri; tanecik boyutu, C/N oranı, aşılama, nem içeriği, karıştırma, sıcaklık, hastalık yapan mikroorganizmaların kontrolü, hava gereksinimi, pH kontrolü, bozunmanın derecesi ve arazi gereksinimidir. Tasarım değişkenleri ve kısa açıklamaları Çizelge 2.3’de verilmiştir (Tchobanoglous ve ark. 1993).

Çizelge 2.3. Kompostlama süreci için önemli tasarım değişkenleri (Tchobanoglous ve ark. 1993).

| Değişken | Açıklama |
|---|---|
| Tanecik boyutu | Katı atığın boyutu optimum sonuçlar için 25 ve 75 mm arasında olmalıdır. |
| C/N oranı | C/N oranı (kütlece) 25-50 arasında olmalıdır. Çok düşük oranlarda amonyak açığa çıkar ve biyolojik aktivite yavaşlar. Çok yüksek oranlarda, azot sınırlayıcı besin olur. |
| Aşılama | Kompostlama zamanı, ağırlık olarak %1-5 oranındaki ayrılmış katı atıkla aşılama azalır. Kanalizasyon çamuru, hazırlanan katı atıklara eklenebilir. |
| Nem içeriği | Nem içeriği, kompost süreci boyunca %50-60 arasında olmalıdır. Optimum değer %55’tir. |
| Karıştırma | Kurumayı, topaklanmayı ve hava kanallanmasını önlemek için kompostun düzenli olarak ya da gerekli olduğunda karıştırılması ya da döndürülmesi gerekir. |
| Sıcaklık | İyi sonuçlar için sıcaklık, ilk birkaç gün için 50-55 °C arasında ve aktif kompost periyodunun kalan zamanı için 55-60 °C arasında olmalıdır. Eğer sıcaklık 66 °C’nin üstünde olursa biyolojik aktivite önemli ölçüde azalır. |
| Hastalık yapan mikroorganizmaların kontrolü | Eğer uygun yönetim sağlanırsa, kompostlama süreci boyunca söz konusu mikroorganizmalar, zararlı otlar ve tohumlar ölür. Bunu yapmak için sıcaklık 24 saat için 60-70 °C arasında tutulmalıdır. |
| Hava gereksinimi | Başlangıç oksijen derişiminin geri kalanının en az %50’sini içeren hava özellikle mekanik sistemlerde optimum sonuçlar için bütün kompost malzemesine ulaşmalıdır. |
| pH kontrolü | Optimum bozunmaya ulaşmak için pH 7-7,5 arasında olmalıdır. |
| Bozunmanın derecesi | Bozunmanın derecesi sıcaklıkta son düşüş hesabı, ısı kapasitesinin derecesi, bozunabilen maddelerin miktarı, kompostlanan malzemedeki organik maddelerin dayanıklılığı, indirgenme-yükseltgenme potansiyelinde artış, oksijen kavrayışı, <i>Chaetomium gracilis</i> mantarının büyümesi ve nişasta-tendürdiyot testi yardımıyla hesaplanabilir. |
| Arazi gereksinimi | 50 ton/gün’lük kapasiteye sahip bir tesis için gerekli arazi 0,6 ile 0,8 hektar arasındadır. Çok büyük tesisler için gerekli arazi ton/gün başına daha küçüktür. |

Ülkemizde İzmir (42.000 ton kompost/yıl), Kemer (12.000 ton kompost/yıl) ve İstanbul (12.000 ton kompost/yıl)'da kompost tesisleri bulunmaktadır. Bu tesislerden elde edilen kompost belediyelerin parklarında ya da depolama sahalarında günlük örtü tabakası olarak kullanılmakta, ancak ürünün halka satışında problemler yaşanmaktadır.

2.5. Yakma

Atık yönetim sistemi içerisinde önemli bir yer tutan yakma süreci, atıkları kararlı hale getiren ve hacimlerini %70-80 oranında azaltan bir yöntem olarak tanımlanabilir. Bu yöntem sonucunda çevreye zarar vermemek için hava kirlenmesine karşı özel tedbirler alınması yanısıra, meydana gelen küllerin uzaklaştırılmasında da içlerinde bulunması muhtemel toksik maddelerin olumsuz etkilerinin giderilmesi gereklidir (Banar ve ark. 2006a).

Burada dikkat gerektiren en önemli teknik nokta, yakma sisteminin temel tasarım değişkenleri olan yakma sıcaklığı, atığın bu sıcaklıkta kalış süresi ve atığın yakma havası veya oksijen ile çok iyi karıştırılmasının sağlanması; yakma sonucu oluşan ve tehlike arz eden gaz ve tanecik salınımlarının (dioksin, furan vb.) titizlikle izlenmesi ve altı dokuzlu seviyede (%99,9999) giderilmesinin sağlanmasıdır. Bu hassas ölçütün günümüz teknolojisiyle sağlanması mümkündür.

Yakma işleminde katı, sıvı veya gaz atıklar yüksek sıcaklıkta ve yeterli hava miktarı ile cüruf, CO₂ ve H₂O 'ya dönüşür. Bu sırada katı atıklardaki mevcut mikroorganizmalar öldüğünden, tam olarak hijyenik ürünler oluşur. Yakma ile depolama alanında bertaraf edilecek atıkların miktarı oldukça büyük bir oranda azaltıldığından, depolama ömrünün uzatılmasında etkili bir alternatiftir.

Atık yakma tesisleri, genellikle ağır metaller ve klorlu organik kimyasal maddeler gibi tehlikeli maddeleri de içeren karışık atıklarla beslenir. Yakma işleminin ardından, mevcut katı atıklarda bulunan ağır metaller, bacalardan, baca gazı veya küçük taneciklerle çevreye yayılır. PVC (Poli Vinil Klorür) ve benzeri klorlu maddelerin yakılması ise dioksin gibi yüksek oranda zehirli yeni klorlu kimyasal maddelerin oluşmasına neden olur. Bu zehirli yeni kimyasal maddeler de gaz, toz ve diğer artıklar olarak çevreye yayılır.

Baca gazlarında bulunan kimyasal maddeler çoğunlukla küllerde ve diğer artıklarda da görülür. Bu kimyasal maddeler arasında "Dioksinler", "Poliklorlu Bifeniller (PCBlar)", "Poliklorlu Naftalin", "Klorlu Benzen", "Poliaromatik Hidrokarbonlar (PAHlar)", çeşitli "Uçucu Organik Bileşikler (VOCs)" ve kurşun, kadmiyum, cıva gibi ağır metaller bulunur. Bu kimyasal maddelerin pek çoğu, doğada çözünemeyecek kadar dayanıklı, canlı organizmaların hücrelerinde toplanacak kadar biyolojik birikim yapabilir ve zehirlidir. İşte bu üç özellikten ötürü söz konusu kimyasallar, belki de doğal sistemlerin maruz kalabileceği en tehlikeli maddelerdir. Yayılan bu kimyasal maddelerin bir kısmının kanser yapıcı, bazılarının ise iç salgı bezleri sistemini bozucu olduğu bilinmektedir. Kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂) ve küçük parçacıklar gibi diğerlerinin de solunum yolu rahatsızlıklarına neden olduğu bilinmektedir.

Genel olarak, katı atık yakma tesisi yapmayı düşünen belediyeler, aşağıdaki önerileri göz önünde bulundurmalıdır (DHV Consultants 2006):

1. Katı atık yakma tesisi, entegre katı atık yönetim planının bir parçası olmalıdır. Bu konuda en ekonomik ve sürdürülebilir yaklaşım, kompostlaştırma ve geri dönüşüm için uygun olmayan atıkların yakılmasıdır. Yüksek nem içeriği, atıkların ısıl değerini önemli ölçüde düşürüp yakma tesisinin enerji verimini azaltır. Geri dönüştürülebilir atık, yakmadan daha ekonomik yöntemlerle ekonomiye geri kazandırılabilir.
2. Katı atık yakma tesisleri, enerji üretimi ve buhar ve/ veya elektrik satışını da hedefleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Belediyeler, imar planlarını yaparken, gelecekte inşa edilebilecek katı atık yakma tesislerinin yerlerini enerji satışını düşünerek seçmelidirler (meselâ, enerji ihtiyacı yüksek olan endüstriyel tesislere yakın, belediyenin inşa edeceği ve merkezî ısıtma sisteminin uygulanacağı toplu konutlara yakın vb.).
3. Enerji üretimi olmayan, hattâ yakıt ilâvesini gerektiren teknolojiler tercih edilmemelidir.
4. Kentsel atık yakma teknolojisi, özellikle yer sıkıntısı çeken ve çevresel kısıtlamalardan dolayı düzenli depolama için yer bulamayan Büyükşehir Belediyeleri tarafından tercih edilmelidir.

5. Katı atık yakma projesini gerçekleştirmeden önce, kapsamlı bir atık analizinin yapılması gerekir. Özellikle alt ısıl değer ve yakılması uygun atık bileşiminin belirlenmesi son derece önemlidir. Atıkların kendiliğinden yanmasını sağlayıp ilâve yakıtı ihtiyaç duymayan bir tesis için giren atığın alt ısıl değeri en az 7000 kJ/kg olmalıdır.

2.6. Düzenli Depolama

Katı atıkların depolanmasından kaynaklanan sızıntı sularının toprak katmanları arasından geçip yeraltı veya yüzeysel sulara karışmasının önleildiği, çıkan gazın toplanıp bertaraf edildiği, katı atıkların çevreye en az olumsuz etki yapacak şekilde serilip sıkıştırılıp her gün üstünün örtüldüğü, mühendislik temel ilkelerine göre planlanıp inşa edilen, bir plan program dahilinde işletilen sahalar düzenli depolama sahası olarak tanımlanır (Şahin 2002).

Katı atıkların çevreye zarar vermeden arazide depolanmasında istenen verimin sağlanabilmesi için aşağıdaki işlem sırasının doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekir:

- İhtiyaç duyulan depolama için gerekli alan ve hacmin hesaplanması,
- Düzenli depolamanın yapılacağı “yer”in seçimi,
- Depolama esnasında uygulanacak boşaltma ve örtme yöntemlerin seçimi,
- Oluşan gazların toplanması ve uzaklaştırılması,
- Oluşan sızıntı suyunun toplanması ve zararsız hale getirilmesi (bertarafı),
- Depolama sonucu elde edilebilecek enerji ve malzeme geri kazanma olanaklarının araştırılması,
- Depolama alanının dolumunu (kapanmasını) takiben bu alanının hangi amaç(lar) için kullanılacağıının belirlenmesi,
- Depolama alanı civarında mevcut yüzeysel ve yeraltı sularının işletme öncesi, işletme süresi ve işletme sonrası kalitesinin ölçümünü sağlayan gözlem ağının planlanması.

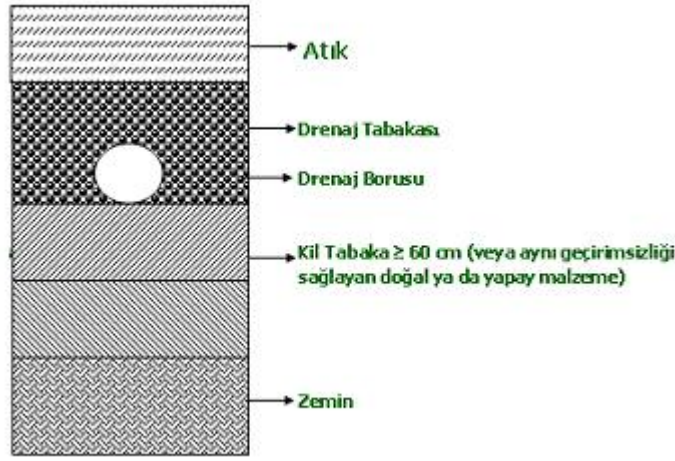
Katı atık depolama tesisinin tasarımında ilk adım, uygun saha seçimidir. Yer seçimi için titizlikle dikkate alınması gereken temel ölçütler aşağıda özetlenmiştir (Şahin 2002; Banar ve ark. 2007):

- Yerleşim alanlarına uzaklık,

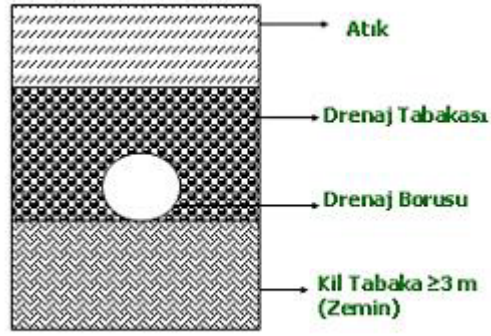
- İçme ve kullanma suyu su toplama alanlarının durumu,
- Çevredeki yeraltı suyu hareketleri,
- Jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik yapı,
- Tektonik yapı,
- Çevredeki trafik durumu,
- Taşıma mesafesi,
- Sahanın çevreden görünüşü,
- Sahanın depolama kapasitesi.

Düzenli depolama uygulanacak bölgedeki mevcut alan ve hacmi, en etkin şekilde kullanmak için katı atıkların depolama alanına yerleştirilmesi ile ilgili çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler; depolama alanındaki topoğrafya koşulları (eğim, tümsek veya çukurların mevcudiyeti), zemin özellikleri, civardaki malzeme (atığın üzerini örtmek için kullanılan toprak) ocaklarının kapasitesi, ocaklardaki malzemenin özelliği, ocakların depolama alanına olan mesafeleri, depolamada kullanılabilir donanımlar ve depo sahasının seçilen işletme özelliklerine göre farklılık gösterir. Burada temel prensip, ayrılan alanın etkin bir şekilde, uzun süre kullanımı için, atıkların bir işletme planı kapsamında düzenli bir şekilde yerleştirilip, sıkıştırılması ve üzerlerinin rtlmesidir (şahin 2002):

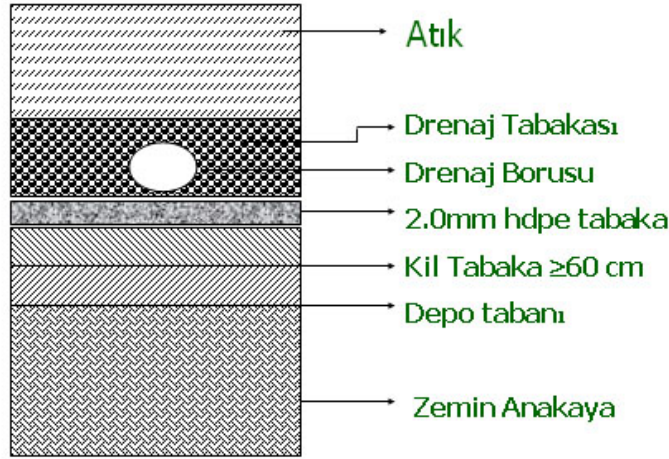
Düzenli depolama işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi de zemin geirimsizliğidir. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre seçilen yerin zemin geçirimsizliğine bağlı olarak üç tür zemin geçirimsizliği sistemi bulunmaktadır (şekil 2.2). Depolama sahası st geçirimsizlik sistemi ise şekil 2.3'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

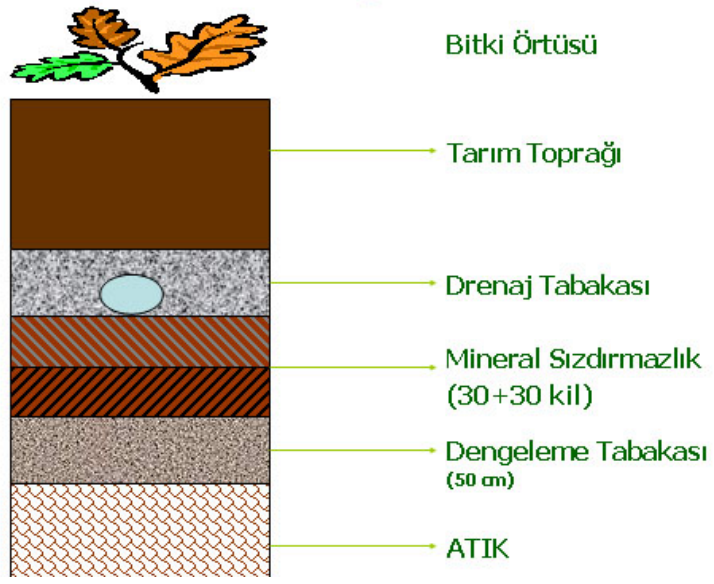


(c)

Şekil 2.2. a. Normal zeminler için kentsel katı atık depolama sahası tabanı sızdırmazlık sistemi

b. Doğal kil bulunması halinde kentsel katı atık depolama sahası tabanı sızdırmazlık sistemi

c. İçme ve kullanma suyu havzaları uzun mesafe için kentsel katı atık depolama sahası tabanı sızdırmazlık sistemi (Çevre ve Orman Bakanlığı 1991).



Şekil 2.3. Depolama sahası üst geçirimsizlik sistemi (Çevre ve Orman Bakanlığı 1991)

3. KENTSEL KATI ATIK YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMINDA KULLANILAN ARAÇLAR

Bu bölümde, Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi oluşturmak amacıyla kullanılan farklı teknikler (Çok Ölçütlü Karar Verme, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Yaşam Döngüsü Analizi) ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

3.1. Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri

Çok ölçütlü karar verme yönteminde amaç, farklı alternatifleri kıyaslayacak farklı boyutlardaki verilerin toplanmasıdır. Analizci, öncelikli olarak, hedefini gerçekleştirmeye yönelik ölçütleri belirler. Daha sonra alternatiflerin ölçütlere uygunluğu saptanır. Karar verme ve planlama kavramları, amaç, hedef ve stratejilerin, bir sistem anlayışı içerisinde bütünleşik bir şekilde algılanmasını gerektirmektedir. Hedefler, bu hedeflere ulaşılırken izlenecek yollar, bilgi kaynakları, bilgi-işlem teknikleri vb. koşullar değiştikçe her bir duruma uygun karar vermek amacıyla kullanılan çeşitli yöntem, analiz ve teknikler bulunmaktadır.

Daşdemir ve Güngör (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, söz konusu yöntemlerin dayandığı kuramsal temelleri görmek ve kullanım amaçlarını ortaya koymak amacıyla *tutarlılık, optimizasyon, indirgeme, sınıflama* ve *diğer yöntemler* şeklinde bir sınıflandırmaya gidilmiştir. Buna göre çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması Çizelge 3.1'deki gibi oluşturulmuştur.

Karar vermede birbirleriyle mantıksal bağıntıları bulunan, fakat birbirlerinden ayrı kabul edilen birtakım alt sistemlerin ele alınması ve planlanması durumunda, her bir alt sistem hedeflerinin, asıl sisteme ilişkin hedeflerle (makro hedefler) tutarlı olması, yani esnek olmayan hedeflerle aynı doğrultuda olması gerekir. Bu durumda tutarlılıktan söz edilebilir ve bu amaçla kullanılan yöntemlere de *Tutarlılık Amaçlı Yöntemler* denilir. Buna karşılık, tutarlılığın söz konusu olmadığı, onun yerine ulaşılabilir ve uygun hedeflerin söz konusu olduğu planlama yöntemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemlere de *Optimizasyon Amaçlı Yöntemler* denilir. *Veri İndirgeme Yöntemleri ise*, p sayıdaki değişken içeren veri setinin varyasyonunu açıklayan ve aralarında ilişki bulunmayan daha az sayıda değişkenlerle ($k < p$) veri yapısını açıklamayı

amaçlayan yöntemlerdir. Özellikleri bilinmeyen yapılar hakkında prototip kümeler (grup, sınıf) belirleme çalışmalarına yardımcı olmak ve daha önceden belirlenmiş gruplara yeni birimlerin atanmasını sağlamak amacıyla geliştirilen yöntemler ise, *Sınıflama Yöntemleri* olarak adlandırılır. Ayrıca, sayıca çok fazla olan ve kullanım amacı farklılık gösteren yöntemlerden en önemlileri de, *Diğer Yöntemler* adı altında Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan ELECTRE ve Analitik Serim Süreci (ANP) yöntemleri ele alınmıştır.

Çizelge 3.1. Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması (Daşdemir ve Güngör 2004)

| KULLANIM AMACINA GÖRE YÖNTEMLER | KARAR VERME TEKNİKLERİ (*) |
|------------------------------------|--|
| 1. TUTARLILIK AMAÇLI YÖNTEMLER | <ul style="list-style-type: none"> • ELECTRE Tekniği (2) • Şebeke Analizi (1, 2) • Delphi Tekniği (2, 1) • Analitik Hiyerarşi Süreci (2) • Tercih (Konjoint) Analizi (2) • Benzetim (1) • Girdi-Çıktı Analizi (1, 2) • Dinamik Programlama (2) • Doğrusal (Linear) Programlama (2) • Amaç (Goal) Programlama (2) • Tamsayı Programlama (2) • Ulaştırma (Transport) Modelleri (2) • Envanter Modelleri (2) • Markov Zincirleri (1) • Lagrange Çarpanları (2) • Fayda-Masraf Analizi (2) • Doğrusal Olmayan (Quadratic) Programlama (2) |
| 2. OPTİMİZASYON AMAÇLI YÖNTEMLER | |
| 3. VERİ İNDİRGEME AMAÇLI YÖNTEMLER | <ul style="list-style-type: none"> • Faktör Analizi (3, 4) • Uyum (Correspondence) Analizi (3) • Diskriminant (Ayrırma) Analizi (4) • Kümeleme (Cluster) Analizi (4) • Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi (3, 4) • Çok Boyutlu Varyans Analizi (5) • Çok Boyutlu Regresyon Analizi (5) • Kümelerarası (Kanonikal) Bağın Analizi (5) |
| 4. SINIFLAMA AMAÇLI YÖNTEMLER | |
| 5. DİĞER YÖNTEMLER | |
| | |

(*) Parantez içindeki rakamlar tekniklerin baskın olan kullanım amaçlarını göstermektedir.

3.1.1. ELECTRE yöntemi

Optimizasyon amaçlı matematiksel programlama tekniklerinden olan ELECTRE Tekniği, Elimination Et Choix Traduisant la Realité adı altında alanyazında ELECTRE I, II, III ve IV teknikleri olarak yer almaktadır. Bu teknikler birbirlerinden küçük farklılıklarla ayrılırlar. ELECTRE yöntemi 1960'lı yılların sonunda Roy tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra Nijkamp ve Van Delft ile Voogd tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde, alternatifler tercih sıralamasına göre birbirleriyle kıyaslanarak seçim yapılması temeline oturtulmuştur (Kaya 2005).

Söz konusu teknik sayesinde karar verici, çok sayıda nicel ve nitel ölçütü karar verme sürecine dahil edebilmekte, ölçütleri amaçları doğrultusunda ağırlıklandırabilmekte, ölçütlerin verimlilik ölçülerinin büyüklüklerini seçebilmekte ve ağırlıklarını toplayarak en uygun alternatifi belirleyebilmektedir. Genel olarak ELECTRE tekniğine göre karar verme sürecinde şu aşamalar söz konusu olmaktadır; a) alternatiflerin oluşturulması, b) ölçütlerin belirlenmesi, c) ölçütlerin önem derecelerinin saptanması, d) alternatiflerin ölçütlere göre değerlendirilmesi e) verimlilik ölçülerinin belirlenmesi, f) çözüm ve yorum. Bu tekniğin gereği olarak bir başlangıç tablosundan hareket edilir. Bu tabloda, sütunlar seçeneklere (alternatiflere), satırlar ise (ölçütlere) ayrılır. Diğer yandan her ölçüte, diğerlerine nazaran taşıdığı önemi belli edecek şekilde ağırlık verilir. İkinci aşamada, alternatiflerin karşılaştırmasına olanak veren uyumluluk ve uyumsuzluk matrisleri oluşturulur. Üçüncü aşamada; uyumluluk ve uyumsuzluk matrisleri için belirlenen eşik değerlerine göre bu iki tablo sonuç değerlendirme tablosunda birleştirilir ve en uygun alternatif belirlenir (Daşdemir ve Güngör 2004).

Karmaşık çok ölçütlü karar verme problemleri genellikle $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ şeklinde tanımlanan seçenekler kümesi veya ailesi ve (g_1, g_2, \dots, g_m) ile tanımlanan ölçütler kümesi veya ailesi ile formüle edilirler. Ölçütler A kümesinde tanımlanmış gerçek değerli fonksiyonlardır ve $g_j(a_i)$; a seçeneğinin ($a \in A$) g_j ölçütündeki performans değeridir. a seçeneğinin, $a \in A$, çok ölçütlü değerlendirmesi $g(a) = (g_1(a), g_2(a), \dots, g_m(a))$ vektörü ile gösterilir.

Öne geçme ilişkisinden başka, eşik kavramı da çok önemlidir. ELECTRE III açıkça kayıtsızlık (indifference), tercih (preference) ve veto (veto) olarak adlandırılan eşikleri göz önünde bulundurur. Bu eşikler; sayısal sabitler veya her bir ölçüt için karşılaştırılan seçeneklerin performans değerinin bir fonksiyonu olarak iki şekilde olabilirler. ‘q’, ‘p’ ve ‘v’ harfleri sırasıyla kayıtsızlık (indifference), tercih (preference) ve veto (veto) eşiklerini tanımlar ve $q(g(a))$, $p(g(a))$, $v(g(a))$ olarak gösterilir. Problem, belirlenen ölçütler ve seçeneklere göre formüle edildikten sonra her bir ölçütün ağırlıklarına ve eşik değerlerine ihtiyaç vardır ve bunları KV belirlemelidir. Eşik değerleri aşağıdaki formül yardımıyla oluşturulmalıdır (Tam ve ark. 2003):

$$p_j(g_j(a)) = \alpha_p g_j(a) + \beta_p \quad \text{ve} \quad q_j(g_j(a)) = \alpha_q g_j(a) + \beta_q \quad (3.1)$$

α_j ; KV'nin tolere etmek istediği seçeneğin 0 ile 1 arası değer alabildiği performans yüzdesi, β_j ise performans değeri ile aynı birimde ifade edilen katsayıdır. Bu değerler elde edildikten sonra her bir (a,b) seçenek çifti için değerleri 0 ile 1 arasında değişen $c_j(a,b)$ uygunluk indisi ve bu uygunluk indisinin, ölçütlerin ağırlıkları (w_j) ile çarpımları toplamının, toplam ağırlığa bölünmesiyle oluşan uygunluk matrisi hesaplanır. Eğer bu uygunluk indisi 1'e eşitse a seçeneğinin b seçeneğinden daha iyi olduğu; 0'a eşitse, a'nın b seçeneğinden kötü olduğu anlaşılır.

ELECTRE III sürecinde öncelikle, uygunluk ($C(a,b)$) ve ardından uygunsuzluk ($D(a,b)$) değerlerinin hesaplanması gerekir. İzleyen adımda veto değerlerine bağlı olarak öne geçme veya güvenilirlik derecesi olarak adlandırılan $S(a,b)$ değerleri hesaplanır. Son adımda distilasyon süreci ile seçenekler sıralandırılır. Yöntemin ayrıntıları için, Tam ve ark. (2003), Hokkanen ve ark. (1997), Rogers ve ark. (2000) çalışmaları incelenebilir.

$$C(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j c_j(a,b) \quad \text{ve} \quad W = \sum_{j=1}^n w_j \quad (3.2)$$

Her bir ölçüt için hesaplanan $c_j(a,b)$ karşılaştırma indisi aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } g_j(a) + q_j \geq g_j(b) \\ 0, & \text{eğer } g_j(a) + p_j \leq g_j(b), j=1,2,\dots,r \\ \frac{p_j + g_j(a) - g_j(b)}{p_j - q_j}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.3)$$

Her bir ölçüt için hesaplanan uygunsuzluk ($D(a,b)$) indisi ise aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$d_j(a,b) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } g_j(a) + p_j \geq g_j(b) \\ 0, & \text{eğer } g_j(a) + v_j \leq g_j(b), j=1,2,\dots,r \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j}{v_j - p_j}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.4)$$

3.1.2. Analitik Serim Süreci (ANP) yöntemi

Karar verici mekanizmalara yardımcı olmak amacıyla geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process) (AHP) ve Analitik Serim Süreci (Analytic Network Process) (ANP) teknikleri, kararı etkilediği halde çözüm sürecinde doğrudan ele alınamayan faktörlerin nasıl ele alınabilecekleri konusunda yol gösteren çok ölçütlü karar verme teknikleridir.

AHP, çok ölçütlü problemlerde ikili karşılaştırmalar ile karar seçeneklerinin göreceli önceliklendirilmesini sağlayan bir yöntemdir. ANP ise, AHP'nin çok genel bir şeklidir ve bileşenler arasındaki ilişkileri ve yönlerini tanımlayarak bir serim şeklinde ifade eder. Bu yapı sayesinde, doğrudan ilişkilendirilmemiş bileşenler arasında olabilecek dolaylı etkileşimler ve geri bildirimler de dikkate alınmaktadır. Sistem, karar vericinin kişisel yargı ve değerlendirmelerine bağlı olarak seçenekleri en önemliden en önemsiz doğru sıralar. Hatta, seçeneklerin önem derecesini de belirleyerek seçeneklerin birbirlerine ne kadar yakın veya uzak olduğunu, bir seçeneğin belirlenen hedefi ne kadar sağladığını da gösterir. En basit ANP yapısı, tek bir serimden ibarettir, en karmaşık halde ise, her bir seçeneğin doğurabileceği fayda, maliyet, fırsat ve riskler birlikte analiz edilebilir. Çeşitli formüller kullanılarak, seçeneklerin her bir model için aldığı değerler tek bir değere dönüştürülürler. Dikkat edilmesi gereken

konu; faydalar, maliyetler, fırsatlar ve risklerin, problemin yapısına göre farklı önem derecelerine sahip olabilecekleridir. Bu ağırlıklandırmaya “Fayda- Fırsat-Maliyet-Risk” (Benefit Opportunity Cost Risk) (BOCR) analizi denir (Saaty 1994).

ANP’de ölçütlerin ve seçeneklerin birbirine göre önemlerini belirleyebilmek için ikili karşılaştırmalar yapılır. Seçeneklerin karşılaştırılması, her bir ölçüt için ayrı ayrı yapılır. Sayısal olarak ifade edilebilen ölçütler için seçenekleri karşılaştırmada bir sorun yoktur. Fakat sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütler için bir seçeneğin diğerinden ne kadar önemli olduğunu belirlemek kolay değildir. Sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütlerin karşılaştırılmasında Çizelge 3.2’deki ölçütler kullanılır.

Çizelgeye göre belli bir ölçüte göre seçeneğin biri diğerinden çok daha önemli ise 9 değerini, seçenekler arasında eşitlik varsa veya önem derecesi açısından bir fark olmadığı düşünülüyorsa 1 değerini kullanmak gerekir. Kararsız kalınan durumlarda 2,4,6,8 gibi ara değerleri kullanmak gerekir. Örneğin karşılaştırılan iki öğe arasından biri diğerinden 5 kattan daha fazla fakat, 7 kat da önemli değilse, bu durumda ortalama değer olan 6 kullanılması uygundur.

Çizelge 3.2. ANP yönteminde kullanılan derecelendirmeler (Saaty 1994).

| Önem Derecesi | Tanım | Açıklama |
|---------------|------------------------------|--|
| 1 | Eşit derecede önemli | İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor. |
| 3 | Orta derecede önemli | Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor. |
| 5 | Kuvvetli derecede önemli | Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettiriyor. |
| 7 | Çok kuvvetli derecede önemli | Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor. |
| 9 | Aşırı derecede önemli | Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir. |
| 2,4,6,8 | Ortalama değerler | Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasına düşer. |

Çizelgede, karşılaştırmalar için kullanılan değerlerin 1'den 9'a kadar olmasının sebebi; insan beyninin iki öge arasındaki farkı ancak dokuz kata kadar duyarlı bir şekilde fark edebilmesindedir (Kulaç 2006).

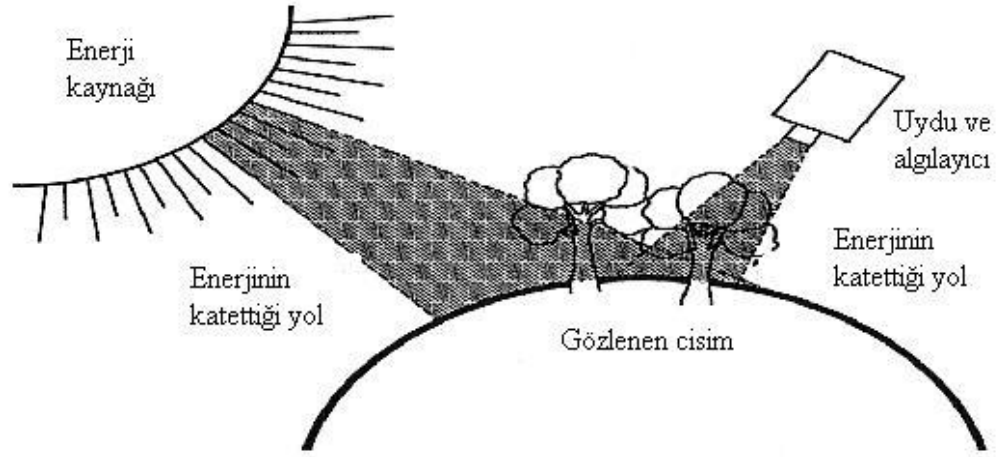
3.2. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılamada kullanılan algılayıcılar duyu organlarından faydalanılarak geliştirilmiştir. Örneğin, en yaygın olarak kullanılan uzaktan algılama algılayıcısı fotoğraf makinası olup, burada göz boşluğunun yerini, önünde küçük deliği bulunan kutu, göz merceğinin yerini, yapay mercek ve beynin yerini film almaktadır (Sesören 1999).

Uzaktan algılama birçok şekillerde tanımlanabilir. En genel olarak, uzaktan algılama; yeryüzünden belirli uzaklıklara, atmosfer ya da uzaya belli yüksekliklere yerleştirilen algılayıcılarla yeryüzünün doğal ve yapay cisimleri konusunda bilgi alma ve değerlendirme tekniği olarak tanımlanabilir. Bu tanımlamada iki konu önemle vurgulanmaktadır. İlkinde, algılamanın yeryüzüne dönük olarak, havadan ya da uzaydan yapılmasıdır. İkincisiyse; algılamanın cisimlerle fiziksel ilişkiye geçilmeden gerçekleştirilmesidir. Böylelikle, ayın, yıldızların, diğer gezegenlerin incelenmesi ve yeryüzünde yapılan röntgen, tomografi, mikroskop ve benzeri çalışmalar, uzaktan algılama çerçevesi dışında kalmaktadır. Bununla beraber farklı özelliklerde filmler kullanılabilmesi, "çok bantlı fotoğraf" çekiminin geliştirilmiş olması, fotoğrafı uzaktan algılamanın vazgeçilmez bir parçası yapar.

Uzaktan algılama sistemi aşağıdaki parçalardan oluşur (Şekil 3.1) (Ayday 2005a):

- Enerji kaynağı
 - Pasif Enerji kaynağı (güneş),
 - Aktif Enerji kaynağı (radar),
- Enerjinin kat ettiği yol,
- Gözlenen cisim,
- Uydu ve algılayıcı



Şekil 3.1. Uzaktan algılama sistemi (Ayday 2005a).

Uzaktan algılama 1909 yılında Wilbur Wright tarafından bir uçak kullanılarak ilk defa sıralar halinde hava fotoğrafı çekimiyle sistemli hale gelmeye başlamıştır. II'inci Dünya Savaşı sırasında kamuflaj çözücü (False Colour) fotoğrafların ve RADAR'ın icadıyla bugünkü anlamda uzaktan algılamaya ilk adımlar atılmıştır. 60'lı yıllarda çok bantlı algılama sistemi (Multispectral Scanning System, MSS) denen algılayıcının geliştirilmesi, uzaktan algılamanın birçok sahaya uygulanma olanağı yaratarak, bu alanda büyük bir atılım yapılmasına ön ayak olmuştur. 1972 yılında; ilk LANDSAT (*o zamanki ismi ERTS*) uydusunun uzaydaki yörüngesine oturtulmasıyla, yeryüzü hakkında devamlı bilgi akışı gerçekleştirilerek, uzaktan algılamada yeni bir çığır açılmıştır. Birbiri ardına yörüngelerine yerleştirilen uzaktan algılama uydularıyla uzaydan sürekli bilgi akışı devam etmiş ve halen de devam etmektedir. Hiç kuşku yok ki, bu tip uyduların uzaya gönderilmeleri yeni gelişmelerle gelecekte de devam edecek, belki de uzaktan algılama “Uzaydan Algılama” şekline dönüşecektir. Çünkü uydulardan elde edilen verilerin uçaklardan elde edilen verilere göre daha ucuz olması, aynı yerin sayısız olarak gözlemlenebilmesi, elde edilen verilerin bilgisayarlar aracılığıyla çözümlenmesi ve yeni atılacak uyduların neredeyse orta ve büyük ölçekli bir hava fotoğrafı niteliğinde olması, bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir.

Günümüzde çeşitli amaçlara hizmet etmek üzere pek çok uydu dünyanın çevresinde dönmektedir. Bunların başında meteoroloji, haberleşme, askeri uydular ve yeryüzünü algılayan uydular gelmektedir. İlk uzaktan algılama uydusu olan ve

yeryüzü üzerine sürekli bilgi veren, Amerikan yapımı LANDSAT olup, 1972 yılında uzaya gönderilmiştir. Onu izleyen Fransız, Belçika ve İsveç yapımı SPOT 1986 yılında uzaydaki yörüngesine oturtulmuştur. Bu uydulardan elde edilen sonuçlar uzaydan yapılan algılamanın önemini bütün açıklığıyla ortaya koymuş ve 1990 – 1995 yılları arasında tam beş tane yeni uydu, değişik devletler tarafından uzaydaki yörüngelerine oturtulmuşlardır. Bu uydular; Avrupa ortak yapımı ERS, ilk Kanada uydusu RADARSAT, Rusların uydusu RESURS, Hindistan'ın uydusu IRS ve Japonya'nın uydusu JERS olarak sayılabilir. Günümüzde hassasiyeti en yüksek uydu olarak tanınan İKONOS ise 1999'da fırlatılmış olup, 1 m hassasiyet derecesine sahiptir (Turoğlu 2000).

Tez kapsamında görüntüleri kullanılan LANDSAT uydusu her 103 dakikada bir yörüngesini tamamlar ve yeryüzündeki aynı noktayı 16 günde bir tekrar gözlemler (Turoğlu 2000).

LANDSAT'ın taşıdığı Tematik Haritalayıcı algılayıcısının ölçüm yaptığı spektral bantlar ve bunların ana uygulama alanları aşağıda gösterilmiştir (Sesören 1999):

Bant - 1 (0.45 – 0.52 μm): Kıyı haritası yapımında ve toprağın bitkilerden ayırt edilmesinde kullanılır.

Bant - 2 (0.52 – 0.62 μm): Bitkilerin canlılığını saptamada; bu bant aralığına karşılık gelen bitkilerin en yüksek yansıma değerlerinin ölçülmesinde kullanılır.

Bant - 3 (0.63 – 0.69 μm): Klorofil soğurma bandı olup, bitkilerin ayırt edilmesinde önemli rol oynar.

Bant - 4 (0.76 – 0.90 μm): Biyokütle içeriğinin saptanması ve su kütlelerinin ayırt edilmesinde yararlanır.

Bant - 5 (1.55 – 1.75 μm): Bitki ve topraktaki nemi algılayabilir. Aynı zamanda karın buluttan ayırt edilmesinde yardımcı olur.

Bant - 6 (10.40 – 12.50 μm): Isıl kızılötesi bant. Değişik yerlerde özellikle; toprağın nemi, su kirliliği, volkan araştırmalarında faydalanılır.

Bant - 7 (2.08 – 2.35 μm): Kayaç cinslerinin ayırt edilmesinde ve hidrotermal haritalamada kullanılabilir.

3.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), görsel cisimlerin semboller şeklinde bilgisayar ortamına aktarılarak, gerçek dünyanın uygun bir şekilde modellenmesidir. Bir başka deyişle, coğrafi verinin; toplanması, saklanması, güncelleştirilmesi, değiştirilmesi, analiz edilmesi, görsel ortama getirilmesini sağlayan bir sistemdir. CBS, coğrafi verinin yanı sıra, yazılım, donanım ve kullanıcıdan oluşur (http-4, http-5).

Farklı veri toplama yöntemlerinin uygulama imkanı bulunduğu CBS’de, yapılacak genel bir çalışma kabaca dört başlıkta toplanabilir.

1. Veri toplama,
2. Veri girişi ve depolama-saklama,
3. Görüntü ve çıktı alma,
4. Analiz etme.

Gerçek dünyanın modellemesinde CBS’nin büyük katkısı bulunur. Veri modelleme gerçek dünya ile basite indirgenen veri modeli arasında yapılan tüm işlemleri kapsar. Veri modelleme; vektör veri modelleme ve raster veri modelleme olmak üzere iki farklı yöntemle yapılabilir (Ayday, 2005b).

Vektör formatındaki veriler, nokta ve çizgilerin birleşmesi ile gerçek durumu temsil eder. Bunlar birleştirilerek poligonlar da oluşturulabilir. Böylece karmaşık şekiller veya özellikler, gerekli ayrıntı oluşturulabildiği için vektör formatında daha kolay olarak tanımlanabilir.

- Vektör veri modelini oluşturan elemanlar;
 - Nokta,
 - Çizgi,
 - Alan / Poligon’dur.

Raster formatındaki veriler, gerçek durumu bir kafes (ızgara) sistemi veya daha çok bir satranç tahtası şeklinde temsil eder. Her bir kare (veya bir raster hücresi) belirgin bir coğrafik alanı kapsar ve bu alana ait olan bir niteliği tanımlar. Raster hücresi, raster formatlı bir CBS dahilinde temsil edilebilen en küçük coğrafik bir birim olup, en küçük ‘haritalama birimi’ olarak bilinir.

Raster veri yapısında;

- Nokta, tek bir pikselden,

- Çizgi, bir biri ardına sıralanan pikseller zincirinden,
- Alan, birbirine yapışmış, toplanmış halde bulunan, küme şeklinde piksellerden oluşur.

Sayısal ortamda bulunan tüm verileri kullanarak belli desen, doku ve CBS elemanlarının birbirleri ile olan ilişkilerini ortaya çıkarmak ve grafik ve sözel verilerin belli özellikte olanları hakkında sözel veriler kullanılarak bilgi edinmek işlemine CBS’de sorgulama ve analiz denir.

CBS’de sorgulama üç farklı şekilde yapılabilir:

- **Görsel Sorgulama:** Konuma bağlı sorgulamadır.
- **Öznitelik Sorgulaması:** Veri tabanına girilen özniteliklerle yapılan sorgulamadır.
- **Görsel ve Öznitelik Sorgulaması:** Her iki sorgulama tipi birlikte kullanılır.

CBS, amaca ulaşmak için kullanılan çok önemli bir araçtır. Dolayısıyla CBS uygulamaları çalışmaların hedefi değil, fakat hedefe ulaşmada tercih edilen bir çalışma yöntemidir. CBS’nin kullanım alanları çok geniş olup, Çizelge 3.3’de CBS’nin farklı çalışmalara ait uygulama alanları özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. CBS tasarım ve uygulama alanları (Turoğlu 2000; Özkan ve ark. 2006; Siddiqui ve ark. 1996).

| | |
|---------------------------------------|---|
| Tarım | Tarımsal ürün deseni ve rekolte tahmini Mera alanlarının belirlenmesi, sulama etütleri Ürün gelişimi, bitki canlılığı ve kuraklık belirlemesi Toprak tür ve koşullarının belirlenmesi Arazi tapulaştırma çalışmaları |
| Ormancılık | Orman envanteri ve planlama Orman yangınlarının izlenmesi Yangın koridoru – Ulaşım etütleri Orman kadastrosu, ağaçlandırma ve değişim etütleri |
| Çevre koruma ve doğal kaynak yönetimi | Su, toprak ve hava kirliliği izleme çalışmaları Endüstriyel kirlilik etüdü ve kontrol – dağılım çalışmaları Balıkçılık ve yaban hayatının planlanması Milli parklar ve rekreasyon alanı organizasyonları Katı atık toplama/taşıma rotalarının oluşturulması Katı atık depolama sahası yer seçimi |
| Ulaşım | Ulaşım ve karayolu planlamaları, Trafik modellemeleri, Cadde, karayolu bakım ve kontrolleri, Trafik suç ve kaza takip ve kontrolleri, haritalamaları |

Çizelge 3.3. (Devam) CBS tasarım ve uygulama alanları (Turoğlu 2000; Özkan ve ark. 2006; Siddiqui ve ark. 1996).

| | |
|---|--|
| Kent ve bölge planlama | Arazi potansiyel – kullanımı ve etki analizleri Farklı amaçlara yönelik yer seçim analizleri Değişik ölçeklerdeki planlama – kontrol çalışmaları Altyapı planlama, haritalama ve yürütme çalışmaları Rekreasyon kaynakları belirleme çalışmaları |
| Su kaynakları yönetimi | Baraj yer seçimi, yerleşim, organizasyon ve etkileşim Sulak alan analizleri ve kullanım organizasyonları Su kaynaklarını koruma – kullanma organizasyonları |
| Yer bilimleri ve doğal kaynak araştırmaları | Jeolojik yapı haritaları Jeomorfolojik haritalar Jeofizik değerlendirmeler Coğrafya etüt ve analizleri Maden arama, etüde ve haritalama çalışmaları Maden tahsis haritaları ve yönetimi |
| Haritacılık | Kartografik ve kadastrifik çalışmalar Harita güncelleştirmeleri Coğrafi projeksiyonlar, topografik analizler Sayısal arazi modelleri, üç boyutlu görüntüleme İstihbarat, ulaşım ve hedef belirleme |
| Savunma | Savunma planlama ve hareket yönetimi Sivil Savunma organizasyonları |

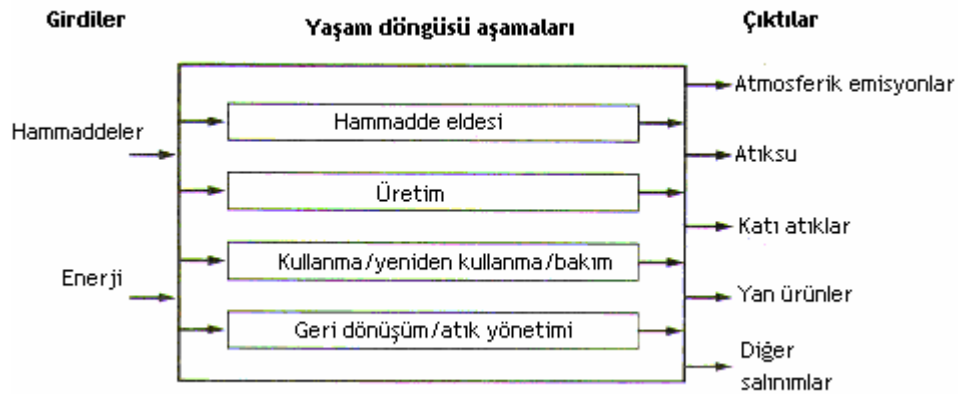
3.4. Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)

“Yaşam Döngüsü Analizi” (Life Cycle Analysis) ve “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi” (Life Cycle Assessment), bir eylemin tüm çevresel boyutlarını; hammaddenin doğadan elde edilmesinden, tüm atıklar tekrar doğaya dönene kadar değerlendiren bir sistemdir. Bu değerlendirme, ürünün işlenmesinde olduğu kadar, enerji dahil olmak üzere hammaddenin üretilmesi, kullanılması ve nihai bertarafı sırasında havaya, suya ve toprağa olan tüm etkileri içerir. LCA’lar hem doğrudan (üretim aşamasında oluşan salınımlar ve kullanılan enerji v.s.), hem de dolaylı (hammadde eldesi, ürünün dağıtılması, tüketici tarafından kullanılması ve bertarafı v.s.) etkileri belirlemek ve ölçmek için kullanılır (Şekil 3.2). LCA’nın sistematik yaklaşımı, belirli bir ürün veya sistemin etkilerinin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlar. Belirli bir tesise ve sadece sahada oluşan işlemlere odaklanan endüstriyel bir sürecin çevresel denetimlerinden farklı olarak LCA, firmanın tedarikçileri ve müşterileri ile arasındaki ilişkileri de ele alır. Bunun sonucu, bir ürünün çevresel etkilerinin beşikten mezara kadar olan toplam analizini verir (Bishop 2000, Çokaygil 2005).

Bu yöntemin hem yaşam döngüsü değerlendirmesi ve hem de analizi olarak kullanılmasının nedeni yapısından kaynaklanır. Çünkü LCA'yı oluşturan bileşenler hem envanter analizini hem de etki değerlendirmesini içerdiğinden, terminolojide bu şekilde kullanılmaktadır.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi'nin önemli bir özelliği, üreticilerin tasarımdan bertarafa kadar ürünlerinden kaynaklanan kirliliğin sorumluluğunu almalarıdır. Bu özellik LCA'yı, "sorumluluk, hammaddenin elde edilmesiyle başlar, tamamlanmış ürünün satışıyla biter" şeklindeki geleneksel düşünceden ayırır (Bishop 2000).

LCA'da bir ürünün veya sürecin yaşam aşamalarında ortaya çıkan tüm etkiler ele alınır. Bu nedenle LCA'lar, olası iki seçeneğin karşılıklı ilişkilerini değerlendirmede de kullanılabilir. Örneğin, floresan ve akkor lambaların karşılaştırılmasında sadece enerji kullanım etkisi ele alınırsa, floresan lamba daha az enerji harcadığı için avantajlı konumda olacaktır. Buna rağmen, kontrol faktörü zehirli atık üretimi olduğu durumda floresan lamba zehirli civa içerdiği için karşılaştırmayı kaybedecektir. Bu durumda LCA sistemi, tüm çevresel etkilerin dikkate alınmasını sağlamak ve hangi ürünün kullanılacağı konusunda karar verme sürecine yardımcı olmaktadır (Bishop 2000).



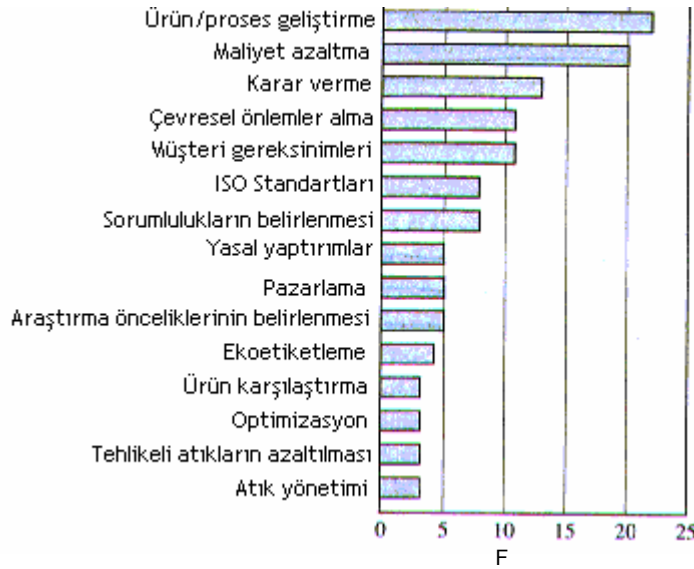
Şekil 3.2. LCA'nın aşamaları ve sınırları (Bishop 2000)

LCA, birçok amaç için kullanılabilir. Şekil 3.3’de verilen LCA’nın kullanım amaçları ve bu amaçlara göre kullanım ağırlıklarına bakıldığında, ürün/süreç geliştirme ve maliyet azaltımı öncelikli sırayı alırken; karar verme, çevresel zorunluluk ve müşteri istekleri ikinci sıradadır (Bishop 2000).

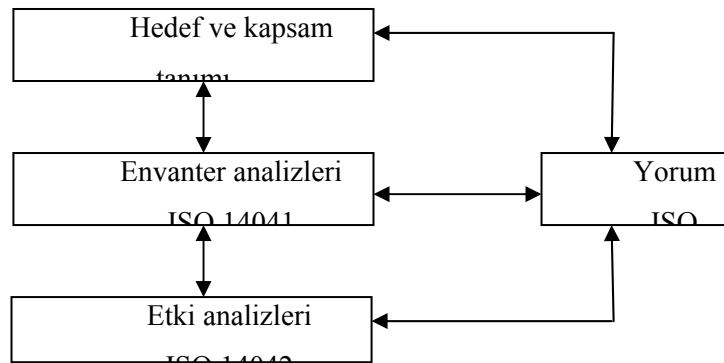
SETAC’ın (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) çalışmaları sonucu, LCA’nın dört aşaması belirlenmiş ve geliştirilmiştir:

- Hedef ve kapsam tanımı
- Envanter analizleri
- Etki analizleri
- Yorum

Bu dört aşamanın birbiriyle olan etkileşimleri Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.3. LCA’nın uygulama alanlarına göre kullanım sıklığı (Bishop 2000)



Şekil 3.4. LCA’nın genel yapısı (James 2003)

3.4.1. Hedef ve kapsam tanımı

LCA'nın hedef tanımı aşamasında; yaşam döngüsü değerlendirmesinin amacı, tasarlanan uygulama, çalışmanın gerçekleştirilme sebepleri ve hedef kitle (çalışmanın sonuçlarının kime iletileceği), şüpheye yer vermeyecek şekilde ifade edilmelidir (Türk Standartları Enstitüsü 2003a). Hedef tanımı aynı zamanda sonuçların kullanılmasındaki niyeti ve sonuçların kullanıcılarını da belirtmelidir. Hedefe ulaşmak zorunda olan uygulayıcının, çalışma sayesinde sağlam kararlar oluşturabilmesi için, çalışmanın amacını ayrıntılı olarak anlaması ve anlatması gerekmektedir.

Hedef tanımı, çalışmanın karmaşıklık derecesini ve raporlama gereksinimlerini belirler. Şeffaflık, tüm LCA çalışmaları için zorunludur. LCA çalışmasının hedef kitlesi de raporlama yönteminin seçilmesi açısından ayrıca önemlidir. Hedef, yorum aşamasının bir bölümü ve çalışmadan elde edilenlerin bir sonucu olarak yeniden tanımlanabilir (EEA 1997).

LCA'nın kapsamının belirlenmesi, sistemde yer alacakları ve kullanılacak ayrıntılı değerlendirme yöntemlerini içeren bilgilerle, değerlendirmenin sınırlarını ortaya koyar. Kapsam tanımında, aşağıda verilen maddeler ele alınmalı ve açıkça belirtilmelidir:

- Sistemin/Sistemlerin işlevi
- Fonksiyonel birim
- Çalışılacak olan sistem
- Sistemin sınırları
- Paylaştırma yöntemleri
- Etki çeşidi, etki değerlendirmesi yöntemi ve bundan sonraki yorum aşaması
- Veri gereksinimi
- Varsayımlar
- Sınırlamalar
- Başlangıç veri kalitesi gereksinimleri
- Kritik gözden geçirme
- Çalışma için gerekli olan raporun türü ve biçimi

Çalışmanın kapsamı; çalışmanın uygun genişlik, derinlik ve ayrıntıda olması ve başlangıçta belirlenen hedefe ulaşılabilmesi açısından iyi bir şekilde tanımlanmalıdır. LCA'nın tekrarlama gerektiren bir teknik olması nedeniyle, çalışma yürütülürken ek bilgi toplanması gibi durumlarda, çalışmanın kapsamı genişletilebilmelidir (EEA 1997).

3.4.2. Envanter analizi

Envanter analizi, yaşam döngüsünün ikinci aşamasını oluşturmakta olup aşağıdaki kısımları içermektedir:

- Veri toplama,
- Sistem sınırlarının incelenmesi,
- Hesaplama,
- Verinin geçerliliği,
- Çalışılmakta olan sistemle ilgili veri,
- Paylaştırma (EEA 1997).

3.4.3. Etki değerlendirme

Etki değerlendirme, yaşam döngüsü değerlendirmesinin üçüncü aşamasını oluşturmakta olup, aşağıdaki ana konuları içerir:

- Sınıf tanımı,
- Sınırlandırma,
- Karakterizasyon,
- Değerlendirme / ağırlıklandırma.

Etki değerlendirme, envanter tablosunda belirtilen çevresel girişimlerin etkilerini, karakterize eden ve değerlendiren nicel ve/veya nitel bir işlemdir.

Yaşam döngüsü etki analizi yapısı ve yöntemi şeffaf olmalı ve geniş bir uygulama aralığı için esneklik ve pratiklik sağlamalıdır. Etki değerlendirme maliyet ve kullanılan kaynaklar temelinde de etkilidir (EEA 1997; Türk Standartları Enstitüsü 2003b).

3.4.4. Yorum

Yaşam döngüsü değerlendirmesi yorumu, bir sistemin envanter analizi veya etki değerlendirmesi sonuçlarından elde edilen bilgiyi nitelendirmek, kontrol etmek ve değerlendirmek ve hedef ve kapsam bölümünde belirtildiği gibi sunmaya yönelik sistemli bir işlemdir.

Yorum, yaşam döngüsünün diğer üç aşaması arasında gerçekleştirilir. Envanter analizlerinden ve etki değerlendirmesinden bulunanlar, hedef ve kapsam tanımında belirtilenleri karşılamaz ise, envanter analizi sistem sınırları tekrar gözden geçirilmeli, daha fazla veri toplanması gibi işlemlerle geliştirilmeli, bunu, geliştirilmiş etki değerlendirmesi takip etmelidir. Bu tekrarlayıcı süreç, hedef ve kapsam aşamasında belirtilen gereksinimler, aşağıda tanımlanan hususlar karşılanıncaya kadar tekrarlanmalıdır:

1. Önemli çevresel konuların belirlenmesi,
2. Bütünsellik, hassasiyet ve tutarlılık açısından yöntemin ve sonuçların değerlendirilmesi,
3. Sonuçların hedef ve kapsam tanımındaki gereksinimlerle uyumluluğunun kontrolü,
4. Yukarıdaki işlemler sağlanıyorsa sonuç olarak bir rapor yazılmalı, sağlanmıyorsa 1. ve 2. basamağa geri dönmelidir. Bu işlem 3. basamak sağlanıncaya kadar tekrarlanmalıdır (EEA 1997).

4. KONUYLA İLGİLİ ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, tez sırasında gerçekleştirilen çalışmalarla ilgili olarak alanyazındaki çalışmaların özeti verilmiştir. Bu kapsamda; atık bileşimi, geri kazanım/geri dönüşüm, atık yönetim sistemlerinin modellenmesi, toplama taşıma sistemlerinin optimizasyonu ve depolama sahası yer seçimi ile ilgili çalışmalar incelenmiştir.

4.1. Atık Bileşiminin Belirlenmesi ve Geri Kazanım/Geri Dönüşüm İle İlgili Çalışmalar

Kentsel katı atık yönetim sistemleri, depolama temelli yaklaşımdan kirlilik önleme yaklaşımına doğru gittikçe daha karmaşık bir hal almıştır. Birçok ülkede ulusal temelde belirlenen geri kazanım hedeflerine ulaşmak için stratejiler oluşturulmakta ve bu süreçte, kentsel katı atıkların miktar ve bileşimleri ile ilgili ayrıntılı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak katı atıkların bileşimi sosyo-ekonomik, mevsimsel, coğrafik vb. koşullara bağlı olarak değişmekte ve bu da tüm değişkenlerin etkisinin eş zamanlı olarak dikkate alınmasını zorlaştırmaktadır. Alanyazında farklı şehirlerdeki evsel/kentsel katı atıkların bileşimi ve miktarı ile ilgili olarak yapılmış pek çok çalışma vardır (Burnley 2007; Chang ve Davila 2007; Igoni ve ark. 2007; Sharma ve McBean 2007; Sha’Ato ve ark. 2007; Burnley ve ark. 2006; Gidarakos 2006; Shaw ve ark. 2006; Tınmaz ve Demir 2006; Ojeda-Benitez ve ark. 2003; Mohee 2002; Daskalopoulos ve ark. 1998; Abu Qdais ve ark. 1997), ancak, atık bileşimi her yerleşim yerinde farklı olacağından, bir kentsel katı atık yönetim sistemi kurulmadan önce mutlaka o kente ait atıkların bileşiminin belirlenmesi gereklidir.

Geri kazanımla ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalar genel olarak geri kazanım uygulamaları üzerinedir (Murad ve Siwar 2007; İsa ve ark. 2005; Emery ve ark. 2003). Kentsel katı atıkların farklı geri kazanım stratejileri ile ilgili modelleme çalışmaları ise sınırlı sayıdadır. Bunlardan birisi, 1999’da Tanskanen ve Melanen tarafından geliştirilen TASAR (Tool for Analysing Separation Actions and Recovery) modelinin ele alındığı çalışmadır. Bu çalışmada, Finlandiya’daki farklı ayırma teknikleriyle ulaşılan geri kazanım seviyeleri araştırılmıştır.

4.2. Atık Yönetim Sistemlerinin Modellenmesi İle İlgili Çalışmalar

Atık yönetimi, geri dönüşüm ve sürdürülebilir gelişim için en az gereksinimlerle ilgili kısıtlamaları, teknik ve ekonomik faktörleri içeren karmaşık ve disiplinlerarası bir problemdir. Birçok endüstrileşmiş şehirde “Atık Yönetim Hiyerarşisi” (önleme/azaltma/malzeme geri kazanımı/yakma/düzenli depolama) felsefesi uygulanmaktadır. Ancak bu yaklaşım mutlaka ekonomik açıdan da kabul edilebilir olmalıdır. İşte bu nedenle, atık yönetim stratejilerini belirlemek için, son yıllarda ekonomi temelli optimizasyon modellerine dayalı çalışmaların sayısı artmıştır. Atık yönetim planlaması için birçok matematiksel programlama modelleri geliştirilmiştir. Chang ve Chang (1998) tarafından, tüm maliyetlerin azaltılmasına dayanan, malzeme geri kazanımı ve enerji gelirlerinin de dikkate alındığı, kısıtlı bir doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak formüle edilen bir model oluşturulmuştur. Bu modelde, maliyet fonksiyonları; taşıma, arıtım, bakım ve geri dönüşüm iken olası gelir, elektrik enerjisidir. Karar değişkenleri süreklidir ve çeşitli tesisler için malzeme akışları verilmiştir. Model, kentsel katı atık (MSW) yönetim sisteminin optimum yapısını otomatik olarak verememektedir. Problem kısıtları; kütle denkliği, tesis kapasitesi ve gerekli en az enerji geri kazanımı ile ilişkilidir. Bununla birlikte modelde, kuralcı, çevresel ve teknik faktörler göz önüne alınmamış ve organik madde geri kazanımı ve atıktan türetilmiş yakıt (RDF) üretimi ele alınmamıştır.

MSW yönetimi için formüle edilen bir diğer yaklaşımda ise atık hızı ve bileşimi ve bunların olumsuz çevresel etkileri dikkate alınmaktadır (Daskalopoulos ve ark. 1998). Bu modelde, farklı arıtma tesisleri (düzenli depolama, enerji geri kazanımlı yakma, geri dönüşüm ve kompostlama) için atık akışı, doğrusal bir maliyet fonksiyonunun azaltılması ile tanımlanmıştır.

Haastrup ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada, MSW bilgi sistemli bir karar destek sistemi (KDS) geliştirmişlerdir. Bu sistemdeki üç ana bileşen; kullanıcı ara yüzeyi, veri yönetim sistemi (coğrafi veri, atık üretimi, arıtımı ve bertarafı ile ilgili veriler) ve model yönetim sistemidir. KDS, özellikle atık bertaraf sahalarının arazi kullanım haritası, senaryo değerlendirmeleri için dört model (saha riski, çevresel etkiler, maliyetler ve taşıma risk modelleri) ve çok ölçütlü karar analizleri

için NAIADE (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments) modelini içermektedir.

Fiorucci ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada, karar destek sistemleri kullanılarak, atığın özelliklerine göre düzenli depolamaya, arıtma tesisine ve geri dönüşüme gönderilmesi gereken atık miktarları ve gerekli depolama ve arıtma tesisi sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanılan karar destek sistemi kısıtlı bir doğrusal olmayan optimizasyon probleminin çözümüne dayanmaktadır. Problemin formülasyonunda çeşitli kısıtlar kullanılmış ve geri dönüşüm, yakma sürecinin gerekleri, düzenli depolama sahasının en az kullanımı ve kütle dengliği için en az gereksinimler hakkında yasal zorunluluklar dikkate alınmıştır. Ayrıca, geri dönüşüm, taşıma ve bakım maliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır. Oluşturulan model İtalya'nın Genova kentine uygulanmış ve problem Lingo 6.0 optimizasyon yazılımıyla çözülmüştür.

Chang ve Wang (1997) yaptıkları çalışmada, büyük bir bölgede katı atık yönetim sisteminin tasarımı için bulanık mantık yaklaşımını uygulamışlardır. Bu analizde dört adet amaç göz önüne alınmıştır: maliyet, gürültü kontrolü, hava kirliliği kontrolü ve trafik kısıtlamaları. İlk olarak, maliyetler ana başlığı altında taşıma, yapım, işletme, genişleme ve geri dönüşüm ve gelir olarak da tesislerdeki geri kazanım ve evdeki geri kazanım faaliyetleri ele alınmıştır. İkinci olarak ise her bir arıtım/bertaraf tesisinin ana girişindeki yollarda trafik hizmetinin maksimum olması için bir fonksiyon türetilmiştir. Gürültü ve hava kirliliği kontrolünde ise kirliliğin azaltılması amaçlanmıştır. Bulanık mantık modeli, ağırlıklandırılmış ekleme modeline dayanmaktadır. Bunların yanı sıra; kütle dengliği, kapasite sınırlamaları, işletme koşulları ve mevcut saha durumu da dikkate alınarak fonksiyonlar oluşturulmuştur. Elde edilen bu fonksiyonlar LINDO optimizasyon yazılımıyla çözülmüştür. Oluşturulan model Tayvan'ın Kaohsiung kentine uygulanmıştır.

Gottinger tarafından 1988 yılında yapılan çalışmada, katı atık yönetim sistemlerinin tasarımı için sadece ekonomik ölçütler dikkate alınmıştır. Yakma, anaerobik arıtım, depolama ve taşıma maliyetlerinin hesaplandığı çalışma, Münih/Almanya'nın atıkları için uygulanmıştır. Çalışmada altı farklı atık tipinin (kentsel atıklar, endüstriyel atıklar, bahçe atıkları, çiftlik atıkları, konserve

endüstrisinden gelen atıklar ve inşaat ve moloz atıkları) en az maliyetli arıtım/bertaraf seçenekleri incelenmiştir. Sonuç olarak; kentsel atıklar, endüstriyel atıklar, bahçe atıkları ve konserve endüstrisinden gelen atıklar için yakma ve depolama; çiftlik atıkları için anaerobik arıtım ve yakma şeklinde bir birleşik sistem ya da doğrudan depolama; inşaat ve moloz atıkları içinse, doğrudan depolama seçenekleri önerilmiştir.

Powell (1996) tarafından yapılan çalışmada, altı farklı atık yönetim senaryosu oluşturulmuştur. Bunlar; her biri geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz olmak üzere düzenli depolama, yakma ve RDF'dir. Bu altı senaryo; maliyet, çevresel etkiler ve kaynak kullanımı ana başlığı altında 15 ölçüt kullanılarak ağırlıklandırılmış çok ölçütlü karar analizi ile değerlendirilmiştir. Sonuçta, sadece maliyetler dikkate alındığında geri dönüşümsüz düzenli depolamanın, çevresel etkiler ve kaynak kullanımı göz önüne alındığında ise, geri dönüşümlü RDF'nin en iyi sonuç olduğu görülmüştür.

Abou Najm M. ve El-Fadel M. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, sistematik bir entegre katı atık yönetimi analizinde kullanılmak üzere Excel-Basic ortamında doğrusal programlama yapılmıştır. Modelde, atık akımının akış ağı, üretim kaynakları; işleme tesisleri, biyolojik arıtım ve ısı arıtım tesislerinden oluşan ara tesisler ve depolama olmak üzere üç ana bölüme ayrılmıştır. Bunun yanı sıra, her bir tesis ve üretim noktaları arasındaki mesafeler dikkate alınarak kütle denkliği, kapasite ve malzeme kısıtlamaları ve her bir işlemin maliyeti göz önüne alınarak optimum entegre katı atık yönetim sistemine ulaşılmaya çalışılmıştır.

Hokkanen ve Salminen (1998) yaptıkları çalışmada, katı atık yönetim sistemi seçimi için ELECTRE III'ü kullanmışlardır. Bu çalışmada, 8 adet kriter kullanılmıştır. Bunlar; ton başına net maliyet, teknik uygulanabilirlik, küresel etkiler, yerel ve bölgesel sağlık etkileri, asidik salınımlar, yüzey suyu kirliliği, işçi sayısı ve geri kazanılan atık miktarıdır. Finlandiya'nın Oulu bölgesine uygulanan çalışmada, 22 farklı atık yönetim senaryosu üzerinde çalışılmış ve bölge için en uygun senaryonun depolama, kompostlama ve RDF yakmadan oluşan sistem olduğu belirlenmiştir.

Björklund ve ark. (1999) organik atık araştırma modeli (Organic Waste Research Model, ORWARE) diye isimlendirilen bir bileşik-akış benzetim modeli kullanmışlardır. Çalışmada ısı geri kazanımlı yakma, kompostlama ve anaerobik arıtım için çevresel ve ekonomik faktörler değerlendirilmiştir. Sonuçlar daha sonra yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Costi ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada kentsel katı atık yönetimi için bir karar destek sistemi (KDS) geliştirmişlerdir. Modelde MSW, 11 farklı çeşitte ele alınmıştır (1.kağıt, 2. ağır plastikler, 3. plastik torbalar, 4. plastik şişeler, 5. camlar, 6. organik atık, 7. odun, 8. metaller, 9. kırpıntı atıkları, 10. inert maddeler, 11. tekstil atıkları). Atığın her bir süreç öncesinde ve sonrasında ısıl değeri ve yakma salınımları, atığın kimyasal bileşimine göre hesaplanmıştır. Modelde geri dönüşüm, kompostlama, RDF tesisi, insineratör ve depolama sahası ele alınmış ve teknik, ekonomik ve çevresel faktörler düşünülerek denklemler geliştirilmiş ve elde edilen doğrusal olmayan problem Lingo 6.0 ile çözülmüştür.

4.3. Toplama-Taşıma Sistemlerinin Optimizasyonu İle İlgili Çalışmalar

Atık toplama problemi, Kapasiteli Ayrıt Rotalama Problemi (Capacitated Arc Routing Problem, CARP) olarak modellenebilir (Gelders ve Cattrysse, 1991). Bu modelde, sokak köşeleri düğüm, ve iki düğüm arasındaki mesafe ayrıtla simgelenir ve maliyet bu ayrıtların bir fonksiyonu olarak belirlenir. Amaç fonksiyonu en az maliyettir. Ancak bu yöntem, uygulamada optimum çözümü vermeyebilir, bu nedenle deneme-yanılma yöntemleri kullanılmalıdır. Olası bir yaklaşım, öncelikle dev bir tur bulmak, daha sonra da araç kapasitesi ile ilişkili olarak, rotaların bir serisini ayırmaktır. Bu rota, tek kümeli olarak Ulusoy (1985) tarafından kullanılmıştır. Mourao (2000) da düşük sınırlı bir yöntemle sağlanan bir çözümün dönüşümü dışında atık toplama probleminin çözümü için benzer bir yaklaşım geliştirmiştir. Ronen ve ark (1983) katı atık toplama rotaları için, elle bir analize dayanan deneme-yanılma teknikleri kullanarak yaptıkları çalışmada, toplam mesafede %18,7 azalma sağlamışlardır.

Yaygın olarak kullanılan bir diğer yaklaşım ise; bazı miyop optimizasyon ölçütleri kullanılarak belli bir sürede bir döngü yapılması temeline dayanan yol-tarama yöntemidir (path-scanning procedure). Bir döngünün oluşturulmasında;

araç kapasitesi aşılmaya kadar en çok umut vadeden köşeler eklenir ve daha sonra, tam bir döngü oluşturmak için bertaraf sahasına en az maliyetli yolla gidilir. Bu yöntem, Golden ve ark (1983) tarafından geliştirilmiştir.

Kulcar (1996) tarafından yapılan bir çalışmada, caddelerin ayrıt olarak kullanılmasının ötesinde, atık toplama noktalarının da dikkate alındığı, iki fazlı bir yaklaşım için doğrusal programlama tekniği kullanılmıştır.

Christofides (1973), dolaylı olarak Kapasiteli Çinli Postacı Problemi'nin (Capacitated Chinese Postman Problem, CCPP) çözümü için bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmada; C gibi bir rota yapıldığında, C'nin üzerindeki gerekli tüm köşeler haritadan uzaklaştırılır ve bu işlem uygun olmayan araç rotaları belirleninceye kadar tekrarlanır. Pearn (1989) tarafından da bu algoritma geliştirilmiş, uygun döngüler yapılmış ve daha fazla döngü bulunmayana kadar işlem devam ettirilmiştir.

Chapleau ve ark. (1984) tarafından ise, paralel ekleme (paralel insert) olarak adlandırdıkları Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem, TSP) yöntemi geliştirilmiştir.

Amponsah ve Salhi (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, gelişmiş ülkelerde kentsel katı atık toplama rotalarının Kapasiteli Ayrıt Rotalama Problemi yaklaşımı ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Her bir ayrıt için belirlenen atık miktarları ile maliyet arasında α ile gösterilen bir ağırlık faktörü kullanılarak ağırlıklandırılmış bir fonksiyon yazılmış ve α 'ya farklı değerler verilerek en uygun rota belirlenmiştir.

Nuortio ve ark. (2006) kentsel katı atık toplama rotalarının belirlenmesi için iki fazlı bir algoritma kullanmışlardır. Birinci fazda, en uygun çözüm, hibrit ekleme deneme-yanılma (hybrid insertion heuristic) yaklaşımıyla yapılmış, ikinci fazda da ilk çözüm Yönlendirilmiş Değişken Komşuluk Eşiklemesi (Guided Variable Neighborhood Thresholding, GVNT) yaklaşımıyla geliştirilmiştir. İlk fazda çekirdek bir konteynerle rota başlatılmış, daha sonra diğer konteynerler rotaya ilave edilmiş, bu işlem tüm konteynerler rotaya eklenene kadar devam etmiştir. GVNT'de güdülmüş yerel araştırma (guided local search), değişken komşuluk araştırması (variable neighborhood search) ve eşik kabulleri olarak

bilinen üç temel yüksek seviyeli deneme-yanılma (metaheuristic) eşanlı olarak uygulanmıştır.

Chang ve ark. (1997) tarafından yapılan çalışmada, toplama mesafesinin azaltılması, toplama maliyetlerinin azaltılması ve toplama süresinin azaltılması, amaç fonksiyonlar olarak alınmış ve sistem kısıtları da tanımlanarak bir karışık tamsayı programlama modeli (mixed integer programming model) kullanılmıştır. Sonuca ulaşmak için ARC/INFO yazılımı kullanılarak coğrafi bilgi sistemleriyle ağ analizi yapılmıştır. Oluşturulan model, Taiwan'ın Kaohsiung şehrine uygulanmış ve toplama araçları için farklı yönetim senaryoları geliştirilmiştir.

Shih ve Chang (2001) tarafından yapılan çalışmada ise tıbbi atık toplama sistemlerinin rota optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Visual Basic ortamında karışık tamsayı programlama modelini otomatik olarak formüle eden bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Daha sonra, bu programlama modeli LİNGO/PC 4.0 kullanılarak çözülmüş ve rotaların oluşturulması için bir CBS yazılımı olan ArcView kullanılmıştır. Kurulan bu dinamik modelle kullanıcı, hastanenin koordinatlarını, hastane bilgilerinin, tıbbi atık miktarını ve tahmini yükleme süresini programa girince sistem, rotayı oluşturabilecek hale getirilmiştir. Geliştirilen bu bilgisayar programı Taiwan'ın Tainan şehrindeki tıbbi atıkların toplanması için kullanılmıştır.

Yapılan bir diğer çalışmada ise (Teixeira 2003) geri kazanılabilir atıkların toplanması için bir rota belirlenmiştir. Portekiz'in merkez-kıyı bölgesindeki kağıt, cam ve plastik/metal konteynerlerin yerleri harita üzerinde işaretlenmiş ve deneme-yanılma teknikleri ve CBS kullanılarak aylık rotalar oluşturulmuştur. Vietnam Hanoi'de yapılan bir çalışmada da (Tung ve Pinnoi 2000) yine deneme-yanılma teknikleri kullanılmış ve C++'da program yazılmıştır. Bu çalışmada coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanılmamış, elde edilen sonuçlar sadece tablolarda verilmiştir.

Erken ve Güngör tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada, Denizli-Kuşpınar Mahallesi pilot bölgesinde geri kazanılabilir kentsel atıkları toplayacak araçların tur optimizasyonu yapılmıştır. Problemin çözümünde, Euler tur tespiti için bölge grafiğinde sadeleştirilmeye gidilerek, tek dereceli, düğüm sayısı

minimize edilmiş ve tur tespiti için Edmonds'ın geliştirdiği, “eşleme” sezgisel algoritması kullanılarak Eulerize edilmiştir.

2005 yılında Özkan ve ark. tarafından 557.028 merkez ilçe nüfuslu, günlük 410 ton kentsel katı atığın ve 1,1 ton tıbbi atığın ortaya çıktığı Eskişehir kenti için, tıbbi atık toplama rotalarının belirlenmesi çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, atık kaynaklarının GPS cihazı ile, UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sistemine göre koordinatları belirlenmiş ve CBS'den yararlanılarak kaynakların yerleri kent haritasında işaretlenmiştir. Daha sonra bu sağlık kuruluşlarına ait veriler (personel sayısı, yatak kapasitesi, doluluk oranı, vs.) veri tabanına yüklenmiştir. Toplama rotalarının belirlenmesi çalışmaları Geomedia 4.0 Professional ve Network Analyst yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. Rotalar iki farklı grupta ve haftalık olarak oluşturulmuş ve çalışma sonucunda her iki rota grubu arasında bir dengenin kurulduğu görülmüştür. Çalışmada, uygulamada zaman zaman uğranılan bazı sağlık kuruluşlarındaki tıbbi atıkların düzenli bir şekilde alınmasına özellikle dikkat edilmiş ve haftada 500 km (günlük ortalama 100 km) yol katedilen mevcut duruma göre toplam 481 km ile bir iyileştirme sağlanmıştır.

4.4. Düzenli Depolama Sahası Yer Seçimi İle İlgili Çalışmalar

Tezin önemli bir kısmını oluşturan depolama sahası yer seçimi ile ilgili olarak alanyazında CBS, AHP ve bulanık mantık teknikleri kullanılarak yer seçiminin gerçekleştirildiği çalışmalara rastlamak mümkündür. Bu çalışmalarda kullanılan yer seçimi ölçütleri Çizelge 4.1'de verilmiş ve Eskişehir için katı atık depolama sahası yer seçimi çalışmalarında bu ölçütler temel alınmıştır.

Çizelge 4.1. Depolama sahası yer seçimi için önceden yapılan çalışmalarda dikkate alınan ölçütler

| Ölçüt | European Com. 1999 | Çevre Orman B. 1991 | Manoliadis 2001 | Leao 2001 | Mongeon 2002 | Sellers 2002 | Siddiqui 1996 | McFadden 2003 | Charnpratheap 1997 | http-3 | Vatalis, Manoliadis 2002 | Levine 1996 |
|------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|--------|--------------------------|-------------------------------|
| Yerleşim yeri | X | 1000 m | X | | | | X | X | X | | X | 1 km(etrafta çit varsa 250 m) |
| Rekreasyon alanları | X | | | | | | | | | | | |
| Yüzey suları | X | X | | | X | X | | X | X | X | X | X (300 m) |
| Tarım alanları | X | | | | | | | | | | | |
| Yeraltı suyu | X | X | | | | | X | | X | X | X | X |
| Kıyı suları | X | | | | | | | | | | | |
| Doğal koruma alanları | X | | | | | | | | | | | |
| Jeolojik koşullar | X | | | | X | | X | | | | | X |
| Hidrojeolojik koşullar | X | | | | | | | | | | | |
| Taşkın riski olan sahalarda | X | X | | | | | | | | | | X(10yıl) |
| Çökme riski olan sahalarda | X | | | | | | | | | | | |
| Heyelan riski olan sahalarda | X | X | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Çığ riski olan sahalarda | X | X | | | | | | | | | | |
| Doğal ve kültürel miras alanları | X | | | | | | | | | | | |

Çizelge 4.1(devam). Depolama sahası yer seçimi için önceden yapılan çalışmalarda dikkate alınan ölçütler

| Ölçüt | European Com. 1999 | Çevre Orman B. 1991 | Manoliadis 2001 | Leao 2001 | Mongeon 2002 | Sellers 2002 | Siddiqui 1996 | McFadden 2003 | Charnpratheap 1997 | http-3 | Vatalis, Manoliadis 2002 | Levine 1996 |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|--------|--------------------------|-------------|
| Erozyon bölgeleri | | X | | | | | | | | | | |
| Akifer kalınlığı | | | X | | | | | | | | | |
| Geçirgenlik | | | X | | | | X | | | | | |
| İnfiltrasyon/perkolasyon | | | X | | | | | | | | | |
| Arazi örtüsü ve ekolojik karakter | | | X | | | X | | X | | X | X | |
| Görsellik | | | X | | | | | | | | X | |
| Koku | | | X | | | | | | | | X | |
| Halk sağlığı ve güvenliği | | | X | | | | | | | | | |
| Saha ömrü | | | X | | | X | | | | | X | X (10 yıl) |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|--|---|--|---------|---|---|---|---|---|---|--------|
| Örtü malzemesi mevcudiyeti | | | X | | | | | | | | X | X |
| Eğim | | | | | X | X | X | | X | X | X | X |
| Koruma alanları | | | | | | | | | | | | X |
| Toprak | | | | | X | | | | | X | | X (1m) |
| Kuyular | | | | | 0,75 km | | | X | | | | |

Çizelge 4.1(devam). Depolama sahası yer seçimi için önceden yapılan çalışmalarda dikkate alınan ölçütler

| Ölçüt | European Com. 1999 | Çevre Orman B. 1991 | Manoliadis 2001 | Leao 2001 | Mongeon 2002 | Sellers 2002 | Siddiqui 1996 | McFadden 2003 | Charnpratheep 1997 | http-3 | Vatalis, Manoliadis 2002 | Levine 1996 |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|--------|--------------------------|---|
| Yollar | | | X | | X | X | | X | | | X | X (10 km, 30 dk süreyle) Aktarma istasyonu varsa 2 saat |
| Ekonomik Uzaklık (Faktör haritası) | | | | | 10 km | | | | | | | |
| Arkeoloji | | | | | | | | | X | | | X 1km |
| Orman | | | | | | | | | X | | | X |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|------------|
| Arazi kullanımı | | | | | | | | | X | | | |
| Yükseklik | | | | | | | | | X | | | |
| İklim | | | | | | | | | | | X | X |
| Elektrik,gaz,atıksu,su hatları | | | | | | | | | | | | X |
| Deprem riski taşıyan alanlar | | | | | | | | | | | | X |
| Havaalanı | | | | | | | | | | | | X (3-8 km) |

5. ESKİŞEHİR KENTİ VE MEVCUT KATI ATIK DURUMU

5.1. Eskişehir Kentinin Özellikleri

5.1.1. Coğrafi durum

Eskişehir ili, İç Anadolu Bölgesinin kuzeybatısında 29-32 derece doğu boylamları, 39-40 derece kuzey enlemleri arasında yer alır. Eskişehir ili, güneyden Afyonkarahisar, güneydoğudan Konya, doğudan Ankara, kuzeybatıdan Bolu, batıdan Bilecik ve Kütahya ile çevrelenmiş durumdadır. İl alanı, yaklaşık 13.653 km²'dir. Bu alanıyla il, Türkiye topraklarının %1,8'ini kaplamaktadır. İl merkezinin denizden yüksekliği ise 792 m dir. Eskişehir'in ilçelerinden Seyitgazi'nin küçük bir bölümü Ege'nin, Sarıcakaya İlçesi'nin tümü ile Merkez ve Mihallıçık ilçelerinin bir bölümü Karadeniz Bölgesi'nin etkisindedir. Ancak Eskişehir, coğrafi karakterini genellikle İç Anadolu Bölgesi'nden alır (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2003).

Yaklaşık %22'sini dağların oluşturduğu ilin, yeryüzü şekilleri içinde ovaların payı %26 dolayındadır. Eskişehir il alanı daha çok platolar ve dağlarla kaplıdır. Yaylalar, il topraklarının %0,6 gibi çok küçük bir bölümünü kaplar. Bölgenin en büyük akarsuyu Sakarya Nehri'nin bir kolu olan Porsuk Çayı'dır. Uzunluğu 460 km'yi bulan akarsu il sınırlarına güneybatıdan girip, doğudan çıkmaktadır. Ayrıca ilde, Porsuk (23,4 km² yüzölçümlü), Gökçekaya (20 km² yüzölçümlü), Çatören (4 km² yüzölçümlü), Kunduzlar (2,6 km² yüzölçümlü), Musaözü (0,4 km² yüzölçümlü) ve Kaymaz (0,2 km² yüzölçümlü) Baraj Gölleri bulunmaktadır.

Eskişehir ilinin genel coğrafi yapısı; Sakarya ve Porsuk havzaları ile bu havzaları çevreleyen dağlardan oluşur. Bu nedenle, il toprakları ana vadiler ve bu vadilerle birleşen çok sayıda küçük vadilerce parçalanmış durumdadır. Havzanın sularını toplayan Sakarya Irmağı'nın aktığı vadi, "Sakarya Vadisi" adını alır. Bu vadi, Sakarya Irmağı'nın ilk kaynak alanlarında, yani Türkmen Dağı kütesinin doğu uzantıları üzerinde dar ve derindir. Seyitgazi yöresinden sonra, vadi tabanı genişler ve doğuda Ankara il sınırına kadar uzanır. Bu bölümde, vadinin geniş tabanı üzerinde Yukarı Sakarya Ovası yer alır. Sakarya Vadisi, Ankara il sınırı

yakınından kuzeye döner ve Porsuk Çayı ile birleşir. Vadinin bu kesimine Orta Sakarya Vadisi denir.

5.1.2. Topoğrafya ve jeomorfolojik durum

İç Anadolu'nun kuzeybatı köşesinde yer alan Eskişehir ilinin topografik yapısını, Sakarya ve Porsuk havzalarındaki düzlükler ile bunları çevreleyen dağlar oluşturur. Havza düzlüklerini, kuzeyden Bozdağ-Sündiken Sıradağları, batı ve güneyden ise İç Batı Anadolu eşiğinin doğu kenarında yer alan Türkmen Dağı, Yazılıkaya Yaylası ve Emirdağ kuşatır (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2003).

Dış etmenlerin uzun süren aşındırmaları sonucu vadiler, genellikle derinleşmiştir. Vadi yamaçları hafif eğimli olup, yamaç aşındırması güçlüdür. Genç oluşumlar dışında tepe sırtlarının basık ve yuvarlak olduğu ilde, kapalı havza durumu pek görülmez.

Eskişehir il alanı, Sakarya Irmağı ile Porsuk ve Sarısu Çayları havzalarını kaplamaktadır. Havzaların denize doğru eğimleri fazla değildir. Bu nedenle akarsular, havzaların yüksek bölümlerinden taşıdıkları maddeleri, alçak kesimlere yığarak çok geniş düzlükler oluşturmuştur. Eskişehir'de ovalar, ovaların çevrelerini kuşatan dağlar ve platolardan oluşan normal bir topoğrafya görülür.

Bölgedeki yükseltiler, kuzeyde; Panet Tepe (960m), Arapöldü Tepe (1047m), Umurlarbayırı Tepe (1008m), Dede Tepe (1115m), güneyde; Büyükdülüçe Tepe (1008m), Çengel Tepe (942m), Bozyamaç Tepe (869m), Yıldız Tepe (941m) ve Taşlı Tepe (944m)'den oluşur.

Eskişehir kent sınırları içinde, alüvyon yamaç molozu, çakıllı kil, kireçtaşı, konglomera-kumtaşı ve yer yer marn-kiltaşı gözlenen litolojilerdir. Bu sınırlar içinde, Porsuk Çayı ve yan kollarının meydana getirdiği alüvyon oldukça geniş alanları kaplar. Bu alanların topoğrafyası düzdür.

Sonuç olarak, Eskişehir aktif bir heyelan, kaya düşmesi gibi olayların gözlenmediği jeolojik bir yapıya sahiptir.

5.1.3. İklim ve meteoroloji

Eskişehir, İç Anadolu, Batı Karadeniz ve Akdeniz iklimlerinin etki alanı içinde olması nedeniyle, kendine özgü bir iklime sahiptir. Yıllık sıcaklık ortalaması, 10,9°C'dir. Aylık ortalamaya göre yılın en soğuk ayı, -2°C ile ocak

ayıdır. Aralık ayının ortalarından, şubat ayının ortalarına kadar çok soğuk günler ve don olayları yaşanır. -10°C ile -25°C arasında değişen derecelere rastlanabilir. Mart ayında daha çok don olayına rastlanır. Baharın ikinci yarısında en yüksek sıcaklık, 20°C 'nin üstüne çıkar. Haziran, temmuz ve ağustos aylarında en sıcak günler yaşanır. En düşük sıcaklık 10°C - 15°C dir. Temmuz ayının ikinci yarısı ile ağustos ayının ilk yarısında en yüksek sıcaklık, 30°C - 40°C arasında değişir (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2003).

Burada, kara iklimi özelliğini gösteren en belirgin olay, aynı zamanda gece ile gündüz sıcaklığında 12°C ile 29°C arasında büyük sıcaklık farklarının olmasıdır. Sonbahar mevsimi, sıcaklığın 20°C 'nin altına düşmesiyle, ağustos ayının ikinci yarısından itibaren kendini belli eder. Eylül ayının sonunda sıcaklık, 0°C 'ye kadar inebilir. En yüksek sıcaklık ise, yine eylül ayı içinde, yazın devamı olarak 20°C ile 30°C arasında oynayabilir. Ekim ayında ortalama sıcaklık, 10°C civarında seyrederek.

Eskişehir'de yağışlar, kışın kar ve yağmur halinde görülür. Aralık ayından itibaren yağışlar daha çok kar şeklindedir. Nisan ayı sonundan itibaren havalar ısınmaya başlar. Eskişehir'de bahar yağmurları, batı ve güneybatıdan gelerek, sağanak halinde düşer. Yıllık ortalama yağış miktarı $378,9 \text{ kg/m}^3$ 'dür. Yıllık yağışın mevsimlere göre dağılışı; kış %31,59, ilkbahar %31,06, yaz %9,98 ve sonbahar %27,37 şeklindedir. Yılın yaklaşık 111 günü yağışlı geçer. Ortalama bağıl nem %67'dir. Temmuz ve ağustos aylarında, Akdeniz yaz kuraklığı özelliklerini gösterir. Ancak çok hafif olarak, Karadeniz yaz yağmurlarını da alır. Ekim ayında yağmur, kasım ayında sulu karın yağması, kışın başladığını gösterir.

Eskişehir'de rüzgarlar, kışın doğudan batıya eser. Baharın ilk aylarında kuzeybatı rüzgarları hakimdir. Baharın sonunda güneybatı, batı ve kuzeybatıdan gelen rüzgarlar görülür. Yaz mevsiminde bazen geçici olarak günlük şiddetli doğu rüzgarları da görülebilir. Sonbaharda ise, eylül sonundan itibaren doğu, kuzeydoğu ve güneydoğu rüzgarları ortaya çıkar. Eskişehir'de rüzgarlar, I. derecede Batı'dan, II. derecede Doğu'dan, III. derecede ise Kuzeybatı'dan esmektedir.

5.1.4. Bitki örtüsü

Eskişehir'in bitki örtüsünü İç Anadolu stepleri, Kuzey Anadolu ve Batı Anadolu ormanları oluşturur. İlin büyük bölümü bozkırlarla örtülüdür. Arazilerin %22'sini ormanlık bölgeler oluşturur. Ormanlık arazi deniz seviyesinden 900 m yüksekliklerden sonra başlar. Sündiken Dağları'nın, Porsuk Vadisi'ne bakan güney yamaçlarında, 1000 metreden sonra meşe çalılıkları, daha sonra da bodur meşeler görülür. 1300 metreden sonra yer yer karaçamların göze çarptığı Sündiken Dağları'nın, Türkmenbaba, Eşekli Türkmen Tepesi ve Bozdağ'ın Sakarya Vadisi yönü incelenirse, karaçamla kaplı olduğu gözlenir. Burada karaçamların arasında, kızılçamlar da görülür. Taştepe ve Mihaliççik civarına kadar sarıçamlar yer alır. Yapıldak civarındaki çam ormanları arasında, yüksek meşeler görülür. Eskişehir'in güneyindeki platolarda ve Çifteler Ovası'nda orman yoktur, fakat karakteristik step bitkileri vardır. Sarısu Porsuk Vadisi'nin bitki örtüsünü, yumak, yavşan ve kekik oluşturur. Porsuk ve Keskin Dereleri'nin kenarlarındaki bitki örtüsü ise, söğütler, kavaklar, karaağaçlar ve koruluklardan oluşur (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2003).

5.1.5. Nüfus dağılımı

Eskişehir'de nüfus yoğunluğu il düzeyinde, 44 kişi/km² ile, Türkiye ortalamasının altındadır. Ancak, nüfus, önemli birer tarım alanı olan ovalarda toplanmıştır. Kentsel nüfus oranı %67 ile oldukça yüksek olup, bunun %85 kadarı kent merkezinde yaşamaktadır. Çifteler ve Sivrihisar dışındaki ilçe merkezlerinin nüfusları 4-5 bin dolayındadır. Nüfus artış oranı da % 18,7 ile Türkiye ortalamasının altındadır. İl Merkezi dışında, bazı ilçelerde nüfus çok yavaş artmakta, bazı ilçeler ise nüfus kaybetmektedir (http-6).

Eskişehir nüfusu 2000 yılında yapılan son nüfus sayımı sonuçlarına göre 706.009 kişidir. Çizelge 5.1'de yıllar itibariyle Eskişehir ili nüfus sayım sonuçları ve yıllık nüfus artış hızları gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Yıllar itibariyle Eskişehir İli nüfus sayım sonuçları (TÜİK, 2002)

| SAYIM YILI | TOPLAM NÜFUS | MERKEZ NÜFUS | YILLIK NÜFUS ARTIŞ HIZI (%) |
|------------|--------------|--------------|-----------------------------|
| 1927 | 154.195 | 41.327 | |
| 1935 | 183.205 | 56.730 | 21,55 |
| 1940 | 206.794 | 70.894 | 24,22 |
| 1945 | 244.251 | 90.593 | 33,29 |
| 1950 | 276.164 | 100.724 | 24,56 |
| 1955 | 323.511 | 138.314 | 31,65 |
| 1960 | 368.827 | 176.360 | 26,22 |
| 1965 | 415.101 | 200.332 | 23,64 |
| 1970 | 459.367 | 245.905 | 20,27 |
| 1975 | 495.097 | 292.110 | 14,98 |
| 1980 | 543.802 | 343.923 | 18,77 |
| 1985 | 597.397 | 404.236 | 18,80 |
| 1990 | 641.057 | 477.436 | 14,11 |
| 2000 | 706.009 | 557.028 | 9,61 |

5.1.6. İmar durumu

Eskişehir ili'nin zaman içindeki gelişimi, diğer bir çok Anadolu ilinin de gelişmesinde etkin olan, oldukça karakteristik bir dizi dinamiklerin etkisinde gerçekleşmiştir. İl eski tarihlerde, verimli bir ovaya bakan ve savunma açısından avantajlı olan bir tepe yamacında kurulmuştur (Eskişehir Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, 2001).

Cumhuriyet'in ilk yıllarında demiryolunun ovadan geçmesi ile birlikte, il makroformunun ilk yerleştiği yamaçtan ovaya doğru inerek yayılma süreci hızlanmış ve istasyon bu süreçte, önemli bir çekim noktası oluşturmuştur.

Halen kentsel ölçekte önemli bir demiryolu kesişim noktası olan Eskişehir, İstanbul'dan gelen demiryolu ile Afyon-Konya ve Ankara olmak üzere iki ana kola ayrılır. Eskişehir'de ulaşımın iyi olması, daha büyük merkezler olan Ankara, İzmir ve İstanbul ile Orta Anadolu ve Batı Anadolu'daki yerleşim merkezleri arasında iletişimi sağlamakta ve kendi etki alanındaki ekonomik faaliyetleri düzenlemektedir.

Kent, belli bir gelişme seviyesine kadar merkezi iş alanının çevresinde dairesel olarak gelişmiş, ancak 1950'lerde tüm ülkenin de içine girdiği sanayileşme sürecinin etkisiyle, kentleşme hızlanmış ve bu makroform bozularak mekanda genişleyen bir büyüme sürecine girilmiştir.

Bu dönemde “mekansal gelişme” yi kontrol altına alabilmek ve sağlıklı bir kentsel gelişmeye çevirebilmek için bir imar planı gereği belirmiştir. 1952 yılında

ilin ilk imar planı hazırlanmıştır. 1953 yılından sonra ortaya çıkan gelişmeler planın kestirimlerinin çok üzerinde gerçekleşmiş ve kent, plan sınırlarının çok dışına taşmıştır.

Kentsel gelişmenin ve nüfus artışının sonunda 1952 imar planı 1970'lerde ihtiyaca cevap vermekten uzak kalmış ve yeni bir planın hazırlanması ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaca cevap vermek için 1978 yılında yeni bir imar planı hazırlanmıştır. 1978 planı kentin çekirdek büyümesini kırmış ve doğrusal gelişimi öngörmüştür. Bu doğrusal gelişim içinde Organize Sanayi Bölgesi, hem sanayi faaliyetleri, hem de bunlara bağlı konut ihtiyaçlarının yer seçimi açısından önemli bir odak oluşturmuştur. Bu plan yıllar içinde yerleşmiş arazi kullanımı yapısına uyum sağlamakta yetersiz kaldığı ve uygulamada güçlüklerle karşılaştığı için 1985'de güncellenmiştir.

1985'de başlanıp, 1987'de tamamlanan ve 2000 yılını hedef alan imar planı 1978'deki planın güncellenmiş halidir. 1978 planının önerileri kabul edilerek, bu önerileri geliştirme yolu seçilmiştir. Bu plan kentsel gelişme alanları olarak doğu ve batı istikametlerini göstermiş ve kent içindeki sanayi kuruluşlarının kent dışına alınması politikasını öngörmüştür.

Eskişehir'in kentinin biçimi tek merkezli dairesel kentlerin gelişme modelinin ana özelliklerini taşımakla birlikte, çizgisel gelişmeye de açıktır. Kuzeybatı yönünde, İstanbul karayolu üzerinde yer alan küçük sanayi sitesi ile güneydoğu yönünde, Ankara karayolu üzerinde yer alan Organize Sanayi Bölgesi'nin kentin gelişmesini çizgisel yönde etkilediği söylenebilir (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2003).

5.1.7. Ekonomik durum

Orta Anadolu'nun batıya açılan kapısı olarak tanımlanan Eskişehir; ulaşım kolaylığı, enerji olanakları, uygun tarımsal yapısı ve zengin maden kaynaklarının yanısıra sanayide de oldukça gelişmiş kentlerden birisidir. Kent nüfusunun kırsal nüfusa göre hızla büyümesi, yetiştirilmiş bir iş gücü potansiyelinin varlığı, ilin coğrafi bakımdan iç pazarlara yakınlığı, enerji ve hammadde kaynaklarının uygunluğu, sanayi için gerekli altyapı yatırımlarının yeterli olması ve ulaşım kolaylıkları, bölge sanayisinin giderek gelişmesini sağlamıştır ([http-6](http://6)).

Cumhuriyetten önce ekonomisi genelde tarıma dayalı olan Eskişehir'de 1894'te Almanlar tarafından Lokomotif ve Tamir Atölyesi kurulmuş ve bu atölye 1924 yılında TCDD işletmesine devredilmiştir. Cumhuriyetten sonra 1933 yılında Şeker Fabrikası ve ona bağlı olarak Makine Fabrikası, 1965 yılında Sümerbank Basma Sanayi Müessesesi kurulmuştur. Şeker Fabrikasına bağlı Makine Fabrikası 1969 yılında ayrı bir kuruluş haline gelmiştir. Bu fabrikalar bölge sanayisinin gelişmesi ve dolayısıyla ekonominin canlanmasını sağlamıştır. Kamu sektörünün yanı sıra, özel sektör de çeşitli alanlarda faaliyet göstermeye başlamış, Toprak Sanayi, Un ve Mamülleri Sanayi, Ağaç Sanayi, Çimento ve Mamulleri ile Çelik Eşya Sanayi ve Makine Sanayi gelişmiştir. Sanayinin daha ekonomik ve rahat çalışabilmesi için Organize Sanayi Bölgesi ve Küçük Sanayi Sitesi gibi sanayi alanları oluşturulmuştur. Ayrıca, 1985 yılında temeli atılarak yapımına başlanan F-16 Uçak Motor Fabrikası (TUSAŞ) 10 Haziran 1987 yılında açılışı yapılarak üretime başlamıştır.

Eskişehir'de mevcut sanayi içinde Makine İmalat Sanayi, ekonominin can damarı gibidir. Gayri Safi Milli Hasılası (GSMH) içinde bu sektörün payı % 25'tir. Aktif nüfusun % 30 u geçimini bu sektörden sağlamaktadır. Gıda sanayi ile taş ve toprağa dayalı imalat sanayi en fazla katma değer üreten ikinci ve üçüncü sektör durumundadır. Bu üç sektörün toplam payı % 90'dır.

Ayrıca Eskişehir bisküvi üretimi ve soba üretiminde de, ülke genelinde ağırlıklı bir paya sahiptir ([http-6](#)).

5.1.8. Eğitim durumu

Eskişehir'in önemli bir kavşak noktasında bulunması, ekonomik yapı ile birlikte sosyal kurumların da gelişmesine yol açmış, eğitim de bu etkileşimden en büyük payı almıştır. Modern tarım ve sanayiye adım atması ile birlikte okur yazarlık oranı %95'e ulaşmış, Türkiye ortalamasının çok üstünde gerçekleşmiştir ([http-6](#), [http-7](#)).

Eskişehir kent merkezinde 2006-2007 öğretim yılında 147 ilköğretim okulu bulunmaktadır. Öğrenci sayısı ilköğretimde 76.361, okul öncesinde 5.111 dir. Öğretmen sayısı ise okul öncesinde 211, ilköğretimde 3.574 dür. 2006-2007 öğretim yılında Eskişehir'de 46 genel lise, 33 mesleki ve teknik lise olmak üzere

79 ortaöğretim okulu bulunmaktadır. Bu okullarda, genel liselerde 18.147, mesleki ve teknik liselerde 14.604 olmak üzere 32.751 öğrenci eğitim ve öğretim görmektedir. Orta öğretimde görev yapan öğretmen sayısı; genel liselerde 1227, mesleki ve teknik liselerde 1232 olmak üzere 2.459'dur (Eskişehir Milli Eğitim Müdürlüğü, 2007).

Kentin en eski yüksek öğretim kurumu olan İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi (İTİA) 1958'de açılmıştır. 1982 yılında Yüksek Öğretim Kurumları'nın yeniden yapılanması sonucu Anadolu Üniversitesi kurulmuş ve sürekli gelişerek ülkemizin en büyük üniversitelerinden biri haline gelmiştir. Daha sonra 18 Ağustos 1993 tarihinde 496 sayılı K.H.K. ile Osmangazi Üniversitesi adı ile ikinci üniversite kurulmuştur. Anadolu Üniversitesinde 12 fakülte, 10 yüksek okul, 1 devlet konservatuarı ve 9 enstitü bulunmaktadır. Osmangazi Üniversitesi bünyesinde ise 6 fakülte, 3 enstitü, 3 yüksekokul bulunmaktadır (<http-8> ve <http-9>).

5.2. Eskişehir Kenti Mevcut Katı Atık Durumu

Türkiye'de kentsel katı atıklarla ilgili sorumluluk bugüne dek ağırlıklı olarak belediyelere verilmiştir. Ülkemizde iki farklı belediye kanunu bulunmaktadır. Bunlar, Belediyeler ve Büyükşehir Belediyeleri kanunudur. Büyükşehir Belediyelerinde katı atıkları toplama görevi İlçe ve Alt Kademe Belediyelerine, bertarafı ise, Büyükşehir Belediyelerine aittir. Bu durum uygulamada zorluklar çıkarmaktadır. Özellikle bertaraf sistemlerinde, entegrasyon için 2004 yılında kabul edilen Büyükşehir Belediyeleri kanunda Büyükşehir Belediyelerine "Katı Atık Yönetim Planı" yapma yetki ve sorumluluğu verilmiştir. İlçe ve Belde Belediyeleri Büyükşehir Katı Atık Yönetim Planı çerçevesinde çalışmak zorundadırlar. Ülkemizde belediyeler katı atık toplama işini kendi bünyelerinde oluşturdukları birimlerle (Temizlik İşleri Müdürlüğü) yürütmektedirler. Katı atık toplama işini özelleştiren belediyeler ise sadece denetim görevini yapmaktadır (Kulaç, 2006).

Eskişehir'de iki alt belediye (Tepebaşı ve Odunpazarı) tarafından atıkların hemen hemen tamamı karışık olarak toplanmaktadır. Ancak, 24 Haziran 2007 tarihinde yürürlüğe giren Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği ile birlikte belediyeler pilot bölgelerde geri kazanım çalışmalarına başlamıştır.

Eskişehir’de günde yaklaşık olarak 750 ton kentsel katı atık oluşmaktadır. Atıklar, Seyitgazi yolu üzerindeki vahşi depolama sahasında bertaraf edilmektedir. Atıklar kentten sahaya, asfalt kaplı yol ile ulaşmakta, sahaya girişte toprak yol başlamaktadır. Sahanın girişinde kantar ve kontrol işleri için bir bina bulunmakta ve bu binada 1 kişi sürekli olarak kontrol ve tartım işlerini yapmaktadır. 24 saat çöp dökümüne açık olan sahada, tamamıyla sağlıklı koşullar altında, çeşitli kişiler tarafından geri kazanım işlemi yapılmaktadır. Sahaya çöpler döküldükten sonra sözü edilen kişiler tarafından geri kazanılabilir nitelikteki atıklar ayrılarak bir kepçe yardımıyla vadiye boşaltılmaktadır. Sahaya, iki alt belediyenin ve onlara bağlı olarak çalışan iki ayrı taşeron firmanın araçları ile kentten toplanan kentsel nitelikli atıkların dışında, sağlık kuruluşlarının tıbbi atıkları ve sanayi kuruluşlarının endüstriyel nitelikli atıkları da gelmekte, dolayısıyla, kentsel atıklar yanında, tehlikeli, toksik ve enfekte atıklar bir arada bulunmaktadır.

Mevcut vahşi depolama sahasının iyileştirilmesi ve yeni düzenli depolama sahasının yapılması için Büyükşehir Belediyesi tarafından resmi işlemler başlatılmış ve ilgili kurumlardan görüş alınarak, proje sahasına Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından ‘Yer Seçimi Uygunluğu’ kararı verilmiştir. Yeni depolama sahası olarak mevcut sahanın yanındaki bölge belirlenmiştir. Söz konusu alanın yaklaşık 10 ha büyüklüğündeki kısmında tek hücre halinde, 10 yıllık projeksiyon dahilinde 2018 yılında 3.424.148 m³ katı atığın depolanabileceği planlanmıştır.

5.2.1. Kentsel katı atıklar

Eskişehir’de atıklarla ilgili bu tez çalışmasına kadar kapsamlı ve sistematik olarak yapılan tek çalışma bir Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi’dir. Bu proje, “Anadolu Üniversitesi Yunussemre ve İki Eylül Kampüsleri Atıklarının Karakterizasyonu ve Değerlendirilebilirlik Seçeneklerinin İncelenmesi” başlıklı olup, 1 yıl boyunca her iki kampus atıklarıyla yapılan deneysel analizlerden ve kampusler bünyesinde yapılan geri kazanım çalışmalarından oluşmaktadır (Banar ve ark., 2003; Banar ve Özkan, 2005).

5.2.2. Tıbbi atıklar

Kentin mevcut katı atık sorununun yanında, insan sağlığı için çok büyük riskler yaratabilecek tıbbi atıkların bertarafı problemi de dikkat çekmektedir. Konumu ve hastane yapıları nedeniyle civar illerden birçok hastası bulunan toplam 3000 yatak kapasiteli Eskişehir hastaneleri, yaklaşık olarak günlük 1100 kg, yıllık 401 ton tıbbi atık üretmektedir. Bu atıkların büyük bir kısmı Osmangazi Üniversitesi Eğitim, Uygulama ve Araştırma Hastanesi (%31) kaynaklı olup, toplam miktara katkısı olan iki yüz yatak kapasitesinden büyük dört hastane daha [Eskişehir Yunussemre Devlet Hastanesi (%23), Devlet Hastanesi (%16), Devlet Doğum ve Kadın Hastalıkları Hastanesi (%5), Hava Hastanesi (%2)] Eskişehir ve bölge halkına hizmet vermektedir. Bu hastanelerin yanı sıra 6 adet resmi, 17 adet özel sağlık kuruluşu ve 17 adet sağlık ocağı vardır. Ayrıca, Tabipler Odası, Diş Hekimleri Odası ve Eczacılar Odası'ndan alınan bilgilere göre kentte 270 adet muayenehane, 182 adet diş hekimisi muayenehanesi ve 270 adet eczane bulunmaktadır (Özkan ve ark., 2005a).

Eskişehir'de tıbbi atıklar, Büyükşehir Belediyesi'ne ait, içinde 8 adet 75L'lik konteynerler bulunan 1 adet tıbbi atık aracıyla toplanmaktadır. Atıklar hiçbir ön arıtım işlemine tabi tutulmadan, Eskişehir-Seyitgazi yolundaki vahşi katı atık depolama sahasında, kentsel atıklardan ayrı olarak depolanmaktadır. Aracın düzenli bir toplama programı ve günlük olarak takip ettiği sabit bir rota yoktur.

Mevcut sahada tıbbi atıklar için ayrı bir döküm yeri bulunmakla ve tıbbi atıkların bir kısmı sahaya atık torbaları ile getirilmekle birlikte, sahanın mevcut koşulları nedeniyle tıbbi atıklar dağınık ve çevre için olumsuz etkilere neden olacak şekilde depolanmaktadır.

5.2.3. Endüstriyel atıklar

Eskişehir Çevre ve Orman Müdürlüğü ile yapılan kişisel görüşmelere göre, Eskişehir'de faaliyet gösteren firmalardan 2006 yılında çıkan toplam endüstriyel atık miktarı yaklaşık 213.000 tondur. Sanayi kuruluşları ve Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı atıklarını kendi araçları ile Büyükşehir Belediyesi'nin Kırtık-Şahindere mevkiindeki çöp sahasına getirmektedir. Bazı kuruluşlar kendi atıkları içerisindeki geri kazanılabilir maddelerini diğer atıklardan ayrı olarak

toplayıp değerlendirmekte ve tehlikeli ve zararlı atıklarını kendileri bertaraf etme yoluna gitmektedirler (Şahin 2002).

5.3. Kentsel Katı Atık Toplama ve Taşıma Sistemi

Eskişehir'deki kentsel katı atıklar, iki alt belediyenin (Tepebaşı ve Odunpazarı) ve onlara bağlı olarak çalışan iki ayrı taşıeron firmanın araçları ile toplanmaktadır. Her iki belediyenin taşıeron firmalarıyla yapılan kişisel görüşmeler sonucu mevcut atık toplama ve taşıma ile ilgili aşığıdaki bilgiler elde edilmiştir:

- Her iki belediyede de toplama işleme önce, ana caddelerden başlanmakta, sonra caddeye dik olan sokaklardaki ve caddeye paralel olan sokaklardaki atıklar toplanmaktadır.
- Tepebaşı Belediyesi'ndeki kentsel katı atıklar 21 adet sıkıştırılmalı araçla haftanın her günü toplanmaktadır. Bir araçta, biri şoför, ikisi atık toplama elemanı olmak üzere 3 kişi çalışmaktadır. Araçların düzenli bir toplama programı ve günlük olarak takip ettiği sabit bir rota yoktur. Bir günde araçlar yaklaşık olarak 85-90 litre mazot harcamaktadır. Bölgede oluşan atık miktarı ortalama 300-350 ton/gündür.
- Odunpazarı Belediyesi'ndeki kentsel katı atıklar ise; 4 adet tank taşıyıcı, 12 adet 15 m³'lük sıkıştırılmalı, 1 adet 12 m³'lük sıkıştırılmalı ve 1 adet 8,5 m³'lük sıkıştırılmalı araçla toplanmaktadır. Toplama işlemi haftanın belli günlerinde yapılmakta olup; bazı araçlar, günde 2 sefer yapmaktadır. Bir araçta, biri şoför, ikisi atık toplama elemanı olmak üzere 3 kişi çalışmaktadır. Araçların düzenli bir toplama programı ve günlük olarak takip ettiği sabit bir rota yoktur. Bir günde araçlar yaklaşık olarak 70-80 litre mazot harcamaktadır. Bölgede ortalama olarak günde 350-400 ton atık toplanmaktadır.

5.4. Eskişehir Katı Atık Depolama Sahasının Özellikleri

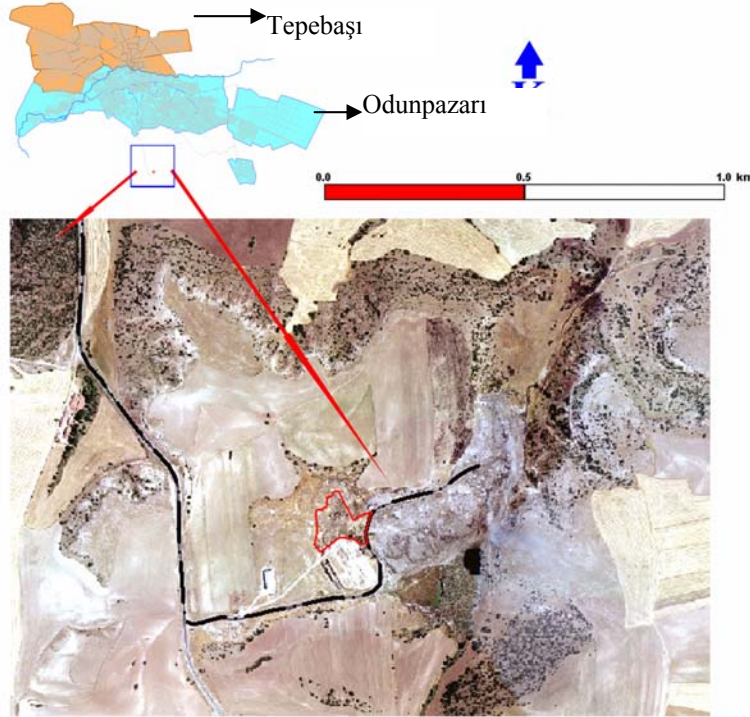
Eskişehir vahşi katı atık depolama sahası kentin güneydoğusunda, Eskişehir Seyitgazi yolu üzerinde, kent merkezine 10 km ve Yenikent Toplu

Konut Alanı'na 4 km mesafede yer almaktadır. Sahaya ait hava fotoğrafı Şekil 5.1' de verilmiştir.

1986 yılından beri çöplerin düzensiz olarak döküldüğü bu sahaya, günde yaklaşık 750 ton kentsel katı atık gelmektedir. Gelecekte düzenli atık depolama sahası olarak projelendirilmesi düşünülen alan 164 hektar olup, 15 hektarlık bir alan şu anda kullanılmaktadır. Yaklaşık 4,5 milyon m³ hacme sahip atık kütlesi ile kaplı olan mevcut saha, 50 m derinliğindeki bir vadinin yamacında yer almaktadır.

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılan çalışmada sahadaki oluşumun kalker olduğu görülmektedir. Sahaya yaklaşık 4-5 km mesafede bulunan E-tipi cezaevi alanında yapılmış bulunan sondajlarda, Yeraltı Su Seviyesi (YASS)'nin 40-50 m' de bulunduğu belirtilmiştir.

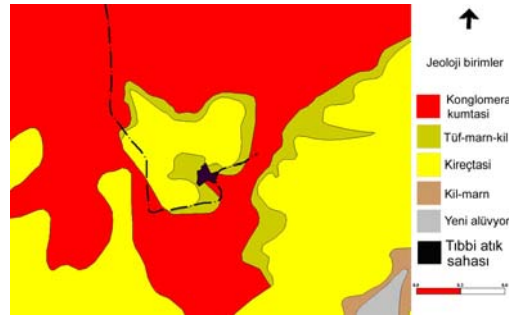
Sahanın çevresinde birkaç küçük kuyu, az debili memba ve atıkların zamanla su akışını kesmesiyle oluşmuş bir gölet mevcuttur. Bu göletin yüzeyi gerek rüzgar, gerekse atık dökümü etkisiyle atıklarla kaplanmıştır. En derin yerinin 1,5-2 m olduğu bilinmektedir. Sahanın çevresi henüz çit veya benzer bir fiziksel engel ile çevrilmediği için, sahaya insan, küçük ve büyükbaş hayvan girişi kaçınılmazdır.



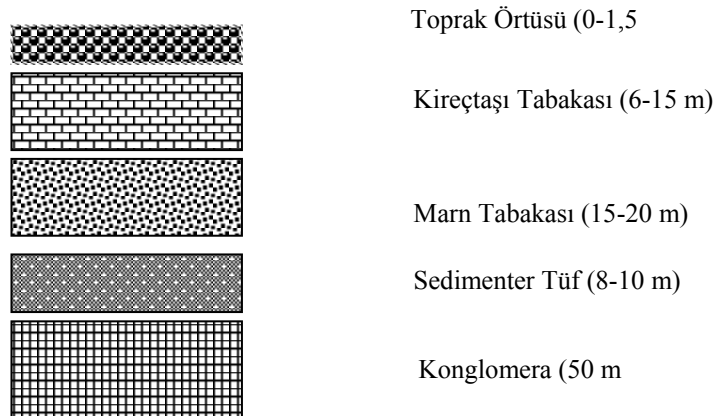
Şekil 5.1. Depolama sahasının konumu (Özkan ve ark. 2005b)

Sahanın yakın çevresinde herhangi bir yapılaşma olmayıp, az sayıda ve ekim yapılmamış tarım arazileri bulunmaktadır. Yaklaşık 500 m'lik bir mesafede Asri Mezarlık bulunan sahanın bir kısmı şahıs arazisi olup, diğer kısımları hazineye ait orman arazisi (çalı kaplı) olarak görünmektedir. Sahada kendiliğinden oluşan küçük çöp yangınları gözlenmekle birlikte, koku ve sinek problemi muhtemelen rüzgar nedeniyle şimdilik çok azdır.

Atık depolama sahalarının jeolojik durumu hem başlangıç maliyetleri hem de işletme süresince ortaya çıkabilecek çevresel zararların en aza indirilmesi açısından çok önemli olduğundan, genellikle killi zeminler tercih edilir. Eskişehir katı atık depolama sahasının jeolojik yapısı, Şekil 5.2. ve Şekil 5.3'de verilen litolojik kesitten de görüleceği gibi, konglomera, sedimenter tuf, marn-kil ve kireçtaşı tabakaları ile temsil edilmektedir (Özkan ve ark. 2005b).



Şekil 5.2. Depolama sahasının jeoloji haritası

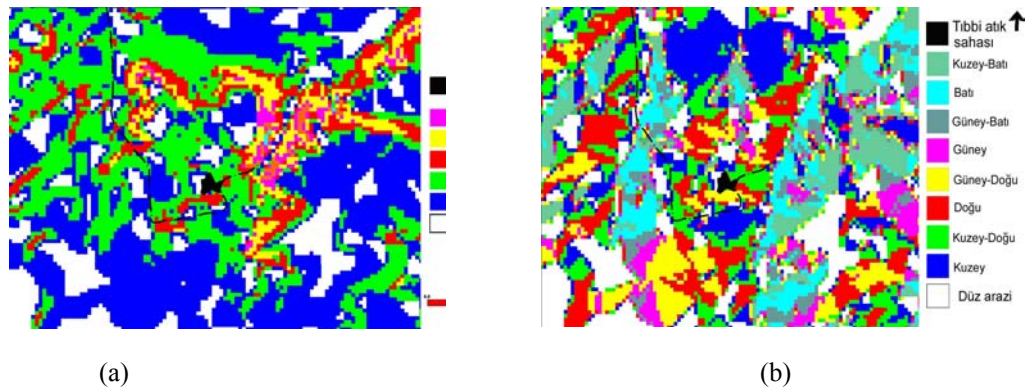


Şekil 5.3. Depolama sahasının litolojik kesiti

Mevcut depolama sahası konglomera-kumtaşı (Mamuca Formasyonu) üzerinde yer almaktadır. Kayaç, bağlayıcı maddesi kil (montmorillonit şişme özelliği gösteren) olan bazik karakterli çakıllardan oluşur. Kilin sertlik derecesi oldukça yüksektir. Derinlere inildikçe konglomera-kumtaşı tabakalarının süreksizlikleri artmaktadır. Killi birimler geçirimsizliği, iletkenliği en düşük olan jeolojik birimlerdir ve önemli miktarda yeraltı suyu içermez. Fakat bu killer (montmorillonit) absorpsiyon özelliğine sahiptirler. Bu özellikleri yeraltındaki kirletici suları bünyelerinde depolamalarına neden olacağından, istenmeyen bir durumdur. Kireçtaşı tabakaların (Porsuk Formasyonu) eğim yönü güneydoğudur. Yağış sonrasında sızıntı sularının yeraltındaki tahmini hareket yönü tabakaların yüzeyine paralel ve tabakaların eğim yönünde hareketine neden olacağından, hareket yönünün tahminen kuzey, kuzeydoğu ve güneydoğu istikametinde gerçekleşebileceği düşünülmektedir (Özkan ve ark. 2005b).

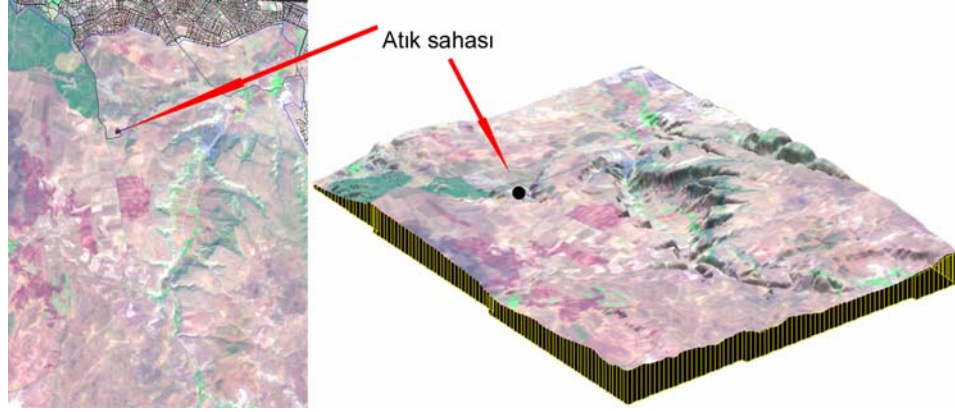
Sayısal arazi modeli (SAM) kullanılarak saha için hazırlanan eğim haritası (Şekil 5.4.a) incelendiğinde katı atık depolama sahasının yer aldığı bölgenin eğiminin genellikle düz olduğu ve eğim açısının yaklaşık 0-5° arasında değiştiği görülmektedir. Fakat atıkların boşaltıldığı yerdeki vadinin eğim açısı yaklaşık 5-25° arasındadır. Şekil 5.1'deki hava fotoğrafında da görüldüğü gibi depolama sahası zamanla vadiye kadar ilerlemiştir.

Şekil 5.4.b'de verilen bakı haritası incelendiğinde ise, Eskişehir'in topoğrafyasının genel eğim yönünün kuzey ve kuzeydoğu yönlü olduğu görülmektedir. Uydu görüntüsünde de (Şekil 5.5) atık depolama sahasının kuzeyine doğru topoğrafyanın yüksekliğinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.4. (a) Depolama sahasının eğim haritası

(b) Depolama sahasının bakı haritası



Şekil 5.5. Depolama sahasının uydu görüntüsü (Landsat RGB/741)

Depolama alanının denizden yüksekliği 950m ile 1000m arasındadır. Atıkların depolandığı bölge ile Porsuk Havzası arasındaki kot farkı ise yaklaşık 150m'dir. Bu sebeple depolama sahasındaki yeraltı suyu ve yüzey sularının akışının, topoğrafyanın eğimi yönünde kuzeye doğru gerçekleştiği düşünülmektedir. Sızıntı sularının yüzeysel akışı, topoğrafyanın eğimine bağlı olarak drenaj ağları boyunca mevcut sahanın kuzeyine ve şehrin doğusundaki Organize Sanayi Bölgesi'ne doğru olacaktır.

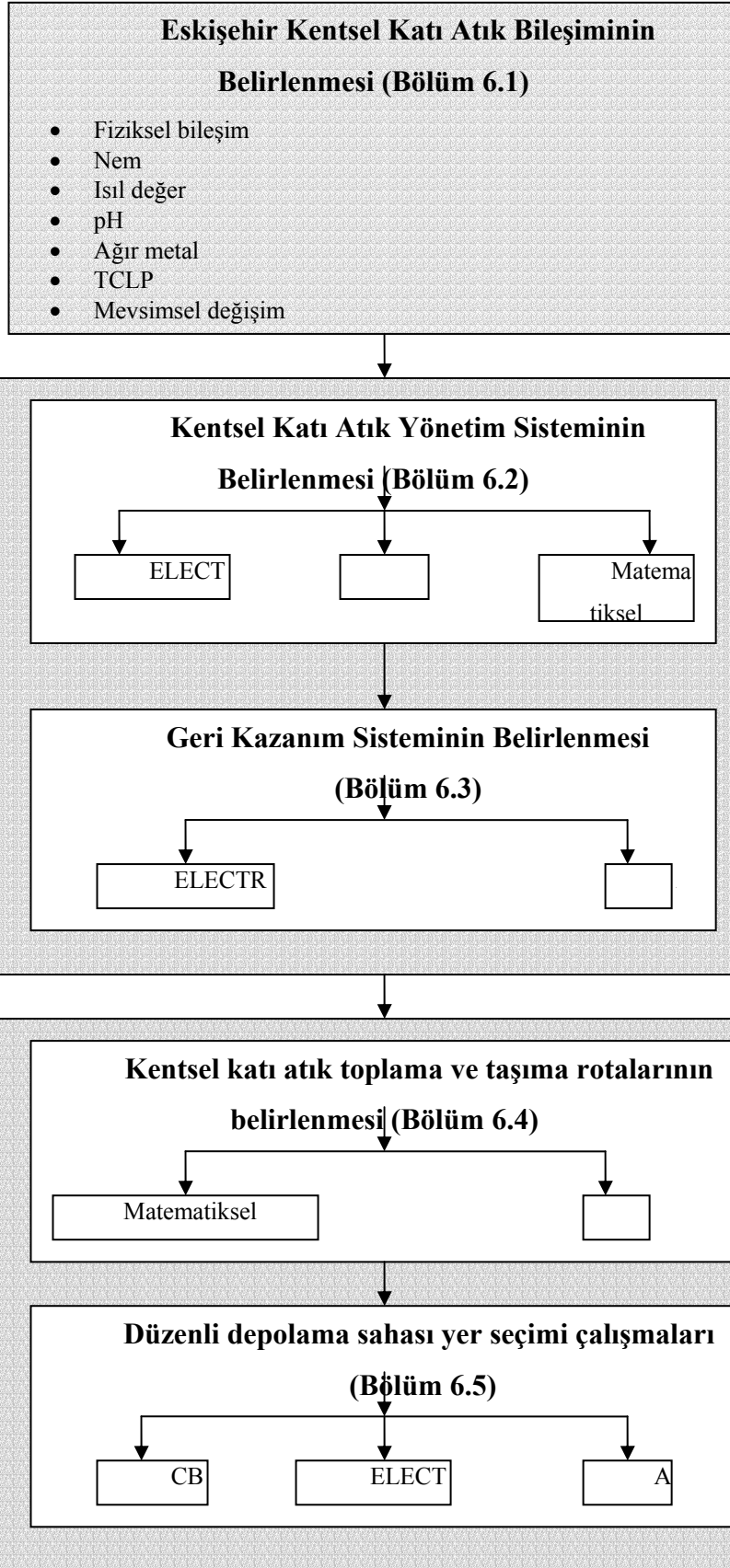
Bir katı atık depolama sahasının en önemli özelliklerinden birisi de hakim rüzgar yönüdür. Eskişehir'de hakim rüzgarlar kuzeybatı yönlü olmasına karşın, kış ve sonbahar aylarında doğudan ve güneydoğudan batıya doğru esen rüzgar, mevcut katı atık depolama sahasında yer alan kirli havanın kent merkezine doğru hareketine neden olmaktadır. Rüzgarın kuzeybatı yönlü esmesi durumunda ise, şehrin doğusu ve güney doğusunda kalan yerleşim yerlerinin sahadan kaynaklanan kötü kokudan olumsuz yönde etkilenmeleri söz konusudur.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Sürdürülebilir bir entegre atık yönetim sistemi oluşturulmasının ele alındığı bu doktora tezinde;

- Eskişehir kentsel katı atıklarının bileşimini belirleyebilmek amacıyla, 13 Ekim 2005 tarihinden başlayarak 1 yıl süresiyle atık karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu süre içerisinde 64 bölgeden her hafta alınan katı atık örneklerinde nem, pH, ısıl değer, ağır metal ve besi elementleri analizleri yapılmıştır.
- Eskişehir kentsel katı atık yönetim sistemi için oluşturulan beş farklı senaryo Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) ve ELECTRE III yöntemleri ile ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.
- Entegre katı atık yönetim sisteminin geliştirilmesinde yerel yönetimlerin karar vermesine yardımcı olmak amacıyla, Lingo 9.0 yazılımıyla bir karar destek sisteminin yapısı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen atık karakterizasyonu sonuçlarına göre, Eskişehir’de en uygun geri kazanım sisteminin oluşturulması amacıyla, beş farklı geri kazanım sistemi senaryosu oluşturulmuş ve bu senaryolar Analitik Serim Süreci (ANP) ve ELECTRE III gibi çok ölçütlü karar verme teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir.
- Belirlenen en uygun geri kazanım sistemi senaryosuna göre, kentsel katı atık toplama ve taşıma rotaları ise CBS ve LİNGO 9.0 yazılımı yardımıyla belirlenmiştir.
- Son olarak, belirlenen en uygun entegre katı atık yönetim sistemine göre, Eskişehir kentsel katı atıklarının depolanabileceği bir düzenli depolama sahasının yer seçimi CBS, UA ve MCDM teknikleri yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmaların akış şeması Şekil 6.1’de gösterilmiş ve aşağıda ayrıntılarıyla açıklanmıştır.



Şekil 6.1. Tezin akış şeması

6.1. Eskişehir Kentsel Katı Atık Bileşiminin Belirlenmesi

Tezde öncelikle, Eskişehir'deki kentsel katı atıklar için oluşturulan farklı atık yönetim senaryolarının (geri kazanım, kompostlama, yakma, düzenli depolama) değerlendirilip, en uygun senaryonun seçilebilmesi için atık bileşiminin belirlenmesi çalışmalarına başlanmıştır. Bu amaçla, 21.12.2005 tarihinde Tepebaşı ve Odunpazarı Belediyeleri ile birer protokol imzalanmıştır. Buna göre, Belediyelerin kentsel atık toplama günlerine göre, haftalık katı atık programları yapılmış ve örnekler, protokol imzalanmadan önce, 13 Ekim 2005 tarihinden itibaren belediyeler tarafından alınarak laboratuvarımıza ulaştırılmaya başlanmıştır. Atık bileşimlerinin mevsime ve sosyo-ekonomik seviyeye göre değişimini belirlemek için 1 yıl süreyle, 64 farklı bölgede, toplam 562 örnek analiz edilmiştir.

Örnekler, Tepebaşı ve Odunpazarı Belediyeleri elemanları tarafından kaldırım kenarlarındaki plastik torbalardan alınarak, laboratuvara ulaştırılmıştır. Aynı mahallenin örnekleri her defasında farklı sokaklardan alınmıştır. Laboratuvara getirilen örneklerin ağırlığı 40-105 kg arasında değişmiştir. Bölgelere göre alınan numune sayıları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Eskişehir kentsel katı atıklarının ortalama bileşimini belirlemek için örnekler elle, kağıt-karton, metal, cam, plastik, yiyecek atığı, kül ve diğer olmak üzere 6 farklı gruba ayrılmıştır. Her bir bileşenin kütlesi tartılarak toplam atık içerisindeki yüzdeleri belirlenmiştir.

Nem miktarının belirlenmesi için numunelerin içindeki metal, plastik, kağıt gibi maddeler ayrılmış ve geri kalan yiyecek ve kül için nem tayini gerçekleştirilmiştir. Isıl değer, pH ve ağır metal analizleri için her bir bileşenin numune içindeki yüzdesine göre küçük miktarlarda alt örnekler hazırlanmıştır. Nem tayinleri hemen yapılmış, diğer analizler için örnekler +4 °C'de saklandıktan sonra analizler en kısa sürede gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçları SPSS 10.0 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Pearson analizi kullanılarak yapılan değerlendirmede, analiz edilen değişkenlerin mevsimsel ve sosyo-ekonomik ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır (Banar ve Özkan, 2007).

Çizelge 6.1. Bölgelere göre numune sayıları

| Bölge kodu | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar |
|--|------------|-----------------|------------|-----------------|
| T _{üst} | 6 | --- | 4 | 2 |
| O _{üst} | 25 | 23 | 18 | 16 |
| Ara toplam | 31 | 23 | 22 | 18 |
| T _{orta} | 59 | 38 | 39 | 32 |
| O _{orta} | 38 | 44 | 26 | 26 |
| Ara toplam | 97 | 82 | 65 | 58 |
| T _{alt} | 5 | 42 | 16 | 27 |
| O _{alt} | 9 | 26 | 10 | 31 |
| Ara toplam | 14 | 68 | 26 | 58 |
| TOPLAM | 142 | 173 | 113 | 134 |
| T _{üst} : Tepebaşı Belediyesi için üst gelir seviyeli bölgeler O _{üst} : Odunpazarı Belediyesi için üst gelir seviyeli bölgeler T _{orta} : Tepebaşı Belediyesi için orta gelir seviyeli bölgeler O _{orta} : Odunpazarı Belediyesi için orta gelir seviyeli bölgeler T _{alt} : Tepebaşı Belediyesi için alt gelir seviyeli bölgeler O _{alt} : Odunpazarı Belediyesi için alt gelir seviyeli bölgeler | | | | |

6.1.1. Nem oranlarının belirlenmesi

Nem tayini TS 10459 sayı ve 10.11.1992 tarihli “Atıklar ve Katı Atıklarda Rutubet Tayini” standardına göre yapılmıştır. Buna göre, numunelerin içindeki metal, plastik, kağıt gibi maddeler ayrılmış ve geri kalan yiyecek ve kül için nem tayini gerçekleştirilmiştir. 80-100 g örnek tartıldıktan sonra petri kabının içinde bir süre oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin boyutu 0,5 mm’ye küçültülmüş ve etüve konulmuş, 75°C sıcaklıkta, en az 24 saat bekletilerek son tartım değerleri alınmış ve nem miktarları hesaplanmıştır.

6.1.2. Isıl değer belirlenmesi

Isıl değer tayini, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki Gallenkamp AutoBomb kalorimetre bombası ile yapılmıştır. Ortalama 1,18 gram olarak alınan örnekler, metal kroze konmuş ve metal kroze bomba içine yerleştirilmiştir. Ateşleme ile yakıt numunesinin yanması sağlanmıştır. Bu sırada termometreden T₁ sıcaklığı okunmuştur. Ateşlemeden sonra 1 dakikalık aralıklarla sıcaklık değerleri okunmuş ve bu işlem, artış sabitleninceye ve iki okuma arası fark 0,01 °C oluncaya kadar, devam etmiştir. Son okunan sıcaklık T₂ olarak kaydedilmiştir.

Numunelerin üst ısıl değeri (H_{üst}) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$H_{\text{ısı}} = [(K\text{onulan su} + K\text{alorimetre sabiti}) * S\text{ıcaklık farkı} - E\text{k ısılar}] / N\text{umune miktarı} \quad (6.1)$$

Konulan su = 2000 ml

Kalorimetre sabiti = 377

Sıcaklık farkı = $(T_2 - T_1)$ °C

Ek ısılar = 15,5 cal

6.1.3. pH tayini

pH tayini TS 12072 sayı ve 03.09.1996 tarihli “Katı Atıklar-pH Tayini” Standardına göre yapılmıştır. Bu standarda göre; numunelerin bileşimini yansıtacak şekilde $\pm 0,01$ g duyarlıkta oluşturulan 1 gramlık örneklerin üzerine 10 ml damıtık su konulup karıştırılmış ve süspansiyondaki parçacıklar çöktükten sonra pH metre ile ölçüm yapılmıştır.

6.1.4. Ağır metal tayini

Katı atık numunelerinden ağır metal iyonlarının tayini amacıyla; TS 12088 sayı ve 15.10.1996 tarihli “Katı Atıklar-Ağır Metal Tayini-Atomik Absorpsiyon Spektrofotometrik Analiz Metodu” Standardı kullanılmıştır. Numunelerin bileşimini yansıtacak şekilde $\pm 0,01$ g duyarlılıkta oluşturulan 1 gramlık örneklerin üzerine 10 mL 1:1 (v\v) su ile seyreltilmiş nitrik asit eklenmiş ve erlenin ağzı saat camı ile kapatılarak 95°C’ ye ısıtılmıştır. Numune soğuduktan sonra üzerine 5 mL derişik nitrik asit ilave edilmiş ve saat camı tekrar erlenin ağzına kapatılarak 30 dakika ısıtılmıştır. Bu basamak, yükseltgenmenin tamamlandığından emin olununcaya kadar tekrarlanmıştır. Daha sonra, saat camı kaldırılarak çözelti hacmi 5 mL’ ye düşünceye kadar kaynatılmadan buharlaştırılmış ve numune soğuduktan sonra 2 mL su ile 3 mL %30’ luk hidrojen peroksit ilave edilmiştir. Beherin ağzı saat camı ile kapatılıp ısıtıcı üzerine yerleştirilerek peroksit tepkimesi gerçekleştirilmiş ve köpürme en düşük seviyeye ininceye kadar ısıtma ile birlikte damla damla 1 mL %30’ luk hidrojen peroksit çözeltisi ilavesine devam edilmiştir. Çözeltiye 5 mL derişik hidroklorik asit ve 20 mL su ilave edilerek, çözelti kaynamadan ısıtmaya bırakılmış ve çözelti soğuduktan sonra 100 mL damıtık su ile seyreltilerek santrifüjle askıda katı maddelerin uzaklaştırılması

sağlanmıştır. Varian marka Alevli Atomik Absorpsiyon spektrometresinde Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr ağır metallerinin tayini ve Alev Fotometre’de Ca, Mg ve K analizleri gerçekleştirilmiştir.

6.1.5. Katı atıkların su ile çalkalanarak özütlenmesi (TCLP)

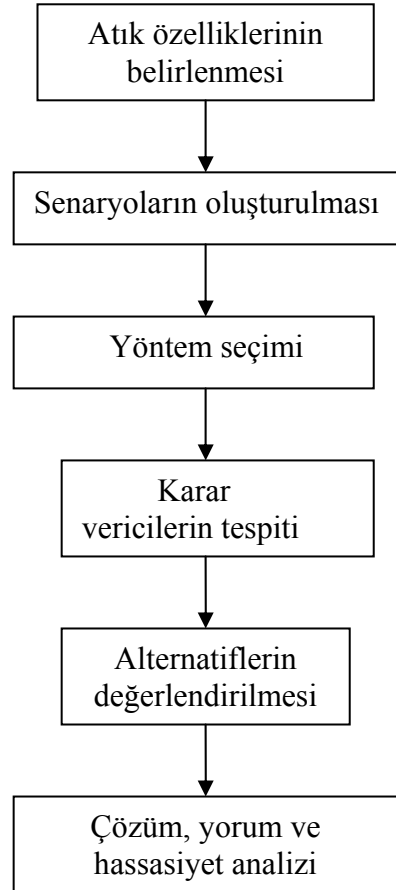
Çalışmada TS 9394 sayı ve 21.05.1991 tarihli “Atıklar- Katı Atıkların Su ile Çalkalanarak Ekstraksiyon Metodu” kullanılarak elde edilen özütlerde ağır metal analizleri yapılmıştır. $\pm 0,01$ g duyarlılıkta en az 70 g olarak tartılan numuneler etüvde 16-20 saat $104^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ da kurutulurken, analiz için kullanılacak numunelerin katı madde miktarı belirlenmiştir. Ayrıca, en az 40 g olacak şekilde numuneler hazırlanmış ve numunenin bulunduğu kaba, numune kütlesinin 20 katına eşit miktarda ml olarak bir hacim saf su ilave edilmiş ve karışım 18 ± 2 saat 30 rpm’de karıştırılmıştır. Daha sonra süzülen numunelerin ağır metal miktarları Varian marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde ve Ca, Mg ve K miktarları Alev Fotometresi’nde tayin edilmiştir.

6.2. Kentsel Katı Atık Yönetim Sisteminin Belirlenmesi

Katı atık yönetim sistemlerinin kurulması sosyal, ekonomik ve teknik özelliklerin birlikte dikkate alınması gerektiği için karmaşık ve disiplinlerarası bir problemdir. Bu nedenle, bu çalışmada bir kentte katı atık yönetim sistemi kurulurken takip edilebilecek bir akım şeması önerilmiş ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

- 1. Atık özelliklerinin belirlenmesi:** Etkin ve sürdürülebilir bir katı atık yönetim sisteminin kurulabilmesi için öncelikle atığın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Böylece özellikle atığın geri kazanım, kompostlama ve yakılabilme potansiyeli belirlenebilir.
- 2. Senaryoların oluşturulması:** Atık özelliklerine göre, geri kazanım, kompostlama, yakma ve depolama süreçlerini içeren farklı senaryolar oluşturulur. Bu senaryolar oluşturulurken yasal durum da göz önüne alınmalıdır.

3. **Yöntem seçimi:** Alternatif senaryoları karşılaştırmak için, olası yöntemlerin avantaj ve dezavantajları değerlendirilerek en uygun yöntem/yöntemler belirlenir.
4. **Karar vericilerin tespiti:** Özellikle MCDM tekniklerinin kullanılması durumunda karar vericilerin kim olacağını belirlemek çok önemlidir. Karar verici bir kişi olabileceği gibi farklı disiplinlerden insanların oluşturduğu bir grup da olabilir. Karar verici olarak üniversite ve belediye elemanları tarafından oluşturulan bir kurul uygun olabilir.
5. **Alternatiflerin değerlendirilmesi:** Kullanılacak yöntem gereği bir yazılım kullanılarak ya da yöntemin formülasyonu kullanılarak alternatifler birbiriyle karşılaştırılır.

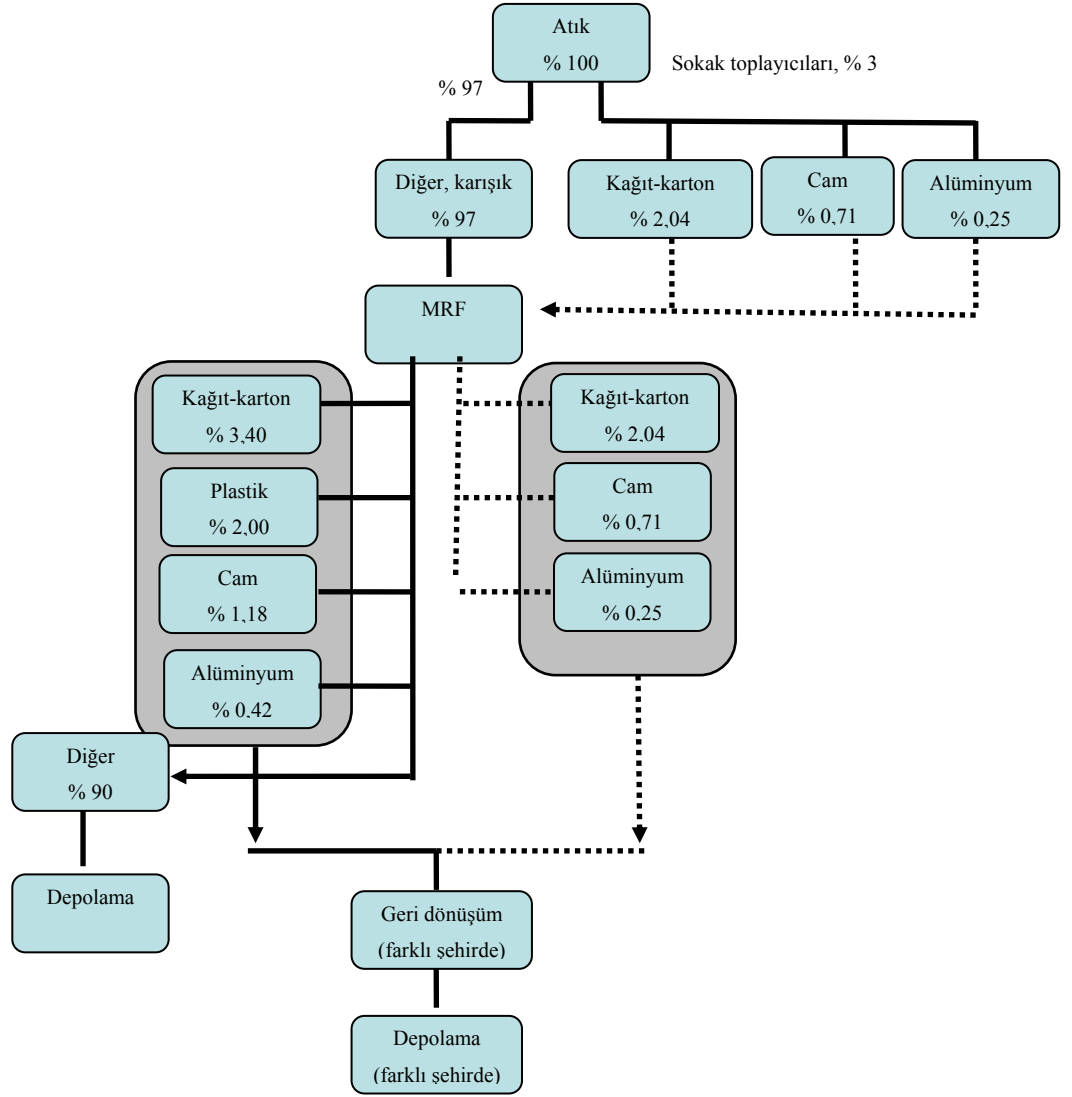


Şekil 6.2. Bir katı atık yönetim sisteminin geliştirilmesi için önerilen akış şeması

6. **Çözüm, yorum ve hassasiyet analizi:** Sonuçlar değerlendirilir ve en yüksek puana sahip olan alternatif, tercih edilen senaryodur. Bununla birlikte, hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için bir hassasiyet analizi yapılmalıdır.

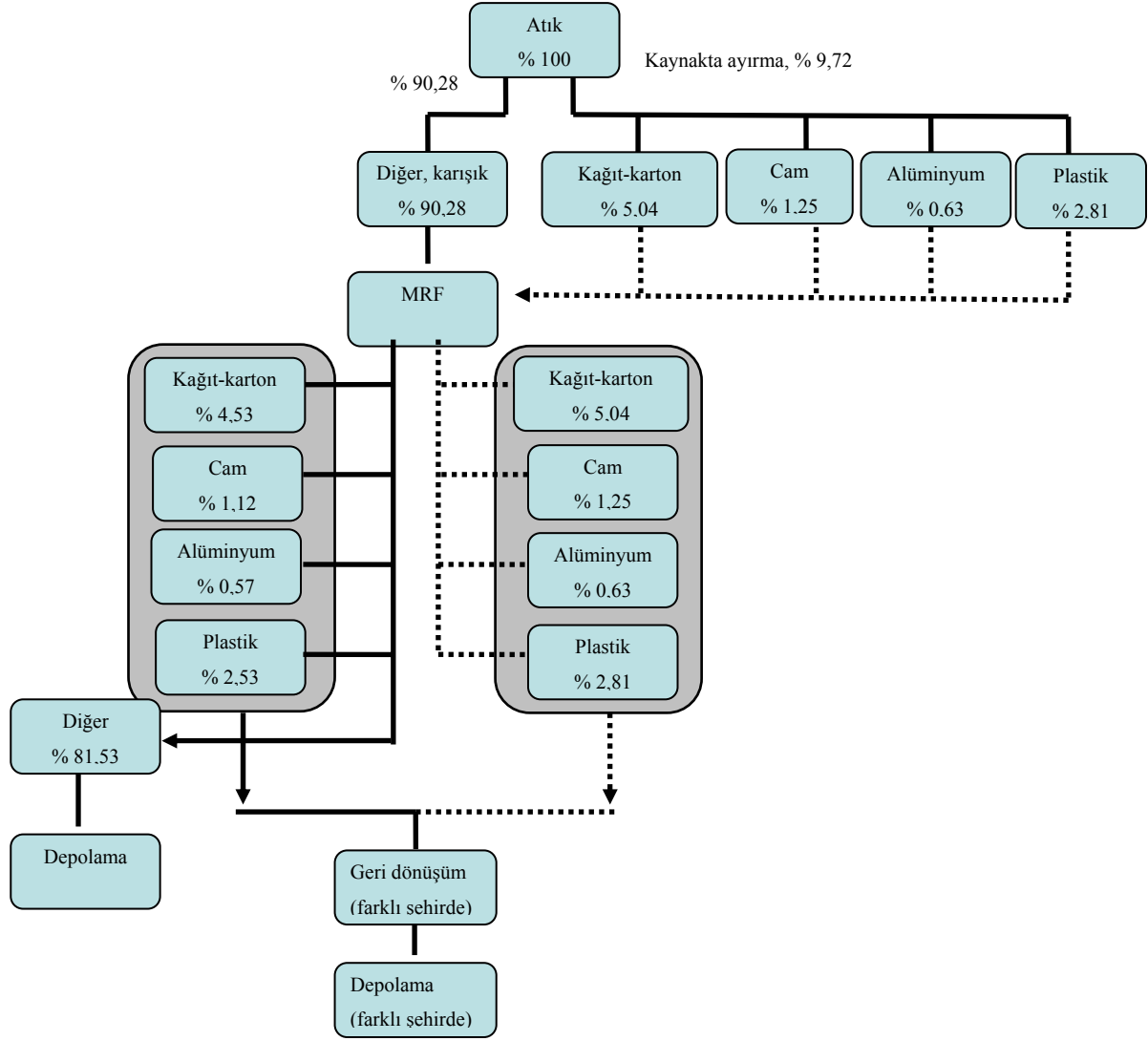
Tezde, elde edilen atık bileşimi sonuçları ve yasal durumlar da göz önüne alınarak 5 farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar aşağıda açıklanmıştır. Bu senaryolar ELECTRE III ve yaşam döngüsü analizi yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

Senaryo 1: Bu senaryo, Eskişehir'deki kentsel katı atıklar için uygulanan mevcut durumda bazı değişiklikler yapılarak oluşturulmuştur (Şekil 6.3). Bu senaryoda sisteme bir MRF tesisi ve düzenli depolama alanı ilave edilmiştir. Geri kazanım ve depolamaya giden atık yüzdeleri mevcut sistemle aynıdır. Eskişehir'de şu an çok az miktarda, kaynakta (evlerde) geri kazanım gerçekleşmekte, evlerden karışık olarak alınan atıklar sokak toplayıcıları tarafından ayrılmaktadır (toplam atığın %3'ü). Diğer geri kazanılabilir atıklar (% 4,3) MRF tesisinde ayrılmaktadır. Daha sonra geri kazanılan atıklar farklı şehirlerdeki geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir. Bu materyallerin geri dönüşüm verimleri sokak toplayıcıları tarafından toplananlar için % 80, MRF'de ayrılanlar için % 70 olarak alınmıştır. Geri dönüşümden sonra kalan artıklar geri dönüşümün gerçekleştirildiği şehirdeki depolama sahasına gönderilmektedir. Geri kalan atıklar Eskişehir'deki düzenli depolama sahasında depolanmaktadır.



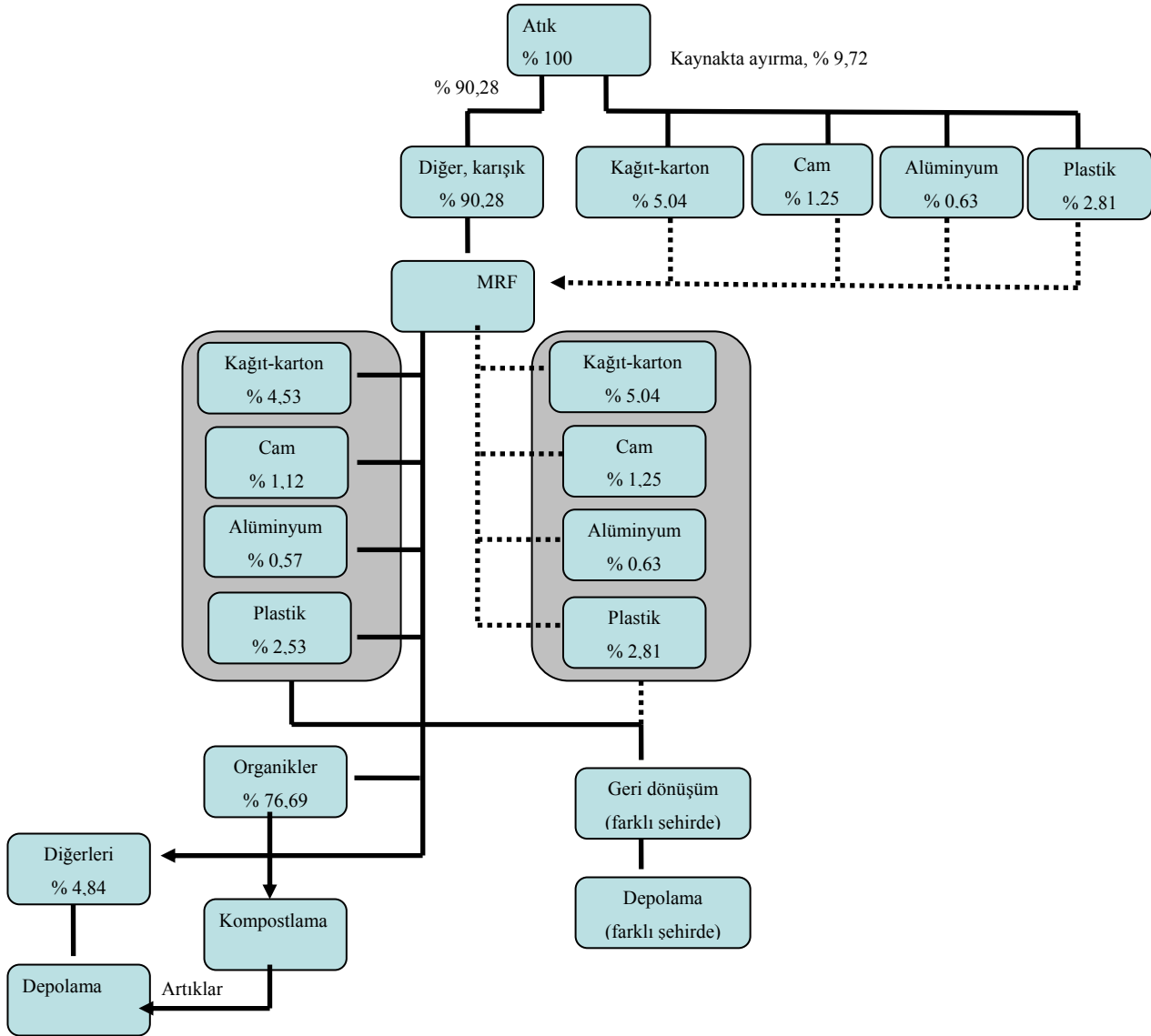
Şekil 6.3. Senaryo 1'in akım şeması

Senaryo 2: Bu senaryo kapsamında oluşturulan sistemde, evlerde %50 verimle yani toplam atığın % 9,72'si oranında geri kazanım yapıldığı ve bu atıkların bir MRF'ye getirildikten sonra farklı bir şehirdeki geri dönüşüm tesisine gönderildiği düşünülmüştür (Şekil 6.4). Bu tesiste geri dönüşüm verimi % 92'dir. Organik atıklarla karışan geri kazanılabilir atıklar ise MRF'de ayrıldıktan sonra % 70 verimle geri dönüştürülmektedir. Geri kazanımdan sonra kalan atıklar bir düzenli depolama alanında depolanmaktadır.



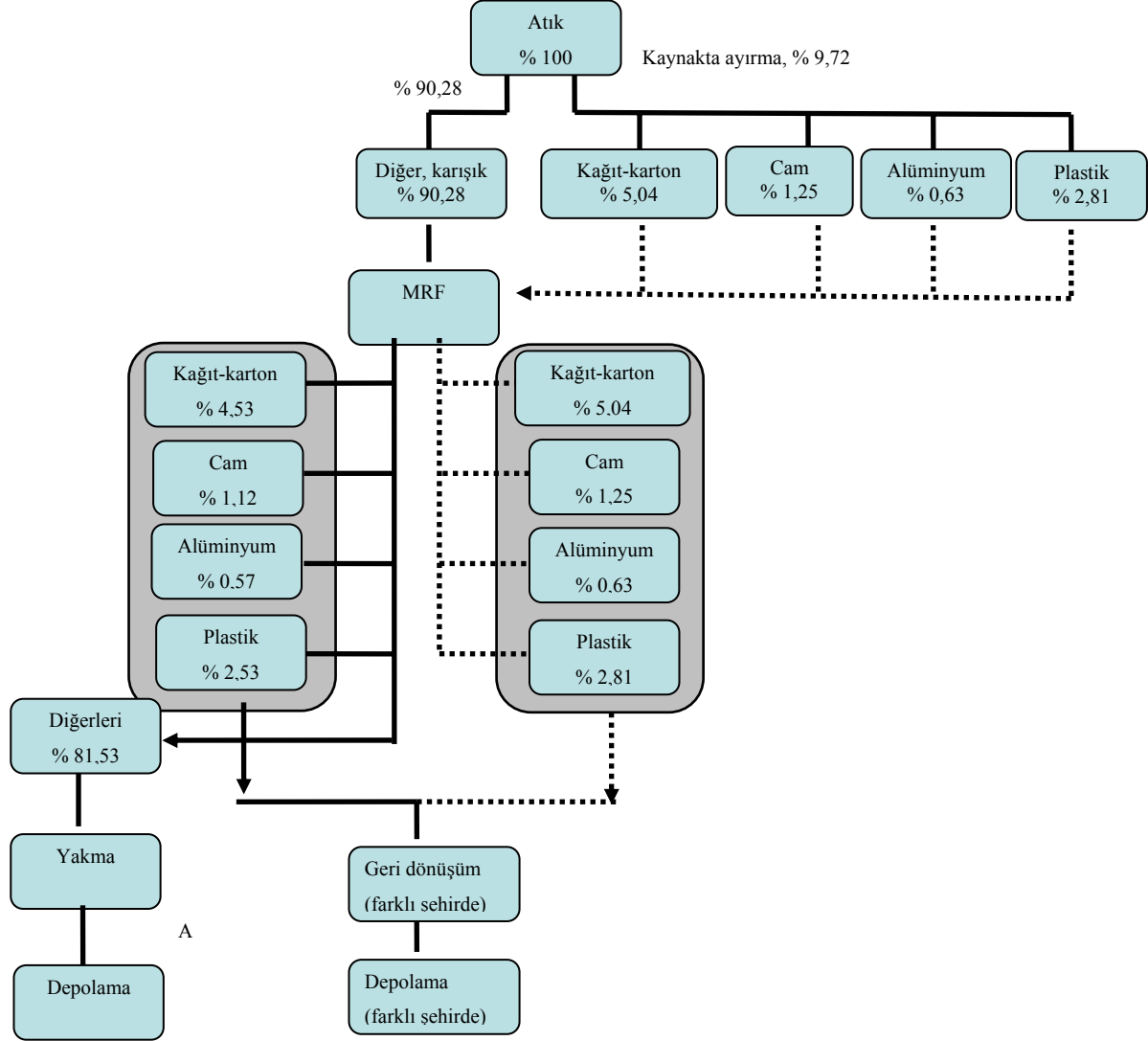
Şekil 6.4. Senaryo 2'nin akım şeması

Senaryo 3: Bu senaryoda biyolojik olarak bozunabilen atıkların da geri kazanıldığı düşünülmüştür (Şekil 6.5). Geri kazanılabilir atıklar için uygulanan sistem Senaryo 2'ye benzemektedir, organik atıklar (%77) ise MRF'de ayrıldıktan sonra bir kompostlama tesisine gönderilmektedir. Geri kalan atıkların (% 8,24) bir düzenli depolama sahasına gönderildiği düşünülmüştür.



Şekil 6.5. Senaryo 3'ün akım şeması

Senaryo 4: Bu senaryoda, Senaryo 3'deki kompostlama tesisi yerine yakma tesisi kullanılmıştır (Şekil 6.6). Bu durumda, organik atıklar ve geri kazanılabilir atıklardan bir kısmı insineratöre gönderilmektedir (%85).

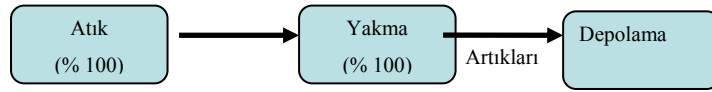


Şekil 6.6. Senaryo 4'ün akım şeması

Senaryo 5: Bu senaryoda atıkların hepsinin enerji geri kazanımlı yakma tesisine getirildiği ve yalnızca tesisten çıkan küllerin düzenli depolama sahasında depolandığı düşünülmüştür (Şekil 6.7).

Bunların yanısıra, senaryolar değerlendirilirken aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Karışık geri kazanılabilir atıklar ve ayrılmış geri kazanılabilir atıklar, bir MRF tesisine gönderilmektedir. Farklı yöntemlerle toplanan bu atıklar için farklı ayırma ve geri dönüşüm verimleri düşünülmüştür.
 - Karışık atıktan geri kazanılabilir atıkların ayrılması: % 70
 - Kaynakta ayırmadan sonra geri kazanılabilir atıkların geri dönüşüm verimi: % 92
 - Sokak toplayıcıları tarafından toplanan geri kazanılabilir atıkların geri dönüşüm verimi: % 80
 - Karışık atıktan ayrılan geri kazanılabilir atıklar için geri dönüşüm verimi: % 70
- Kompostlama sürecinden elde edilen kompost, gübre olarak kullanılacaktır. Kompostlama sistemi aerobik olarak çalıştırılacaktır.
- Yakma ve depolama süreçleri enerji geri kazanımlıdır.
- Kompostlama ve yakma tesislerinin verimleri % 90'dur.



Şekil 6.7. Senaryo 5'in akım şeması

6.2.1. ELECTRE III yöntemi

Yukarıdaki bölümde açıklanan senaryolar, ELECTRE III yöntemi ile değerlendirilmiş ve karar verici olarak, belediye ve üniversite alınmıştır. Bunun için; teknik, çevresel, ekonomik ve sosyal olarak 4 grupta ele alınan toplam 20 ölçüt belirlenmiştir (Çizelge 6.2). Bu ölçütler, ortak bir değerlendirmeyle ağırlıklandırılmış ve Çizelge 6.3'deki performans matrisi oluşturulmuştur. Bu matris oluşturulurken teknik, çevresel ve sosyal/politik ölçütlerin değerleri 0-9 arasında puanlandırmalarla verilirken, ekonomik ölçütler atığın tonu başına \$ olarak hesaplanmıştır. Sayısal olmayan değerlere sahip ölçütlerin değerlendirilmesi için, bir senaryoya "3" değeri veriliyorsa, bu senaryo en az önemli olandan 3 kat daha önemlidir anlamına gelmektedir. Burada ölçütün azalan ya da artan yönlü olması da çok önemlidir. Azalan yönlü ölçütler için sayısal olmayan değerlerin anlamları farklı şekilde düşünülmüştür. Sonuçta ELECTRE III kullanılarak senaryolar arasındaki sıralama belirlenmiştir (Acar ve ark. 2006).

Çizelge 6.2. Katı atık yönetim sistemi seçimi için ELECTRE III'de kullanılan ölçütler ve özellikleri

| Ölçüt no | Ölçüt grubu | Ölçüt adı | Birim | Tercih yönü | Açıklama |
|----------|-----------------|--|------------|-------------|--|
| g1 | Teknik ölçütler | Sürecin uygulanabilirliği | Puan (1-9) | Artan | Süreci etkin çalıştırabilmek için gerekli koşulların sağlanması (ısı değer, nem, atık bileşimi vb.) |
| g2 | | Kullanım ömrü | yıl | Artan | En yüksek kullanım ömrü tercih edilir. |
| g3 | | Yeni uygulamalara uyum sağlanabilirlik | Puan (1-9) | Artan | Yerel/ulusal/uluslararası yasal düzenlemelerdeki değişikliklerden kaynaklanabilecek yeni gereksinimlere uyum |
| g4 | | Hızlı tamamlanma | yıl | Azalan | Karar vericiler açısından projenin tamamlanma süresi kısa olmalıdır. |
| g5 | | İşletme deneyimi | Puan (1-9) | Artan | Sistemin işletimi ile ilgili geçmiş deneyimler kurulacak sistemin işletilmesi açısından oldukça önemlidir. |
| g6 | | Atık bileşimindeki değişime uyum | Puan (1-9) | Artan | Tüketim alışkanlıklarındaki değişimden dolayı atık bileşimindeki farklılıklara sistemin göstereceği uyum. |

Çizelge 6.2. (Devam) Katı atık yönetim sistemi seçimi için ELECTRE III’de kullanılan ölçütler ve özellikleri

| Ölçüt no | Ölçüt grubu | Ölçüt adı | Birim | Tercih yönü | Açıklama |
|----------|-------------------------|---------------------------------------|------------|-------------|---|
| g7 | Çevresel ölçütler | Gürültü kirliliği | Puan (1-9) | Azalan | Trafikten ve atık arıtım/bertaraf tesisinden kaynaklanan gürültü kirliliği |
| g8 | | Sera gazları | Puan (1-9) | Azalan | CO ₂ ve CH ₄ gibi sera gazı salınımlarının etkisi |
| g9 | | Asidik gazlar | Puan (1-9) | Azalan | SO ₂ , NO _x gibi asidik gaz salınımlarının etkisi |
| g10 | | Sağlık etkisine neden olan salınımlar | Puan (1-9) | Azalan | Cd, Pb gibi ağır metaller ile PCDD, PCDF gibi organik bileşiklerin etkisi |
| g11 | | Toprak kirliliği | Puan (1-9) | Azalan | Süreçlerin yaratacağı toprak kirliliği |
| g12 | | Su kirliliği | Puan (1-9) | Azalan | Süreçlerin yaratacağı yeraltı ve yüzey suyu kirliliği |
| g13 | | Estetik ve koku kirliliği | Puan (1-9) | Azalan | Atıklardan, kuş ve kamyonlardan kaynaklanan estetik olmayan ve koku yaratan durumlar |
| g14 | Ekonomik ölçütler | Yatırım ve işletme maliyeti | \$/ton | Azalan | Tesisin ilk yatırım ve işletme maliyetleri birlikte ele alınmıştır. |
| g15 | | Enerji ve malzeme geliri | \$/ton | Artan | Arıtım/bertaraf tesisinden elde edilen geri dönüştürülebilir ürün / kompost / enerji kazanımları |
| g16 | | Dışsal maliyetler | \$/ton | Azalan | Burada nakliyeden kaynaklanan kirlilik, kazalar, sızıntı suyu, sera gazı salınımları ve geleneksel hava kirleticileri dikkate alınmıştır. |
| g17 | Sosyal/politik ölçütler | Kamuoyunun tutumu | Puan (1-9) | Artan | Halkın geri kazanım alışkanlığı kazanması ve arıtım/bertaraf sistemlerinin yeriyile ilgili görüşü. |
| g18 | | İstihdam | Puan (1-9) | Artan | Sistemde yer alan tüm bileşenlerin yaratacağı istihdam |
| g19 | | Çevre politikalarıyla uyum | Puan (1-9) | Artan | Türkiye’deki ve AB’deki yasal düzenlemelere uyum |
| g20 | | Kaynakların korunumu | Puan (1-9) | Artan | Geri kazanılan malzeme ve enerji dolayısıyla doğal kaynaklarda sağlanan tasarruf ve araziden tasarruf. |

Senaryoların maliyet açısından karşılaştırmaları yapılırken aşağıdaki değerler dikkate alınmıştır:

- **Yatırım maliyetleri;** geri kazanım için 35 \$/ton, kompost için 40 \$/ton, enerji geri kazanımlı yakma tesisi için 180 \$/ton, enerji geri kazanımlı düzenli depolama için 25 \$/ton, enerji geri kazanımsız düzenli depolama için 20 \$/ton alınmıştır (DHV Consultants 2006).

- **İşletme maliyetleri;** geri kazanım için 20 \$/ton, kompost için 50 \$/ton, enerji geri kazanımlı yakma tesisi için 150 \$/ton, enerji geri kazanımlı düzenli depolama için 15 \$/ton, enerji geri kazanımsız düzenli depolama için 10 \$/ton alınmıştır (DHV Consultants 2006).
- **Malzeme gelirleri;** 1 ton geri kazanılabilir nitelikteki atığın 60 \$'a satıldığı varsayılmıştır.
- **Enerji gelirleri;** Yakma sisteminden 1 ton atık başına 600 kWh (DHV Consultants 2006) elektrik enerjisi üretildiği ve depolama sahasından 1 ton biyolojik olarak bozunabilir atık başına 250 m³ biyogaz açığa çıktığı varsayılmıştır (Bovea ve Powell 2005). Bu durumda, atığın %60'ının biyolojik olarak bozunabildiği, depolama sahasında oluşan biyogazın %55'inin metan olduğu, metanın ısıl değerinin 35315 Btu/m³, elektrik dönüşüm verimliliğinin %35 olduğu varsayımıyla, biyogazdan elde edilecek elektrik enerjisi miktarının yaklaşık 300 kWh olacağı hesaplanmıştır. 1 kWh elektriğin ise TEDAŞ'ın elektrik faturaları incelenerek, 0,12 \$'a satıldığı düşünülmüştür.
- **Dışsal maliyetler;** Burada nakliyeden kaynaklanan kirlilik, kazalar, sızıntı suyu, sera gazı salınımları ve geleneksel hava kirleticileri dikkate alınmıştır. Geri kazanım için 0,92 \$/ton, kompostlama için 2,28 \$/ton, yakma için 10,38 \$/ton, enerji geri kazanımsız depolama için 7 \$/ton ve enerji geri kazanımlı düzenli depolama için 4,38 \$/ton değerleri kullanılmıştır (Pearce ve Brisson 1995).

Çizelge 6.3. Ölçüt, alternatif, eşik değeri ve ölçüt ağırlıklarının performans değerleri

| Ölçüt | Ölçüt ağırlıkları | Senaryolar | | | | | Tercih eşik değerleri (p _j) | | Farksızlık eşik değerleri (q _i) | |
|-------|-------------------|------------|------|------|------|-------|---|----|---|----|
| | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | α | β | α | β |
| g1 | 5 | 6 | 6 | 7 | 2 | 7 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| g2 | 5 | 10 | 12 | 20 | 25 | 25 | 0 | 10 | 0 | 5 |
| g3 | 5 | 3 | 4 | 7 | 8 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 |
| g4 | 5 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| g5 | 5 | 7 | 6 | 5 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| g6 | 5 | 7 | 7 | 4 | 3 | 4 | 0 | 3 | 0 | 1 |
| g7 | 2,5 | 8 | 8 | 5 | 8 | 8 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| g8 | 5 | 7 | 7 | 6 | 5 | 5 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| g9 | 5 | 3 | 3 | 3 | 8 | 9 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| g10 | 5 | 3 | 3 | 3 | 8 | 9 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| g11 | 5 | 6 | 6 | 4 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| g12 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| g13 | 2,5 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| g14 | 10 | 10,7 | 42,2 | 80,7 | 292 | 334 | 0 | 30 | 0 | 50 |
| g15 | 10 | 37,8 | 39,6 | 11,9 | 73,3 | 75,6 | 0 | 50 | 0 | 20 |
| g16 | 5 | 6,54 | 3,86 | 2,24 | 9,33 | 10,82 | 0 | 2 | 0 | 3 |
| g17 | 4 | 5 | 4 | 6 | 3 | 2 | 0 | 3 | 0 | 1 |
| g18 | 3 | 6 | 6 | 8 | 8 | 7 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| g19 | 5 | 2 | 4 | 7 | 8 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 |
| g20 | 3 | 4 | 7 | 7 | 7 | 7 | 0 | 2 | 0 | 1 |

Sayısal olmayan değerler 1-9 arasında aşağıdaki şekilde ölçeklendirilmiştir. Artması tercih edilen ölçütler için; 1: kabul edilemez; 2: çok kötü; 3: kötü; 4: orta kötü; 5: orta; 6: orta iyi; 7: iyi; 8: çok iyi ve 9: mükemmel ve azalması tercih edilen ölçütler için; 1: mükemmel; 2: çok iyi; 3: iyi; 4: orta iyi; 5: orta; 6: orta kötü; 7: kötü; 8: çok kötü ve 9: kabul edilemez olmak üzere iki farklı ölçek kullanılmıştır.

6.2.2. Yaşam döngüsü analizi (LCA)

Tezin bu bölümünde, Eskişehir için en uygun kentsel katı atık yönetim sisteminin belirlenmesi amacıyla, yukarıda ayrıntıları verilen alternatif senaryolar, ISO 14040 standardına uygun olarak LCA yöntemi ile değerlendirilmiş ve bu çalışmada SimaPro 7.0 adlı lisanslı bir yazılım kullanılmıştır. LCA yöntemi ISO 14040 Standardında hedef ve kapsam tanımı, envanter analizleri, etki analizleri ve yorum olmak üzere dört aşamada verilmektedir (Cokaygil ve ark., 2006).

6.2.2.1. Çalışmada kullanılan SimaPro 7.0 yazılımı

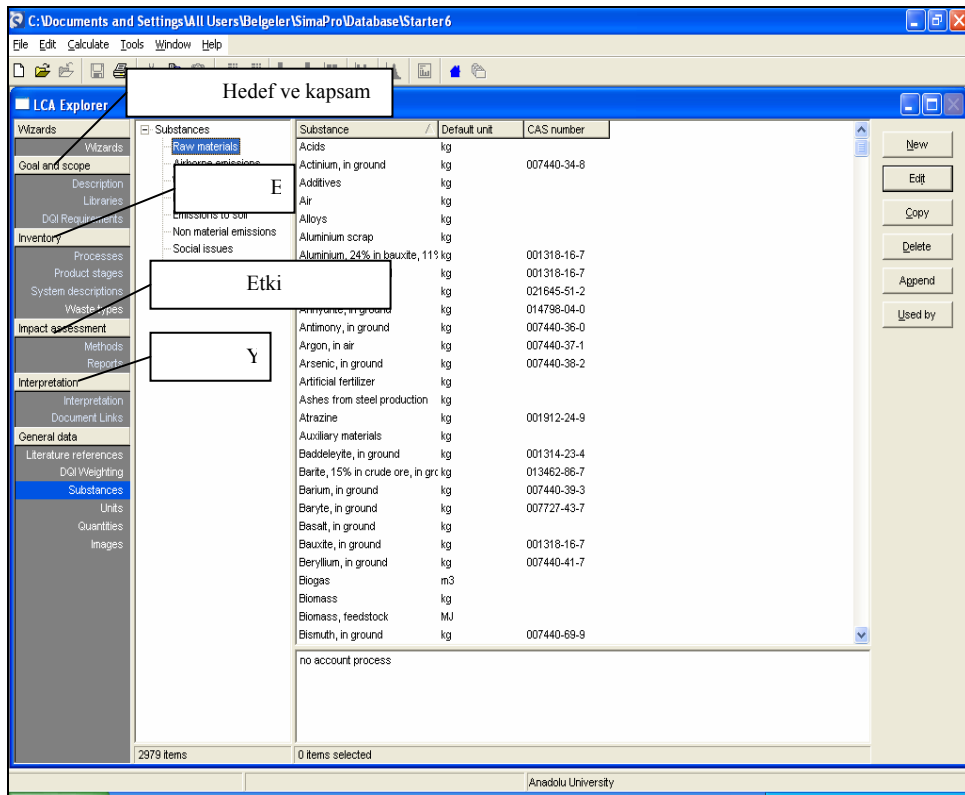
Günümüzde LCA yönteminin uygulandığı birçok ticari yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımlar, içerdikleri veri tabanına, etki değerlendirmesi yöntemlerine, ISO 14040'a uygunluklarına göre çeşitlenmektedir. Mevcut LCA yazılımları arasında yapılan değerlendirmeye göre; ISO 14040'a uygun olması, dünyada en fazla kullanılan LCA yazılımı olması, içerdiği veri tabanının ve

yöntemlerin kalitesi, verilen teknik destek, kullanım kolaylığı gibi nedenlerden dolayı bu tez çalışmasında, PRè Consultants adlı bir Hollanda firmasının ürünü olan lisanslı SimaPro 7.0 yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir.

SimaPro 7.0 içerik olarak Şekil 6.8'den de görüleceği gibi; hedef ve kapsam, envanter, etki değerlendirmesi ve yorumdan oluşan ISO 14040 aşamalarına ilaveten, kullanıma dayalı aşamaları (sihirbaz, veri kalitesi gereksinimleri, birimler, maddeler v.b.) da içermektedir.

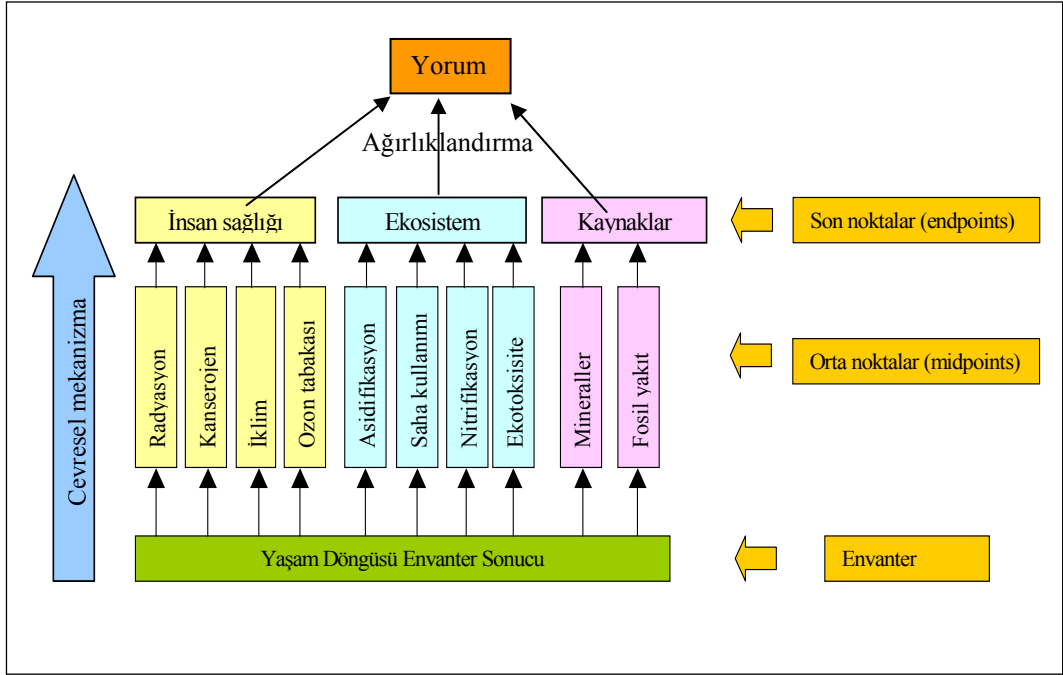
Hedef ve kapsam aşaması, raporlama açısından pek çok verinin girilmesini gerektirmektedir. Bu aşamada ayrıca envanterden seçilecek olan verinin çalışmaya uygunluğunun belirlenebilmesi için gereken veri kalitesi gereksinimleri (zaman, coğrafi kapsam, temsil edilen teknoloji v.b. gibi) de bulunmaktadır.

Envanter aşamasında ise, verileri içeren çok sayıda proje ve veri bankası vardır. Hedef ve kapsam aşamasında belirtilen gereksinimler doğrultusunda, veri bankalarında bulunan verilerden en uygun olan seçilir, ürün kümesi, yaşam döngüsü ve atık/bertaraf senaryoları oluşturulur.



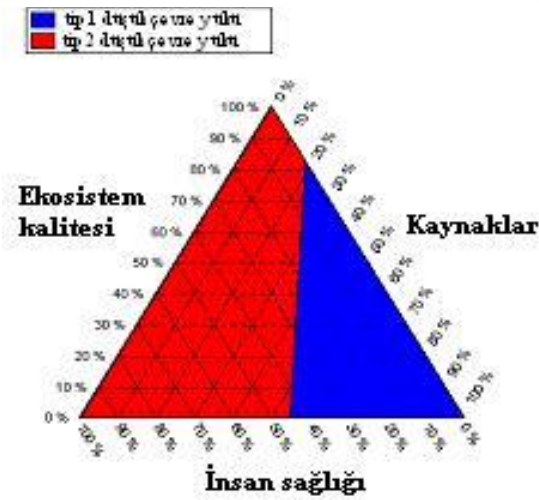
Şekil 6.8. SimaPro 7.0 yazılımının yapısı

Etki değerlendirmesi aşamasında ise, matematiksel hesaplamalara dayanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden de uygun olan seçilerek yaşam döngüleri analiz edilir veya iki ürün/sistem/yaşam döngüsü için karşılaştırma yapılır. SimaPro 7.0 yazılımında sistemlerin envanter analizlerinin hesaplanması için bir çok hesaplama metodu bulunmaktadır. Yöntemlerin bazıları orta nokta, bazılarıysa son nokta prensibine dayanmaktadır. Orta nokta prensibine dayanan yöntemlerin üçüncü kişilerce anlaşılması oldukça güçtür. Son nokta prensibine dayanan yöntemlerin sonuçlarının anlaşılması daha kolaydır ve daha önceki çalışmalarda görüldüğü üzere bu yöntemler uygulayıcılar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Alanyazında son nokta prensibine dayanan yöntemlerden en çok tercih edilenlerden birisi de Eco-indicator 99 metodudur. Şekil 6.9’da bu yöntem kullanılarak yapılacak bir çalışmanın yapısı verilmiştir.



Şekil 6.9. Eco-indicator 99 kullanılarak yapılan bir analiz yapısı

Yöntemde, envanter analizinden gelen verilerin Eco-indicator 99 etki değerlendirmesinde; karakterizasyon, zarar değerlendirmesi, normalizasyon, ağırlıklandırma ve tek değer bölümleri içermektedir. ISO 14042’de belirtildiği üzere sınıflandırma ve karakterizasyon, LCA çalışmalarında bulunması gereken zorunlu bölümlerdir. SimaPro 7.0’da karakterizasyon bölümü, sınıflandırma bölümünü içermekte, karakterizasyon grafiği bu iki bölümün sonuçlarını vermektedir. Diğer bölümler olan normalizasyon, ağırlıklandırma ve tek değer, isteğe bağlı bölümlerdir. Yine ISO 14042’ye göre iki ürünün karşılaştırılmasına dayanan ve topluma sunulacak olan çalışmada, isteğe bağlı bölümler verilmemelidir. Bu nedenle, yazılımda ikili karşılaştırmaların sonuçlarının verilmesinde ISO 14042’ye uygunluk açısından bir “karşılaştırma üçgeni” seçeneği bulunmaktadır (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Karşılaştırma üçgeni

Üçgendeki kenarları, metodun son noktaları olan insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynaklar oluşturmaktadır. Bu son noktalar ve onları oluşturan orta noktalar aşağıda açıklanmıştır:

İnsan sağlığı: Bu son noktayı oluşturan orta noktalar; kanser yapan maddeler, solunan organik maddeler, solunan inorganik maddeler, iklim değişikliği, radyasyon ve ozon tabakasının tahribatıdır. Yöntemde bu etkilerin birimleri DALY (Disability Adjusted Life Years) olarak açıklanmıştır. DALY, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Bankası tarafından geliştirilmiş olan, hastalığa ve ölüme neden olan sağlık etkilerini tanımlamakta kullanılan bir birimdir. Kanser veya solunumsal etkiler gibi tüm ölüme neden olan sağlık etkileri, kaybedilen yaşam yılları (YOLL, years of life lost) göstergesi kullanılarak tanımlanmaktadır. Solunumla ilgili sağlık etkileri akut ve kronik olarak ele alınmaktadır. Ölümcül bir hastalık nedeniyle kaybedilen yaşam yılı sayısını hesaplamak için WHO tarafından pek çok istatistik kullanılmıştır. Bu istatistikler, kanserden veya solunumla ilgili bir sağlık etkisinden kaynaklanan ölümün hangi yaşta ve hangi oranda gerçekleştiğini göstermektedir. Bu istatistiklerde, doz ve maruz kalma değeri birleştirilerek, belirli bir kirleticinin derişimindeki artış nedeniyle kaç yaşam yılının kaybedildiği hesaplanabilmektedir. DALY, sadece ölümcül etkileri değil, aynı zamanda, ölüme hemen neden olmayan belirli bir süre acı ve ağrı vererek yaşam kalitesini düşüren etkileri de (öksürük, astım, hastanede yatma v.b.) dikkate almaktadır. Bu etkiler yetersizlik yılları (YLD, years of disability) olarak açıklanmaktadır. Hastalığa, acı ve ağrı çekmeye bağlı olarak hastalığın ağırlıklandırma faktörü 0 ile 1 arasında değişmektedir. 0,5 ağırlık faktörüne sahip olan bir hastalıkta, ağırlı geçen 1 yıl, erken ölüm yılının yarı şiddetinde olarak kabul edilmektedir. Bu açıklamalardan hareketle;

$$DALY = YOLL + YLD$$

(6.2)

$$YLD = DW \times L$$

(6.3)

formülleriyle verilmekte,

DALY :Disability Adjusted Life Years

YOLL : kaybedilen yaşam yılları (years of life lost)

YLD :yetersizlik yılları (years of disability)

DW : bağıl yetersizlik ağırlığı (disability weight)

L : yetersizlik süresi (disability length)

olarak gösterilmektedir.

- **Kansere neden olan maddeler:** Kansere neden olan maddelerin salınımlarının havaya, suya ve toprağa olan etkilerini içeren ve DALY/kg salınım olarak belirtilen bir gruptur. Örn: dioksinler, asetaldehit, arsenik, benzen ve türevleri, kadmiyum, formaldehit, PAH'lar, nikel, fenol, poliklorlu bifeniller gibi.
- **Solunan organik maddeler:** Organik maddelerin havaya olan salınımları nedeniyle oluşan fotokimyasal sisten kaynaklanan solunum etkilerini içeren ve DALY/kg salınım olarak açıklanan bir gruptur. Örn: 1- Butanol, heksan, heptan, benzen, asetik asit gibi.
- **Solunan inorganik maddeler:** Toz, kükürt ve azot oksit salınımlarından kaynaklanan kış sisinin neden olduğu solunum etkilerini içeren ve DALY/kg salınım olarak açıklanan bir gruptur. Örn: Amonyak, amonyum, azotoksit, tanecikler, kükürtdioksit, sülfat gibi.
- **İklim değişikliği:** İklim değişikliğinin yol açtığı hastalık ve ölümlerdeki artışa neden olan maddeleri içeren ve DALY/kg salınım olarak açıklanan bir gruptur. Bunlar, küresel ısınmaya, dolayısıyla da iklim değişikliğine neden olan maddelerdir. Örn: Karbon dioksit ve metan gazları gibi.
- **Radyasyon:** Radyasyonun verdiği zarar yazılımda DALY/Bq ve DALY/kBq olarak verilmiştir. Radyoaktif maddelere örnek olarak, Amerikyum-241, Uranyum-234, Karbon-14 verilebilir.
- **Ozon tabakasının tahribatı:** Ozon tabakasında tahribata neden olan madde salınımları sonucu artan UV ışımının yarattığı hasar olup, DALY/kg olarak verilmiştir. Bu hasara neden olan maddelere örnek olarak CFC-115, metan, bromo-, Halon 1001 verilebilir (SimaPro Database Manuel, 2004).

Ekosistem kalitesi: Ekosistem kalitesi, ekotoksosite ve asidifikasyon/ötrofikasyon olmak üzere iki zarar sınıfını içermektedir.

- **Ekotoksosite:** Ekotoksosite, çevrede toksik etki altında yaşayan tüm türlerin yüzdesi olarak açıklanmaktadır. Potansiyel olarak etkilenmiş kısım

(PAF) gösterge olarak kullanılmakta ve türlerin, “olumsuz etkinin görülmediği derişim (NOEC, No-Observed Effect Concentration)”a eşit veya daha yüksek bir derişime maruz kalmış kısmına denk gelmektedir. Bu gerçek bir zarar olmamasına rağmen, toksik etki için bir ölçüdür (Sonneman ve ark. 2004). Ekotoksik maddelerin havaya, suya ve toprağa karışması sonucu oluşan bu hasar PAF.m².yıl/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: 2,4-D (toprak), arsenik (hava), kadmiyum iyonu (su) gibi.

- **Asidifikasyon/ötrofikasyon:** Asidifikasyon ve ötrofikasyon bir sınıf olarak ele alınmıştır. Doğal alanlardaki hedef türlere olan zararı değerlendirmek için görülme yüzdesi (POO, probability of occurrence) kullanılmaktadır. Eko-indikatör 99 bu kavramı potansiyel olarak kaybolan kısma (PDF, potentially disappeared fraction) dönüştürmektedir (PDF = 1- POO). Asit oluşturma özelliğine sahip maddelerin havaya karışması sonucu oluşan bu hasar, PDF.m².yıl/kg salınım olarak ele alınmaktadır. Örn: kükürt dioksit gibi.

Doğal kaynakların tüketimi: İnsanlar her zaman düşük kaliteli kaynağı ileriye bırakarak en iyi kaynağı en önce tüketme eğiliminde olmuşlardır. Doğal kaynaklara verilen zararın sonuçlarından, etkilenecek olan gelecek nesiller, kalan kaynakları kullanabilmek için daha fazla çaba harcayacaklardır. Bu fazladan çaba “fazla enerji” (surplus energy) olarak açıklanmaktadır.

- **Mineraller:** Maden cevherinin kalitesinin düşmesi nedeniyle 1 kg maden elde etmek için harcanan fazla enerji olup, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: alüminyum, boksit, bakır gibi.
- **Fosil yakıtlar:** Düşük kaliteli kaynakların kullanımı sonucu, 1 kg veya 1 m³ fosil yakıtı elde etmek için harcanan fazla enerji, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: kömür, doğal gaz gibi.

6.2.2.2. Hedef ve kapsam tanımı

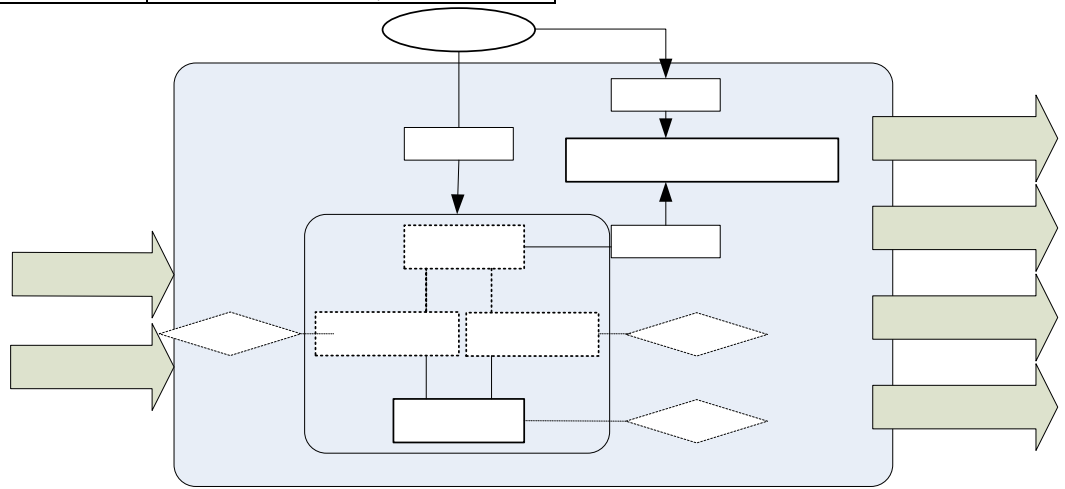
Bu çalışmada, Eskişehir'deki mevcut atık yönetim sisteminin ve buna alternatif olacak senaryoların (Bkz. Bölüm 6.2) çevresel açıdan karşılaştırılması amaçlanmış ve çevresel açıdan en az zararlı olan atık yönetim sisteminin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Fonksiyonel birim: Alternatif senaryoların karşılaştırılması için seçilen fonksiyonel birim 1 ton kentsel katı atıktır. Yapılan analiz sonuçlarına göre Eskişehir'deki kentsel katı atıkların bileşimi Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Sistem sınırları: Sistem, atığın evlerde oluşmasından başlayıp, toplanmasını, taşınmasını, arıtım yöntemlerini ve depolama sahasında nihai bertarafını kapsamaktadır. Geri kazanım işlemlerinde sınır, atığın ikinci bir malzemeye dönüşüm sürecinde harcanan enerjiyi ve bu aşamada çıkan atıkları içermekte olup, ikincil bir malzemenin yaşam döngüsünü içermemektedir. Şekil 6.11'de çalışmada belirlenen sistem sınırları verilmiştir.

Çizelge 6.4. Eskişehir kentsel katı atıklarının bileşimi

| Bileşenler | % (yaş ağırlık temelinde) |
|---------------|---------------------------|
| Kağıt-karton | 10,07 |
| Metal | 1,26 |
| Cam | 2,49 |
| Plastik | 5,62 |
| Yiyecek atığı | 67,06 |
| Kül | 3,86 |
| Diğer | 9,64 |



Şekil 6.11. Sistem sınırları

6.2.2.2. Envanter analizi

Çalışma için gerekli envanter Eskişehir için yapılmış çalışmalardan, alanyazından ve SimaPro 7.0 yazılımının kapsadığı veritabanından yararlanılarak oluşturulmuştur. Yazılımın veritabanının Türkiye şartlarına uygun hale getirilmesine çalışılmış, veri eksikliği olduğu durumlarda ise yazılımın DQI (data quality indicators) gereksinimleri özelliği kullanılarak zaman, coğrafya, teknoloji gibi veri kalitesi göstergeleri açısından duruma en uygun sistem seçilmiştir.

Çalışmada belirlenen senaryoların değerlendirilmesi açısından gerekli veri grupları şu şekilde oluşturulmuştur:

Toplama ve taşıma ile ilgili veriler:

Eskişehir'deki kentsel katı atıklar, iki alt belediyenin (Tepebaşı ve Odunpazarı) ve onlara bağlı olarak çalışan iki ayrı taşıyon firmanın araçları ile toplanmaktadır. Odunpazarı Belediyesi'nin gündüz atık toplama programında atıklar iki günde bir toplanırken, gece toplama programında yer alan mahallelerdeki atıklar her gün toplanmaktadır. Tepebaşı Belediyesi'nde ise her bir mahalledeki atıklar her gün toplanmaktadır.

Alternatif senaryolarda yeni bir sistem kurulumu dikkate alındığından, hem taşıma maliyetlerini hem de taşımadan kaynaklanacak çevresel etkileri en aza indirmek için MRF, kompostlama, yakma ve düzenli depolama tesislerinin aynı sahada yer aldığı düşünülmüştür. Geri dönüşebilir nitelikteki atıklar için Çevre ve Orman Bakanlığı'nın lisanslı firmaları incelendiğinde Eylül 2007 itibariyle, Eskişehir'de herhangi bir geri dönüşüm tesisinin olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, kağıt, plastik ve alüminyum atıkların Ankara'daki (233 km) ve cam atıkların Kocaeli'deki (219 km) bir geri dönüşüm tesisine gönderildiği varsayılmıştır. Hesaplanan geri kazanım oranları ve taşıma mesafeleri Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Senaryolar için toplam geri kazanım oranları ve taşıma mesafeleri

| | Toplama (km/ton atık) | Geri dönüşüm için taşıma | | |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|-------|-------------------------|
| | | Toplam geri kazanım oranı (%) | | Taşıma mesafesi (km) |
| <i>Senaryo 1</i> | 4,11 | Kağıt-karton | 5,44 | 233 |
| | | Plastik | 2,00 | 233 |
| | | Cam | 1,89 | 219 |
| | | Alüminyum | 0,67 | 233 |
| <i>Senaryo 2/ 3/4</i> | 4,11 | Kağıt-karton | 10,07 | 233 |
| | | Plastik | 5,62 | 233 |
| | | Cam | 2,49 | 219 |
| | | Alüminyum | 1,26 | 233 |
| <i>Senaryo 5</i> | 4,11 | -- | | |

Elektrik enerjisi üretimiyle ilgili veriler:

Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların oranları TEIAS (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.)’ın 2006 programına göre Çizelge 6.6’da verilmiştir. Bu oranlarla birlikte yazılımın veri tabanında bulunan Buwal 250 (2004) ve ETH-ESU 96 (2004) verileri kullanılarak Türkiye için orta voltaj şehir elektriği profili oluşturulmuştur.

Bu veriler kullanılırken, Türkiye’de mevcut enerji üretiminde nükleer santral kullanılmadığı için uranyum kullanımı ve radyoaktivitenin etkisi ihmal edilmiştir. Bu değerler aynı zamanda, düzenli depolama ve yakma sistemlerinde kaçınılan salınımların hesaplanması için de kullanılmıştır.

Geri kazanım ve malzeme geri kazanım tesisi (MRF) ile ilgili veriler:

Geri kazanılabilir atıkların gönderildiği MRF’deki ayırma ve balyalama donanımları için gerekli elektrik enerjisi 0,059 kWh/ton olarak alınmıştır (Bovea et al., 2006). Bu atıkların geri dönüşümü için yazılımın veri tabanındaki Buwal 250 verisinden yararlanılmıştır.

Çizelge 6.6. Türkiye’nin elektrik enerjisi kaynakları ve hızları

| <i>Enerji kaynakları</i> | <i>Enerji kaynaklarının dağılımı (%)</i> |
|--------------------------|--|
| Fuel-oil | 2,9 |
| Kömür | 7,6 |
| Linyit | 21,8 |
| Doğal gaz | 44,7 |
| Hidrolik enerji | 23,0 |
| Toplam | 100,0 |

Kompostlama ile ilgili veriler:

Kompostlama senaryolarında atığın, MRF tesisinden sonra kompost tesisine gönderildiği, kompostlama süreci sonucu oluşan kompostun ise toprak düzenleyici olarak tarlalarda kullanıldığı düşünülmüştür. Kompostlanabilir atıklar için, Tchobanoglous ve ark. (1993) tarafından verilen kentsel katı atıkların elementel analiz sonuçları (C, H, O, N, S, P) kullanılarak, $C_{333}H_{528}O_{195}N_{16}PS$ kimyasal formülü hesaplanmıştır. Bu kimyasal formül kullanılarak, oluşturulan kompost için N ve P değerleri 28,2 kg N/ton atık ve 3,9 kg P/ton atık olarak hesaplanmıştır. 1 ton kompostun kullanılmasıyla 28,2 kg N ve 3,9 kg P'nin önlendiği düşünülmüştür. Kaçınılan kimyasal gübrelerin verileri SimaPro 7'nin IDEMAT 2001 kütüphanesinden alınmıştır. Aynı zamanda, kompostlama sırasında oluşacak CO_2 ve NH_3 salınımları aynı kimyasal formül kullanılarak 1,85 ton CO_2 /ton atık ve 0,37 ton NH_3 /ton atık olarak hesaplanmıştır.

Kompostlama süreci boyunca enerji tüketimi, elektrik (54,4 MJ/ton kompostlama sürecine giren atık), yükleyiciler ve değirmenler için motorini (555,5 MJ/ton kompostlama sürecine giren atık) kapsamaktadır. Hava salınımları ise kompostlama sürecine giren ton atık başına 0,28 kg NH_3 ve 0,028 kg N_2O olarak alınmıştır (Bovea ve ark. 2006).

Yakma tesisi ile ilgili veriler:

Yakma süreci sadece Senaryo 4 ve 5'de mevcuttur. Senaryo 4'te atıklar geri kazanım işleminden sonra insinere edilirken, Senaryo 5'te doğrudan insinere edilmektedir.

Plastik, cam, kağıt ve alüminyumun yakılması için Buwal 250 verileri kullanılmıştır. Bu insineratör ileri bir baca gazı arıtımı ve katalitik deNOx sistemine sahiptir. Organik atığın yakılmasından kaynaklanacak atmosferik salınımlar, kompostlama için hesaplanan kimyasal formül ($C_{333}H_{528}O_{195}N_{16}PS$) kullanılarak hesaplanmış ve yazılıma girilmiştir.

Düzenli depolama ile ilgili veriler:

Senaryolar için depolama süreci SimaPro 7'deki Buwal 250 verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Bu depolama sürecinde biyogaz üretiminin 200 m³/ton

atık (% 47 metan, % 37 karbon dioksit, % 13 azot) olduğu ve % 47'sinin havaya doğrudan verildiği ve % 53'nün yakıldığı düşünülmüştür. Depolamadan üretilen metanın kullanımı, elektrik ve ısının üretimi için toplam gaz üretiminin % 31'idir. Son verim üretilen gazın toplam enerji içeriğinin yalnızca % 11'idir.

6.2.3. Katı atık yönetim sistemi seçimi için doğrusal olmayan optimizasyon yaklaşımı

Katı atık yönetim sistemi olarak önerilen sistemlerde, bir veya daha fazla arıtım ve bertaraf yöntemi tercih edilebilir veya bütün yöntemleri kapsayan karmaşık ve pahalı sistemler kurulabilir. Bu nedenle, şehirlerdeki katı atık yönetim sistemi önemli bir karar verme problemi olarak görünmektedir.

Tezin bu bölümünde, entegre katı atık yönetim sisteminin geliştirilmesinde yerel yönetimlerin karar vermesine yardımcı olmak amacıyla bir karar destek sisteminin yapısı oluşturulmuş ve uygulaması ortaya konmuştur. Bu sistem, kısıtlandırılmış bir doğrusal olmayan optimizasyon probleminin çözümüne dayanmaktadır. Amaç fonksiyonu, tüm olası ekonomik maliyetleri kapsarken, geri dönüşüm, kompostlama, yakma ve düzenli depolama süreçleri için en az gereksinimler, kapasite kısıtları ve kütle dengeliği ile ilgili kısıtlar da dikkate alınmıştır. Bu karar destek sistemi lisanslı Lingo 9.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak Eskişehir'e uygulanmıştır.

Lingo, Lindo Systems Inc. Şirketi tarafından geliştirilmiş, doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel modelleri çözebilen bir eniyileme yazılımı ve modelleme dilidir. Lingo'da matematiksel modeller kapalı halde yazılabilmekte ve diğer Windows programları ile bilgi alışverişi kolaylıkla mümkün olabilmektedir. Lingo, çözebildiği karar modeli boyutlarına göre farklı isimlerde anılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve 050239 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında alınan Lingo 9.0 genişletilmiş versiyonunda; toplam değişken, en büyük tamsayı değişken, en büyük doğrusal olmayan değişken ve toplam kısıt sayıları sınırsız olarak kullanılabilir (Schrage, 2005; Lingo Kullanım Kılavuzu, 2004).

Önerilen modelde, tezin daha önceki bölümlerinde gerçekleştirilen LCA ve ELECTRE çalışmaları esas alınmış ve bu amaçla aşağıdaki 4 farklı senaryo

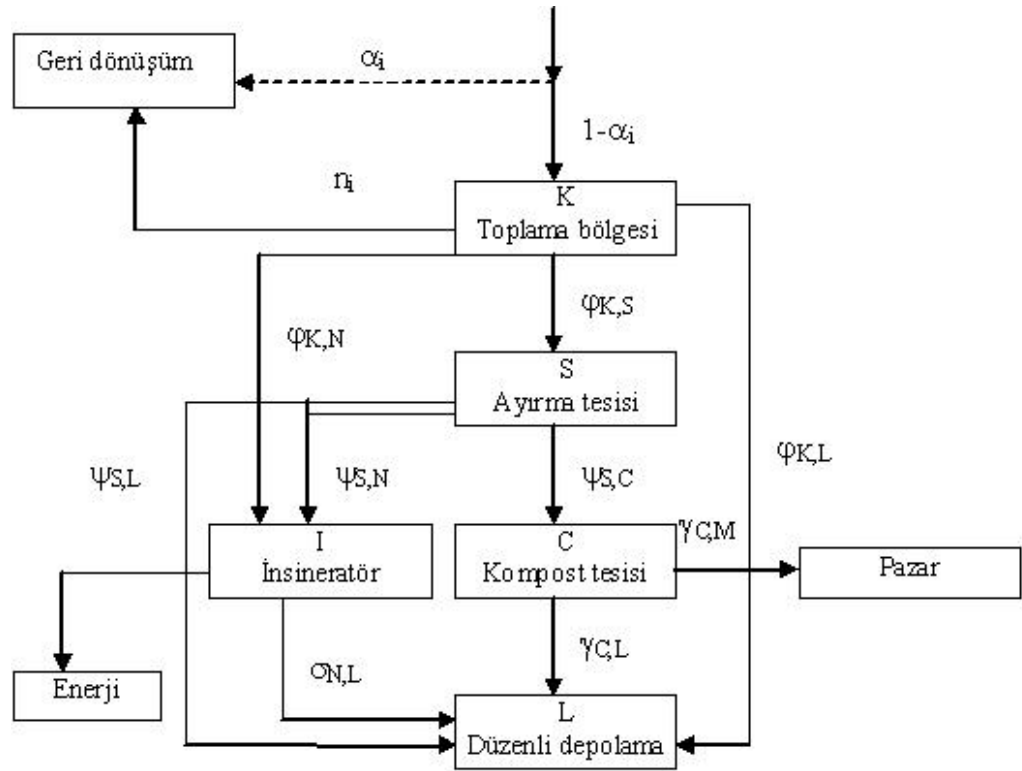
oluşturularak, problem Lingo 9.0 optimizasyon yazılımı ile çözülmüştür. Modelde 6 farklı atık grubu dikkate alınmıştır (0, inert madde; 1, kağıt-karton; 2, plastik; 3, cam; 4, metal ve 5, organik madde). Elde edilen sonuçlar 7. Bölümde verilmiştir. Modelin ayrıntılı gösterimi Şekil 6.12’de verilmiştir.

Senaryo 1: mevcut durum (kısmen geri dönüşüm ve vahşi depolama)

Senaryo 2: geri dönüşüm, kompostlama ve düzenli depolama

Senaryo 3: geri dönüşüm, yakma, düzenli depolama

Senaryo 4: geri dönüşüm, kompostlama, yakma ve düzenli depolama



Şekil 6.12. Modelin şematik gösterimi

Çalışmada kullanılan karar değişkenleri ve diğer gösterimler Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Doğrusal olmayan optimizasyon çalışmasında kullanılan gösterimler

| Gösterim | Açıklama |
|----------------------------------|---|
| Karar değişkenleri | |
| α_1 | Geri dönüştürülen kağıt/karton yüzdesi |
| α_2 | Geri dönüştürülen plastik yüzdesi |
| α_3 | Geri dönüştürülen cam yüzdesi |
| α_4 | Geri dönüştürülen metal yüzdesi |
| α_5 | Geri dönüştürülen organiklerin yüzdesi |
| $\Phi_{K,S}$ | Toplama bölgesinden ayırma tesisine gönderilen arıtılmamış atığın kesri |
| $\Phi_{K,N}$ | Toplama bölgesinden insineratöre gönderilen arıtılmamış atığın kesri |
| $\Phi_{K,L}$ | Toplama bölgesinden depolama sahasına gönderilen arıtılmamış atığın kesri |
| $\Psi_{S,C}$ | Ayrırma tesisinden kompost tesisine gönderilen atığın kesri |
| $\Psi_{S,N}$ | Ayrırma tesisinden insineratöre gönderilen atığın kesri |
| $\Psi_{S,L}$ | Ayrırma tesisinden depolama sahasına gönderilen atığın kesri |
| $\sigma_{N,L}$ | İnsineratörden depolama sahasına gönderilen atığın kesri |
| $\gamma_{C,L}$ | Kompost tesisinden depolama sahasına gönderilen atığın kesri |
| $\gamma_{C,M}$ | Kompost tesisinden pazara gönderilen atığın kesri |
| δ_s | Ayrırma tesisiyle ilgili ikili karar değişkeni |
| δ_c | Kompost tesisiyle ilgili ikili karar değişkeni |
| δ_L | Depolama sahasıyla ilgili ikili karar değişkeni |
| δ_N | İnsineratörle ilgili ikili karar değişkeni |
| Diğerleri | |
| K | Toplama bölgesi sayısı |
| S | Ayrırma tesisi sayısı |
| C | Kompost tesisi sayısı |
| N | İnsineratör sayısı |
| L | Depolama sahası sayısı |
| m | Ayrırmadan sonra geri dönüşüme gönderilen i malzemesinin kesri |
| r | i malzemesinin günlük miktarı |
| $\lambda_{K,i}$ | Toplama bölgelerinde toplanan r'nin kesri |
| $\eta_{s,i}$ | Ayrırma tesisinin ayırma verimi |
| $\tilde{\eta}_{c,i}$ | Organik malzemelerin kompostlanması verimi |
| M _{lm} | Depolama sahasının ömrünü dolduracak atık kütlesi |
| T _{lm} | Depolama sahasının ömrünü doldurması için izin verilen en az süre |
| t | Bir yıldaki çalışma günü sayısı |
| h _i | Stabilizasyondan sonra kompostta mevcut olan i malzemesinin nem içeriği |
| \bar{K}, H | Sabitler |
| C _i ve N _i | Her bir i malzemesinin kompost malzemesindeki karbon ve azot içeriği |
| CM | Pazarlama koşullarıyla ilgili sabit değişken |
| A | Çok büyük sayı |
| $M_{a,s}$ | Ayrırma tesisinin boyutu için en alt sınır |
| $M_{b,s}$ | Ayrırma tesisinin boyutu için en üst sınır |
| $M_{a,c}$ | Kompost tesisinin boyutu için en alt sınır |
| $M_{b,c}$ | Kompost tesisinin boyutu için en üst sınır |
| $M_{a,N}$ | İnsineratör boyutu için en alt sınır |
| $M_{b,N}$ | İnsineratör boyutu için en üst sınır |
| C'_{ij} | i'inci malzemenin j'ninci toplama metodu için birim maliyet |
| ω_{ij} | j'inci yöntemle toplanan i malzemesinin kesri |

Çizelge 6.7. (Devam) Doğrusal olmayan optimizasyon çalışmasında kullanılan gösterimler

| Gösterim | Açıklama |
|---|---|
| ρ | Malzeme yoğunluğu |
| $\hat{Q}_{K,L}$ | Toplama bölgesinden depolama sahasına taşınan yıllık atık hacmi |
| $C_{K,L}$ | Toplama bölgesinden depolama sahasına sefer maliyeti |
| $V_{K,L}$ | Toplama bölgesinden depolama sahasına atık taşımak için kullanılan aracın kapasitesi |
| $\hat{Q}_{K,S}$ | Toplama bölgesinden ayırma tesisine taşınan yıllık atık hacmi |
| $C_{K,S}$ | Toplama bölgesinden ayırma tesisine sefer maliyeti |
| $V_{K,S}$ | Toplama bölgesinden ayırma tesisine atık taşımak için kullanılan aracın kapasitesi |
| $\hat{Q}_{K,N}$ | Toplama bölgesinden insineratöre taşınan yıllık atık hacmi |
| $C_{K,N}$ | Toplama bölgesinden insineratöre sefer maliyeti |
| $V_{K,N}$ | Toplama bölgesinden insineratöre atık taşımak için kullanılan aracın kapasitesi |
| $\hat{Q}_{S,N}$ | Ayırma tesisinden insineratöre taşınan yıllık atık hacmi |
| $C_{S,N}$ | Ayırma tesisinden insineratöre sefer maliyeti |
| $V_{S,N}$ | Ayırma tesisinden insineratöre atık taşımak için kullanılan aracın kapasitesi |
| $\hat{Q}_{S,L}$ | Ayırma tesisinden depolama sahasına taşınan yıllık atık hacmi |
| $C_{S,L}$ | Ayırma tesisinden depolama sahasına sefer maliyeti |
| $V_{S,L}$ | Ayırma tesisinden depolama sahasına atık taşımak için kullanılan aracın kapasitesi |
| $\hat{Q}_{S,C}$ | Ayırma tesisinden kompost tesisine taşınan yıllık atık hacmi |
| $C_{S,C}$ | Ayırma tesisinden kompost tesisine sefer maliyeti |
| $V_{S,C}$ | Ayırma tesisinden kompost tesisine atık taşımak için kullanılan aracın kapasitesi |
| $\hat{Q}_{C,L}$ | Kompost tesisinden ayırma tesisine taşınan yıllık atık hacmi |
| $C_{C,L}$ | Kompost tesisinden ayırma tesisine sefer maliyeti |
| $V_{C,L}$ | Kompost tesisinden ayırma tesisine atık taşımak için kullanılan aracın kapasitesi |
| $\hat{Q}_{N,L}$ | İnsineratörden depolama sahasına taşınan yıllık atık hacmi |
| $C_{N,L}$ | İnsineratörden depolama sahasına sefer maliyeti |
| $V_{N,L}$ | İnsineratörden depolama sahasına atık taşımak için kullanılan aracın kapasitesi |
| $\bar{Q}_{K,S}$ | Toplama bölgesinden gelen ayırma tesisinde işlem gören malzemenin yıllık kütlesi |
| $\bar{Q}_{S,C}$ | Ayırma tesisinden gelen kompost tesisinde işlem gören malzemenin yıllık kütlesi |
| $\bar{Q}_{K,L}, \bar{Q}_{S,L}, \bar{Q}_{C,L}$ | Toplama bölgesinden, ayırma tesisinden ve kompost tesisinden depolama sahasına gönderilen atığın yıllık kütlesi |
| C_S | Ayırma tesisinin birim yatırım ve işletme maliyetleri |
| C_C | Kompost tesisinin birim yatırım ve işletme maliyetleri |
| C_L | Depolama sahasının birim yatırım ve işletme maliyetleri |
| C_N | İnsineratörün birim yatırım ve işletme maliyetleri |
| C | Geri dönüştürülen malzemelerin birim geliri |
| CN | 1 kWh elektrik enerjisinden elde edilen gelir |
| E_N | İnsineratörde üretilen elektrik enerjisi |
| ξ_N | İnsineratöre giren atıkların kütlece küle dönüşme yüzdesi |
| HV | i malzemesinin ısı değeri |
| G | 1 kg suyu buharlaştırmak için gerekli ısı (606,5 kcal/kg) |

6.2.3.1. Amaç fonksiyonu

Amaç fonksiyonu; olası gelirlerle birlikte, geri dönüşüm, taşıma ve tesis maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

- 1. Geri dönüşüm maliyetleri:** Geri dönüşümün iki farklı yöntemle ($j=1, \dots, 2$; 1, evlerden ve 2, geri kazanım konteynerlerinden) yapılacağı düşünülmüştür. ω_{ij} , j metoduyla toplanan i malzemesinin kesrini göstermektedir. C_{ij}^r ise j yöntemiyle toplanan i malzemesi için birim maliyettir. Böylece, yıllık geri dönüşüm maliyeti aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$C^r = t \sum_{i=1}^5 \left(\left(\sum_{j=1}^2 C_{ij}^r r_i \alpha_i \omega_{ij} \right) \right) \quad (6.4)$$

- 2. Taşıma maliyetleri:** Toplam yıllık taşıma maliyeti Çizelge 6.8’de verilen maliyetleri içermektedir.
- 3. Tesis maliyetleri:** Tesis maliyetleri; tesislerin kurulum, bakım ve idari maliyetleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} C^p = & \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \bar{Q}_{K,S} C_S + \sum_{s=1}^S C_{F,S} \delta_S + \sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C \bar{Q}_{S,C} C_C + \sum_{c=1}^C C_{F,C} \delta_C + \\ & \sum_{n=1}^N \left(\sum_{k=1}^K \bar{Q}_{K,N} + \sum_{s=1}^S \bar{Q}_{S,N} \right) C_N + \sum_{n=1}^N C_{F,N} \delta_N + \\ & \sum_{l=1}^L \left(\sum_{k=1}^K \bar{Q}_{K,L} + \sum_{s=1}^S \bar{Q}_{S,L} + \sum_{c=1}^C \bar{Q}_{C,L} + \sum_{n=1}^N \bar{Q}_{N,L} \right) C_L + \sum_{l=1}^L C_{F,L} \delta_L \end{aligned} \quad (6.22)$$

- 4. Gelirler:** Yakmadan elde edilen enerji gelirleri ve geri dönüştürülebilir malzemelerin satışından elde edilen gelirler dikkate alınmıştır.

$$B = t \left(\sum_{i=1}^5 C_i r_i \alpha_i + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,N} + \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1 - n_i) (1 - \eta_i) \psi_{S,N} \right) E_N C N_N \quad (6.23)$$

6.2.3.2. Kısıtlar

Bu optimizasyon probleminde 7 farklı kısıt göz önüne alınmıştır. Bunlar;

- Geri dönüşümle ilgili en az gereksinimler,
- Düzenli depolama sahasına malzeme akışı ile ilgili kısıtlar,
- İnsinerator tesisi ile ilgili kısıtlar,
- Kompostlama ile ilgili kısıtlar,
- Kütlenin korunumu,
- Bir tesisin varlığı ve
- Tesislere malzeme girişi ile ilgili kısıtlardır.

1. Geri dönüşüm ile ilgili kısıtlar: Eskişehir'deki geri dönüştürülebilir ambalaj atığı miktarı %20 ve organik atık miktarı yaklaşık %60 olduğundan, bu değerler kısıt olarak değerlendirilmiştir.

(ayrı toplamayla geri kazanılan malzemeler) + (ayırma tesisinde ayrılan malzemeler) \leq % 20 (toplam atığın)

$$\sum_{i=1}^5 \alpha_i r_i + \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^5 m_i (1 - \alpha_i) r_i \chi_{k,i} \phi_{k,s} \leq 0.2 \sum_{i=0}^5 r_i \quad (6.24)$$

(kompostlanan organik malzeme) \leq % 60 (toplam atığın)

$$\sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{k,i} \phi_{k,s} (1 - m_i) \eta_{s,i} \tilde{\eta}_{c,i} \leq 0.6 \sum_{i=0}^5 r_i \quad (6.25)$$

Çizelge 6.8. Taşıma maliyetleri

| | | | |
|---|------------------------|---|--------|
| Toplama bölgesinden düzenli depolama sahasına | Yıllık atık hacmi | $\hat{Q}_{K,L} = t \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,L} / \rho_{K,L}$ | (6.5) |
| | Toplam taşıma maliyeti | $\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{\hat{Q}_{K,L} C_{K,L}}{V_{K,L}}$ | (6.6) |
| Toplama bölgesinden insineratöre | Yıllık atık hacmi | $\hat{Q}_{K,N} = t \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,N} / \rho_{K,N}$ | (6.7) |
| | Toplam taşıma maliyeti | $\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \frac{\hat{Q}_{K,N} C_{K,N}}{V_{K,N}}$ | (6.8) |
| Toplama bölgesinden ayırma tesisine | Yıllık atık hacmi | $\hat{Q}_{K,S} = t \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} / \rho_{K,S}$ | (6.9) |
| | Toplam taşıma maliyeti | $\sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \frac{\hat{Q}_{K,S} C_{K,S}}{V_{K,S}}$ | (6.10) |

Çizelge 6.8. (Devam) Taşıma maliyetleri

| | | | |
|-------------------------------------|------------------------|--|--------|
| Ayırma tesisinden depolama sahasına | Yıllık atık hacmi | $\hat{Q}_{S,L} = t \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1 - n_i) (1 - \eta_i) \psi_{S,L} / \rho_{S,L}$ | (6.11) |
| | Toplam taşıma maliyeti | $\sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L \frac{\hat{Q}_{S,L} C_{S,L}}{V_{S,L}}$ | (6.12) |
| Ayırma tesisinden insineratöre | Yıllık atık hacmi | $\hat{Q}_{S,N} = t \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1 - n_i) (1 - \eta_i) \psi_{S,N} / \rho_{S,N}$ | (6.13) |
| | Toplam taşıma maliyeti | $\sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \frac{\hat{Q}_{S,N} C_{S,N}}{V_{S,N}}$ | (6.14) |
| Ayırma tesisinden kompost tesisine | Yıllık atık hacmi | $\hat{Q}_{S,C} = t \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1 - n_i) \eta_i / \rho_{S,C}$ | (6.15) |
| | Toplam taşıma maliyeti | $\sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C \frac{\hat{Q}_{S,C} C_{S,C}}{V_{S,C}}$ | (6.16) |

Çizelge 6.8. (Devam) Taşıma maliyetleri

| | | | |
|---|------------------------------|---|--------|
| Kompost tesisinden depolama sahasına | Yıllık atık hacmi | $\hat{Q}_{C,L} = t \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1 - n_i) \eta_i \gamma_{C,L} / \rho_{C,L}$ | (6.17) |
| | Toplam taşıma maliyeti | $\sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L \frac{\hat{Q}_{C,L} C_{C,L}}{V_{C,L}}$ | (6.18) |
| İnsineratörden depolama sahasına | Yıllık atık hacmi | $\hat{Q}_{N,L} = t \xi_N \left(\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1 - n_i) (1 - \eta_i) \psi_{S,N} / \rho_{S,N} + \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} / \rho_{K,N} \right) \sigma_{N,L}$ | (6.19) |
| | Toplam taşıma maliyeti | $\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \frac{\hat{Q}_{N,L} C_{N,L}}{V_{N,L}}$ | (6.20) |
| Toplam taşıma maliyeti | | $C^t = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{\hat{Q}_{K,L} C_{K,L}}{V_{K,L}} + \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \frac{\hat{Q}_{K,S} C_{K,S}}{V_{K,S}} + \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \frac{\hat{Q}_{K,N} C_{K,N}}{V_{K,N}} + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L \frac{\hat{Q}_{S,L} C_{S,L}}{V_{S,L}} + \sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C \frac{\hat{Q}_{S,C} C_{S,C}}{V_{S,C}} + \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \frac{\hat{Q}_{S,N} C_{S,N}}{V_{S,N}} + \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \frac{\hat{Q}_{N,L} C_{N,L}}{V_{N,L}} + \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L \frac{\hat{Q}_{C,L} C_{C,L}}{V_{C,L}}$ | (6.21) |

2. **Düzenli depolama sahasına malzeme akışı ile ilgili kısıtlar:** Kurulacak modelin sürdürülebilirliği ve depolama sahasının kullanım ömrünün artırılması amacıyla bu kısıt dikkate alınmıştır.

$$\begin{aligned}
& \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^5 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,L} + \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{i=0}^5 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1-m_i) (1-\eta_{S,i}) \psi_{S,L} \\
& + \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C \sum_{i=0}^5 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1-m_i) \eta_{S,i} (1-\tilde{\eta}_{C,i}) \gamma_{C,L} + \\
& \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{i=0}^5 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,N} \xi_N \sigma_{N,L} + \\
& \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \sum_{i=0}^5 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1-m_i) (1-\eta_i) \psi_{S,N} \xi_N \sigma_{N,L} \leq \frac{M_{LM}}{T_{LM} t} \quad (6.26)
\end{aligned}$$

3. **İnsineratör tesisi ile ilgili kısıtlar:** İnsineratör tesisi ile ilgili olarak, sisteme en az ve en fazla kütle girdileri ve ısı değerler göz önüne alınmıştır.

Kütle kısıtı:

$$\begin{aligned}
M_{a,N} \delta_N & \leq \frac{1}{24} \left(\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^5 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,N} + \right. \\
& \left. \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{i=0}^6 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} \psi_{S,N} (1-m_i) (1-\eta_i) \right) \leq M_{b,N} \delta_N \quad (6.27)
\end{aligned}$$

Isıl değer kısıtı:

Artılmamış atığın ısı değeri:

$$a_N \delta_N \leq \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^6 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,N} (HV_i (1-HUM_i) - G.HUM_i)}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^6 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,N}} \leq b_N \delta_N \quad (6.28)$$

Ayırma tesisinden gelen atığın ısı değeri:

$$a_N \delta_N \leq \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{i=0}^6 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,N} (1-m_i)(1-\eta_i) / \lambda_{S,N} (HV_i(1-HUM_i) - G.HUM_i)}{\sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{i=0}^6 (1-\alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,N} (1-m_i)(1-\eta_i) / \lambda_{S,N}} \leq b_N \delta_N \quad (6.29)$$

4. Kompost tesisi ile ilgili kısıtlar: Bu kısıtta iyi kalitede kompost üretimini garantiye almak için, nem, karbon ve azot miktarları dikkate alınmıştır.

$$\left\{ \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \varphi_{K,S} \psi_{S,C} \bar{K} \right\} - H \left\{ \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^5 (1-\alpha_i) r_i \varphi_{K,S} (1-m_i) \eta_i \psi_{S,C} \tilde{\eta} (1-h_i) \right\} \leq 0$$

$c=1, \dots, C$ (6.30)

\bar{K} ve H aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\bar{K} = \sum_{i=1}^5 (1-\alpha_i) r_i (1-m_i) \eta_i \tilde{\eta} (0.3N_i - C_i) \quad \text{and } H = -0.4 \quad (6.31)$$

5. Kütle denklği eşitlikleri: Şekil 6.11’de gösterilen her bir kesim noktası için kütle denklği eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sum_{l=1}^L \varphi_{K,L} + \sum_{s=1}^S \varphi_{K,S} = 1 \quad k=1, \dots, K, \quad (6.32)$$

$$\sum_{l=1}^L \psi_{S,L} + \sum_{c=1}^C \psi_{S,C} = \delta_s \quad s=1, \dots, S, \quad (6.33)$$

$$\sum_{l=1}^L \gamma_{C,L} = \delta_c \quad c=1, \dots, C, \quad (6.34)$$

$$\sum_{l=1}^L \sigma_{N,L} = \delta_N \quad n=1, \dots, N. \quad (6.35)$$

6. Tesislerin varlığı/yokluğu ile ilgili kısıtlar: Bir karar verme probleminde tesislerin varlığı/yokluğu ile ilgili bir kısıt mutlaka olmalıdır. Tesisin yokluğu durumunda, o tesisle ilgili diğer hesaplamaların yapılmasına da gerek kalmaz. O nedenle, söz konusu modeldeki tüm tesisler için böyle bir kısıt eklenmiştir.

$$\sum_{k=1}^K \varphi_{K,S} - \delta_s \Lambda \leq 0 \quad s=1, \dots, S, \quad (6.36)$$

$$\sum_{s=1}^S \psi_{S,C} - \delta_C \Lambda \leq 0 \quad c=1, \dots, C, \quad (6.37)$$

$$\sum_{k=1}^K \varphi_{K,N} + \sum_{s=1}^S \psi_{S,N} - \delta_N \Lambda \leq 0 \quad n=1, \dots, N, \quad (6.38)$$

$$\sum_{k=1}^K \varphi_{K,L} + \sum_{s=1}^S \psi_{S,L} + \sum_{c=1}^C \gamma_{C,L} + \sum_{n=1}^N \sigma_{N,L} - \delta_L \Lambda \leq 0 \quad l=1, \dots, L. \quad (6.39)$$

7. Tesislere malzeme girişi ile ilgili kısıtlar: Bazı durumlarda, tesislere giren malzeme akışı, tesisin teknik performansını etkileyecektir. Bu nedenle, bu kısıtta tesislere en az ve en fazla kütle girişi olması halindeki durum dikkate alınmıştır.

$$M_{a,S} \delta_S \leq \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} \leq M_{b,S} \delta_S \quad s=1, \dots, S, \quad (6.40)$$

$$M_{a,C} \delta_C \leq \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C \sum_{i=0}^5 (1 - \alpha_i) r_i \chi_{K,i} \varphi_{K,S} (1 - \eta_i) \psi_{S,C} \leq M_{b,C} \delta_C \quad c=1, \dots, C. \quad (6.41)$$

6.3. Geri Kazanım Sisteminin Belirlenmesi

Bu tezde, mevzuat gereği alt kademe belediyelerinin sorumluluk alanı içinde bulunan geri kazanım programının oluşturulmasıyla ilgili 5 tane senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolar Analitik Serim Süreci (ANP) ve ELECTRE III yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, optimum geri kazanım sisteminin belirlenebilmesi amacıyla, 5 senaryo ve 20 ölçüt oluşturulmuştur. Mevcut durumda, sokak toplayıcıları+şehrin muhtelif yerlerindeki geri kazanım konteynerleri + sahada ayırma söz konusudur. Planlı bir geri kazanım sistemi olmadığından, söz konusu koşulların, yasal/teknik/ekonomik açıdan diğer senaryolarla karşılaştırılması mümkün olmamıştır.

Senaryo 1a: %10 kaynakta ayrı toplama (geri dönüşümü olan atıklar bir arada) + % 5 ayıklama tesisinde ayırma.

Senaryo 1b: %10 kaynakta ayrı toplama (geri dönüşümü olan atıklar 4 ayrı grup-kağıt/karton, metal, plastik, cam- halinde) + % 5 ayıklama tesisinde ayırma.

Senaryo 2: %10 geri kazanım konteynerlerinde toplama + % 5 ayıklama tesisinde ayırma.

Senaryo 3a: %8 kaynaktan ayrı toplama (geri dönüşümü olan atıklar bir arada) + % 3,5 geri kazanım konteynerlerinde toplama + % 3,5 ayıklama tesisinde ayırma.

Senaryo 3b: % 8 kaynaktan ayrı toplama (geri dönüşümü olan atıklar 4 ayrı grup-kağıt/karton, metal, plastik, cam- halinde) + % 3,5 geri kazanım konteynerlerinde toplama + % 3,5 ayıklama tesisinde ayırma.

6.3.1. ANP yöntemi

Bu çalışmada; ANP yöntemi yaklaşımıyla, BOCR (Fayda-Fırsat-Maliyet-Risk) Modeli, fayda ve fırsat kümeleri birlikte ele alınarak BCR (Fayda-Maliyet-Risk) şeklinde kurulmuştur. BOCR modelinde fırsat kümesindeki faktörler fayda kümesindeki faktörlerin alt kümesi durumunda olduğundan, bu iki küme birarada alınmıştır. Oluşturulan modelin uygulanması amacıyla, senaryolar oluşturulmuş ve belirlenen ölçütlere göre ANP yöntemi kullanılmıştır. Senaryolar Superdecision yazılımı ile değerlendirilmiştir.

Oluşturulan BCR Modelinde kullanılan ağırlıklandırılmalar ve formülasyon şu şekildedir:

- Fayda = 1/6
- Maliyet = 1/3
- Risk = 1/2

$$\text{Formül: } \textit{fayda} + \frac{1}{\textit{maliyet}} + \frac{1}{\textit{risk}} \quad (6.42)$$

Fayda kümesindeki ölçütler:

İstihdam: Atıkların toplanması, taşınması ve ayrılması aşamasında yeni istihdam alanları yaratılabilir.

Estetik: Atıklar, kuşlar ve kamyonlar estetik kirliliğe neden olur.

Gelişime açıklık: Sistemin diğer bölgelere yaygınlaştırılabilir olması gerekir.

Atık kalitesi: Atık kalitesinin yüksek olması, elde edilecek geliri doğrudan etkileyeceği için, en önemli ölçütlerden birisidir. Atıkların kaynağında biriktirilmesi, toplanması, taşınması esnasındaki faktörler göz önüne alınarak değerlendirme yapılmıştır.

Gelir: Atıkların geri kazanılması esnasında meydana gelen kayıplar, Senaryo 1a ve 3a için % 30, Senaryo 1b ve 3b için % 10, Senaryo 2 için % 20 ve ayırma tesisi için % 50 olarak kabul edilmiştir. Kentsel katı atık karakterizasyon çalışmalarından elde edilen geri kazanılabilir atık yüzdelerine göre atık miktarları hesaplanmış ve aşağıda verilen ton başına gelirler kullanılarak toplam gelirler hesaplanmıştır.

- Kağıt/karton: 65 \$/ton
- Plastik: 150 \$/ ton
- Metal: 65 \$/ ton
- Cam: 13 \$/ton

Zaman: Zamandan tasarruf, enerji tasarrufunu da getireceğinden, ekonomik açıdan önemli bir ölçüttür.

Maliyet kümesindeki ölçütler:

Maliyet hesaplamaları için, sıkıştırılmamış atık yoğunluğu 0,6 ton/m³ olarak alınmış ve günlük geri kazanılabilir atık hacmi 187,5 m³ olarak hesaplanmıştır. Bir yıldaki çalışma süresi 300 gün olarak kabul edilmiştir. Ayrıca,

- Senaryo 1a ve 1b için, 2 vardiyada 1'er sefer yapan 6 araç (1 araçta 2 işçi ve 1 şoför),
 - Senaryo 2 için, 3 vardiyada 2'şer sefer yapan 2 araç (1 araçta 1 işçi ve 1 şoför),
 - Senaryo 3a ve 3b için, 2 sefer yapan 6 araç (10 işçi ve 6 şoför, geri kazanım konteynerleri için 1 işçi olmak üzere),
- kullanılacağı düşünülmüştür.

Hesaplanan tüm maliyet değerleri Çizelge 6.9'da verilmiştir. Ayrıca, dikkate alınan maliyet türleri aşağıda açıklanmıştır.

Tesis: İlk yatırım maliyeti, toplam maliyet içinde önemli bir yer tutar. Atıkların biriktirme, toplanma, taşınma şekli ne olursa olsun, toplam miktarda değişim olmayacağından, aynı özelliklerde ve kapasitede tesis kurulacağı düşünülmüştür. O nedenle, tüm senaryolarda atık miktarı için 10 ton/gün.vardiya kapasiteli orta ölçekli ayırma tesisi (besleme bunker, yükleme bandı, ön ayırma bandı, tambur elek son ayırma bandı çalışma platformu, manyetik seperatör, hidrolik pres

malzeme biriktirme konteynerleri) uygun görülmüştür. Bu tesisin maliyeti bina hariç, elektrik donanımı dahil, yaklaşık 110.000 \$'dır. Tesis için yaklaşık 1.000 m² kapalı alanı olan bir bina yeterli olabilmektedir. Bina maliyetinin yaklaşık 140.000\$ olacağı düşünülmüştür.

Bu durumda, tesis için toplam ilk yatırım maliyeti: 250.000\$'dır.

Donanım: Donanım olarak geri kazanım konteynerleri dikkate alınmıştır. Senaryo 1a,1b'de geri kazanım konteyneri kullanılmayacaktır. Bu nedenle, sadece Senaryo 2,3a ve 3b için hesaplamalar yapılmıştır. 0,7 m³ kapasiteli konteyner (11x10,6x6 dm³ Tekerlekli Konteyner) fiyatı 870\$ olarak alınmıştır.

Araç: Kullanılacak kamyon, Fatih 180 (4x2) tahrikli ilave dingilsiz şasiye monteli 6 lastik 13+1,5 m³ kapasiteli hidrolik sıkıştırırmalı çöp kamyonu olarak seçilmiş ve fiyatı 90.000\$ olarak alınmıştır.

Personel: Ayırma tesisinde 1 ustabaşı ve 7 işçi çalışacağı ve ustabaşı maaşının araç şoförü maaşıyla aynı olacağı düşünülmüştür. Şoför giderleri (maaş, sigorta, yemek, ulaşım) 480 \$/ay ve işçi giderleri (maaş, sigorta, yemek, ulaşım) 380 \$/ay olarak alınmıştır.

Taşıma: Atıkların nakliyesinde kullanılan araçların yakıt giderleri nedeniyle, araç ve sefer sayıları açısından kıyaslama yapılmıştır. Dolu bir kamyonun km'de 0,4 L motorin harcadığı, şehrin 10 km uzağındaki tesise gidiş dönüş 20 km, 5 km'de şehir içi dolaşım eklenirse bir seferde 25 km yol kat edeceği kabul edilmiş ve motorin fiyatı 2,32 \$/L olarak alınarak taşıma giderleri hesaplanmıştır.

Bakım-onarım: Yıllık bakım onarım maliyeti taşıma araçları için ilk yatırım maliyetinin %10'u; ayırma tesisi ve konteynerler için ilk yatırım maliyetinin %5'i olarak belirlenmiştir.

Tanıtım: Sistemin uygun şekilde çalışması ve sürdürülebilir olması için yapılması gereken tanıtım çalışmaları vardır. Bu ölçüt 1-9 derecelendirmesi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Genel giderler: Elektrik-su giderleri ve sarf malzemelerinin maliyetleri dikkate alınmıştır. Genel giderlerin, tesis maliyetinin %10'u olduğu öngörülerek hesaplama yapılmıştır.

Çizelge 6.9. Geri kazanım senaryoları için hesaplanan gelirler ve maliyetler

| | Gelirler (\$/yıl) | Yatırım maliyeti (\$) | Donanım maliyeti (\$) | Araç maliyeti (\$) | Personel maliyeti (\$/yıl) | Taşıma maliyeti (\$/yıl) | Bakım- onarım maliyeti (\$/yıl) | Genel giderler (\$/yıl) |
|-----|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|
| S1a | 2.155.660 | 250.000 | --- | 540.000 | 216.240 | 208.800 | 66.500 | 25.000 |
| S1b | 2.609.480 | 250.000 | --- | 540.000 | 216.240 | 208.800 | 66.500 | 25.000 |
| S2 | 1.815.290 | 250.000 | 233.160 | 180.000 | 99.600 | 208.800 | 42.158 | 25.000 |
| S3a | 2.303.150 | 250.000 | 78.300 | 540.000 | 117.840 | 208.800 | 70.415 | 25.000 |
| S3b | 2.666.210 | 250.000 | 78.300 | 540.000 | 117.840 | 208.800 | 70.415 | 25.000 |

Risk kümesindeki ölçütler:

Halkın katılımı: Halkın katılımı, projenin sürdürülebilirliği açısından çok önemli bir ölçüttür.

Hijyen: İnsan ve çevre sağlığıyla doğrudan ilişkili bir ölçüt olması nedeniyle her aşamada hijyen kurallarına uygunluğa dikkat edilmiştir.

Sokak toplayıcıları: Mevcut durumda sistemin bir parçası olan bu ölçüt, diğer senaryoların uygulanması aşamasında tehlike unsurudur.

Vektörel canlılar: Başboş hayvanlar, hastalık taşıyıcı haşereler, hem sağlık açısından hem de atıkların çevreye dağılmasıyla görüntü kirliliği yaratmaları açısından olumsuz etkiler yaratabilmektedirler.

Trafik yoğunluğu: Atık toplama ve taşıma yöntemine göre araçların yapacağı sefer sayısı temel alınmıştır.

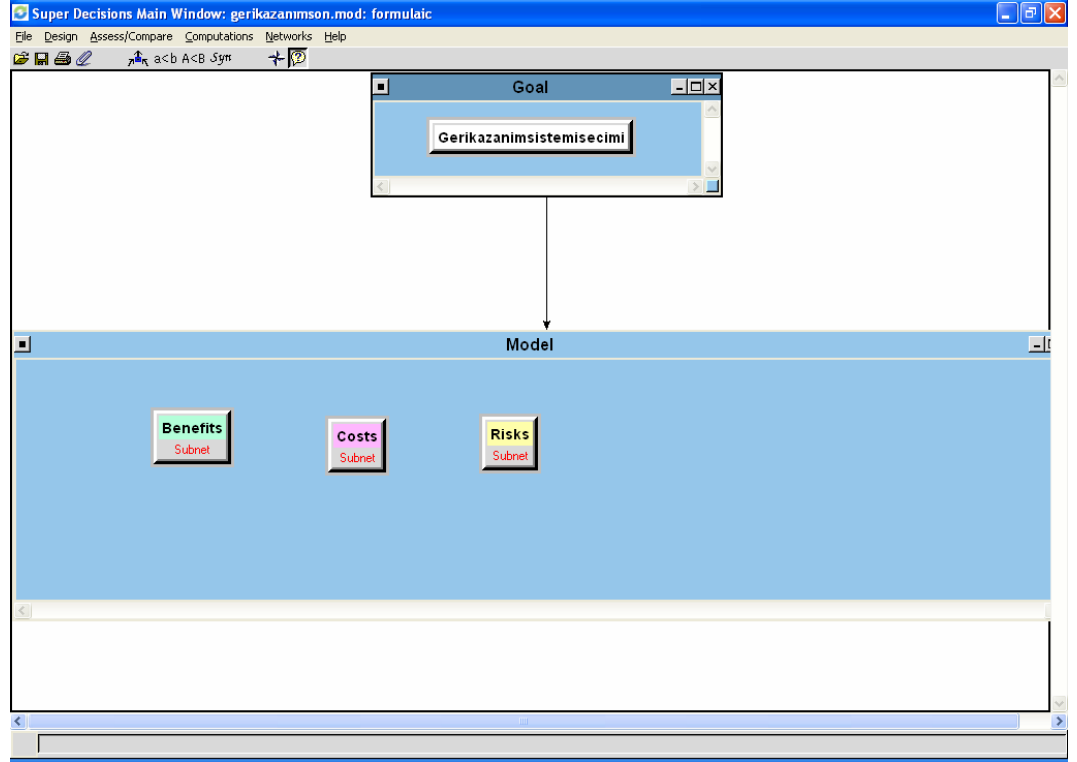
Kaza: Atık toplama, taşıma, tesis faaliyetleri ve geri kazanım konteynerlerindeki olası kazalar dikkate alınmıştır.

Kirlilik yükü: Atık toplama ve taşıma faaliyetleri (egzoz gazları, biriktirme için kullanılan poşetler gibi) sonucunda oluşabilecek kirlilik göz önüne alınmıştır.

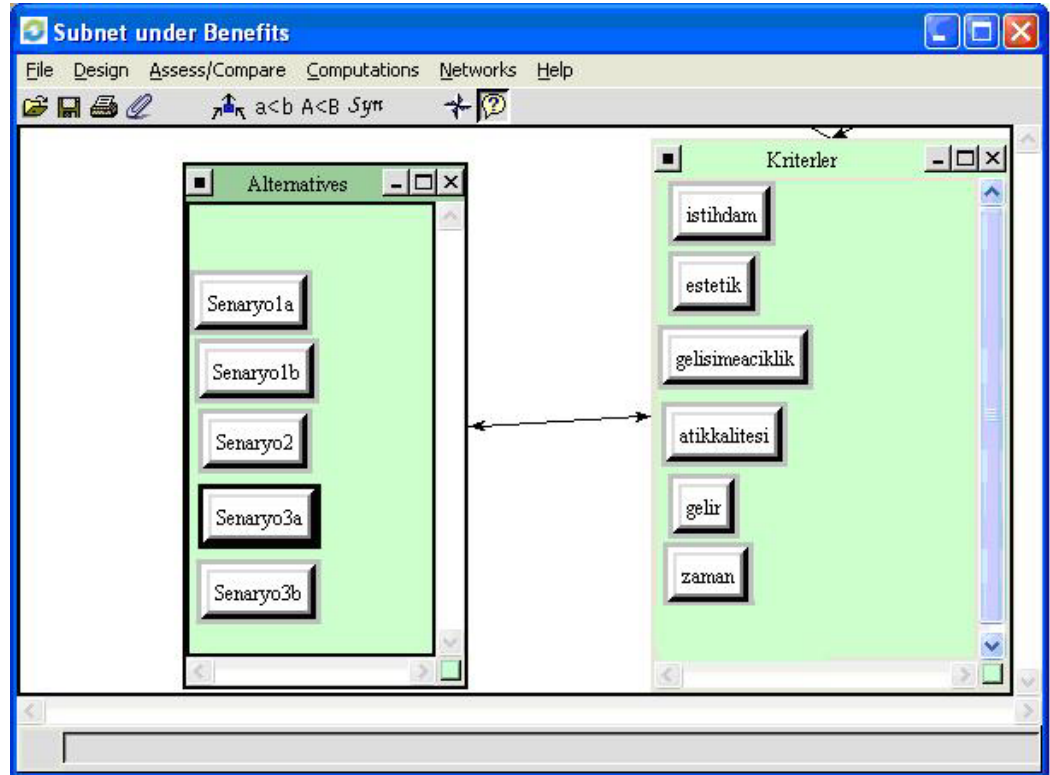
Yangın: Atıkların geri kazanım konteynerlerinde biriktirilmesi ve ayırma tesisinde depolanması aşamalarında meydana gelebilecek yangın tehlikesi dikkate alınmıştır.

Yasaya uygunluk: Senaryoların *Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği* ile uyumu irdelenmiştir.

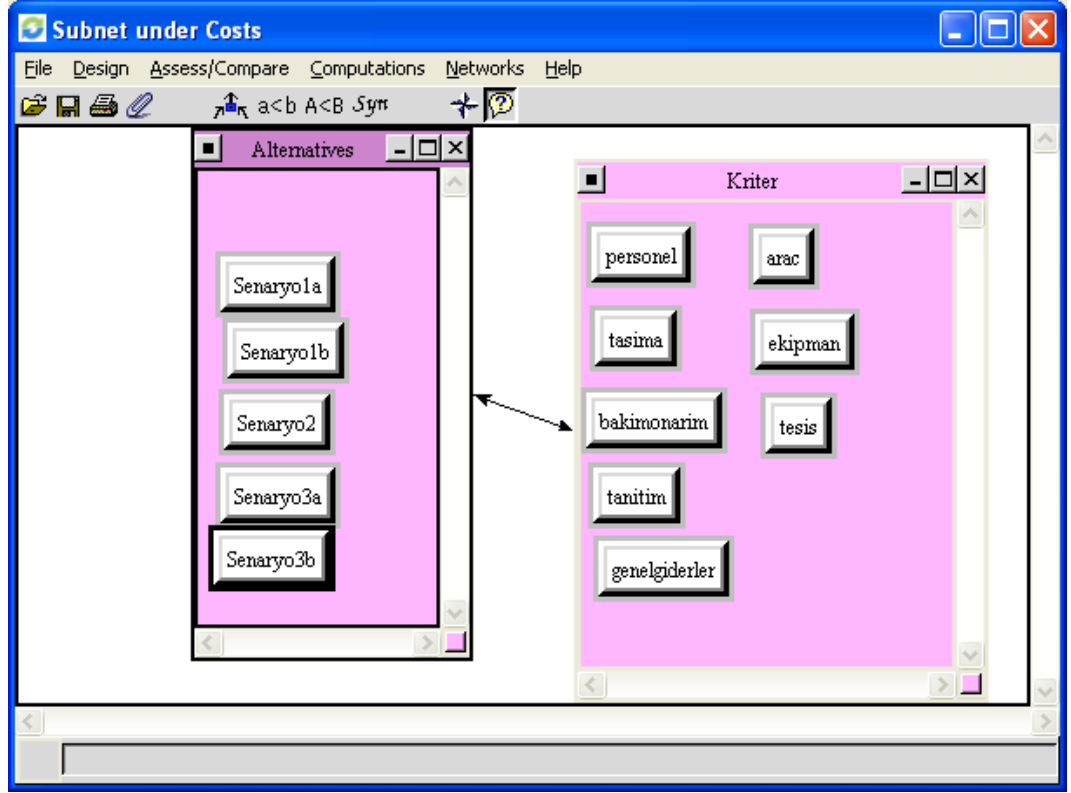
Kullanılan BCR modeli ve ilgili Super Decisions yazılım görüntüleri Şekil 6.13’de, fayda/fırsat, maliyet ve risk kümesi ölçütleri ise Şekil 6.14’de verilmiştir.



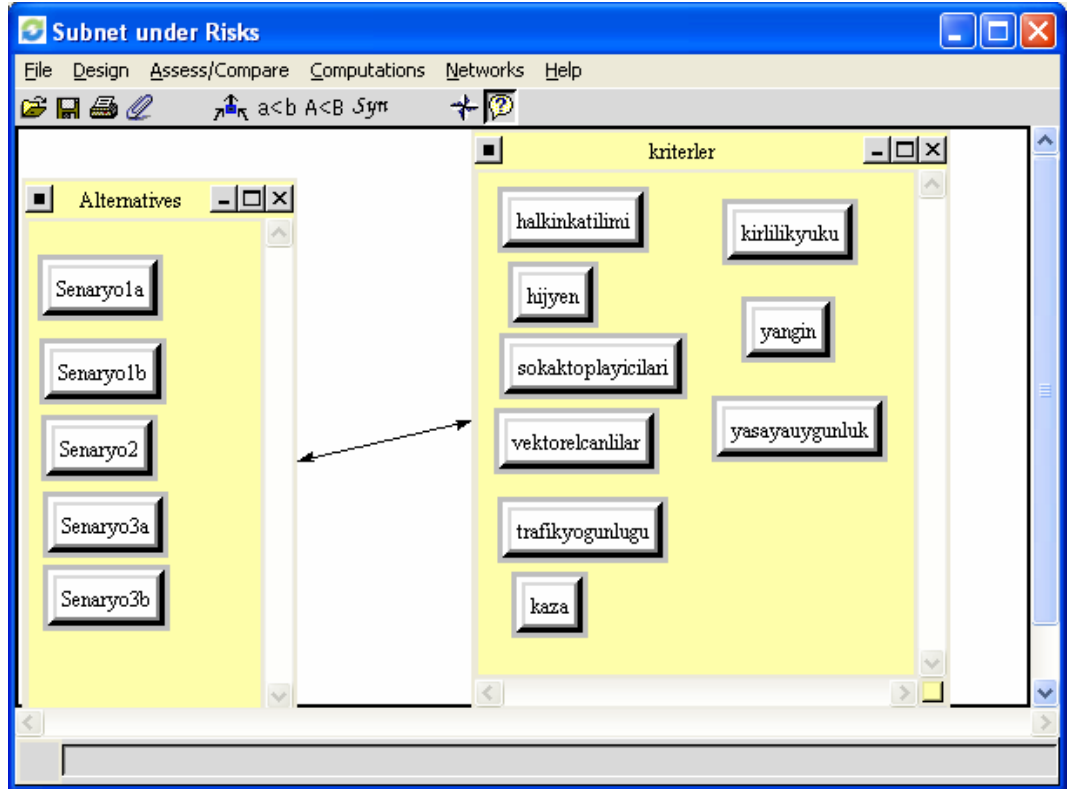
Şekil 6.13. BCR Modeli ve Super Decision yazılım görüntüsü



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.14. Analitik serim süreci çalışmasıyla ilgili yazılım görüntüleri (a) Fayda kümesi ölçütleri (b) Maliyet kümesi ölçütleri (c) Risk kümesi ölçütleri

6.3.2. ELECTRE III yöntemi

Yukarıdaki bölümde verilen senaryolar, ELECTRE III yöntemiyle, Çizelge 6.10’da özellikleri verilen ölçütler doğrultusunda değerlendirilmiştir (Özkan ve Banar, 2007).

Çizelge 6.10. ELECTRE III yöntemiyle yapılan çalışmada kullanılan ölçütler ve özellikleri

| Ölçüt no | Ölçüt adı | Birim Tercih yönü | Açıklama |
|----------|--------------------------|----------------------|--|
| g1 | İstihdam | Puan (1-9) Artan | Sistemde yer alan tüm bileşenlerin yaratacağı istihdam. |
| g2 | Estetik | Puan (1-9) Artan | Atıkların, kuşların ve araçların yaratacağı estetik kirlilik. |
| g3 | Yasaya uygunluk | Puan (1-9) Artan | Türkiye’deki ve AB’deki yasal düzenlemelere uyum. |
| g4 | Atık kalitesi | Puan (1-9) Artan | Geri dönüşüm sanayisinde değerlendirilerek üretilecek yeni ürünün kalitesinin artırılması. |
| g5 | Zaman | Puan (1-9) Azalan | Karar vericiler için süreçlerde en az süre. |
| g6 | Gelir | \$/yıl Artan | Toplanan atıkların geri dönüşüm sanayii’ne satılması sonucu elde edilen gelir. |
| g7 | Tesis ve genel giderler | \$/yıl Azalan | Yapılacak tesis maliyeti ve elektrik, su, sarf malzeme vb. maliyetler. |
| g8 | Donanım ve araç maliyeti | \$ Azalan | Geri kazanım konteynerleri ve araçları. |
| g9 | Personel maliyeti | \$/yıl Azalan | Toplama işlemi ve ayırma tesisindeki personelin maaş, sigorta, yemek, ulaşım giderleri. |
| g10 | Taşıma maliyeti | \$/yıl Azalan | Atıkların nakliyesinde kullanılan araçların yakıt giderleri. |
| g11 | Bakım-onarım maliyeti | \$/yıl Azalan | Konteynerlerin, ayırma tesisindeki donanımların, nakliye aşamasında kullanılan araçların bakım onarım masrafları. |
| g12 | Tanıtım maliyeti | Puan (1-9) Azalan | Sistemin uygun şekilde çalışması ve sürdürülebilir olması için yapılması gereken tanıtım çalışmaları. |
| g13 | Halkın katılımı riski | Puan (1-9) Azalan | Halkın geri kazanım alışkanlığı kazanması. |
| g14 | Hijyen | Puan (1-9) Artan | İnsan ve çevre sağlığı için gerekli olan hijyen koşulları. |
| g15 | Sokak toplayıcıları | Puan (1-9) Azalan | Atık kalitesi (dolayısıyla gelir), insan ve çevre sağlığı, estetik yönlerden sistemi tehdit eden önemli bir unsur. |
| g16 | Vektörel canlılar | Puan (1-9) Azalan | Başiboş hayvanlar ve böcekler. |
| g17 | Trafik yoğunluğu | Puan (1-9) Azalan | Atıkların nakliyesinde kullanılan araçların neden olduğu trafik yükü. |
| g18 | Kaza | Puan (1-9) Azalan | İş ve trafik kazaları riski. |
| g19 | Kirlilik yükü | Puan (1-9) Azalan | Araçların egzoz gazları, toplama ve taşıma sırasında oluşacak kirlilikler. |
| g20 | Yangın | Puan (1-9) Azalan | Atıkların biriktirilmesi ve depolanması aşamalarındaki yangın tehlikesi. |

Çalışmada kullanılan ölçüt, alternatif, eşik değeri ve ölçüt ağırlıklarının performans değerleri Çizelge 6.11’de verilmiştir. Ayrıca, KV tarafından her bir ölçüt için belirlenen ağırlıklar sırasıyla şöyledir: $w_1=2; w_2=1; w_3=6; w_4=13; w_5=4; w_6=11; w_7=3; w_8=4; w_9=10; w_{10}=10; w_{11}=2; w_{12}=2; w_{13}=1; w_{14}=2; w_{15}=5; w_{16}=2; w_{17}=1; w_{18}=4; w_{19}=2; w_{20}=15$. KV tarafından ağırlıkların yanı sıra eşik değerleri de belirlenmiştir. Buna göre kayıtsızlık ve tercih eşik değerlerinin hesaplanması için α_q , α_p değerleri sıfır olarak verilirken; β_q değerleri sırasıyla 1, 2, 2, 2, 3, 300000, 50000, 100000, 100000, 50000, 20000, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3 ve β_p değerleri ise sırasıyla 2, 3, 3, 4, 2, 500000, 30000, 50000, 30000, 30000, 10000, 1, 4, 3, 2, 2, 2, 2, 1, 1 olarak verilmiştir.

Sayısal olmayan değerler 1-9 arasında aşağıdaki şekilde ölçeklendirilmiştir. Artması tercih edilen ölçütler için; 1: kabul edilemez; 2: çok kötü; 3: kötü; 4: az kötü; 5: orta; 6: az iyi; 7: iyi; 8: çok iyi ve 9: mükemmel ve azalması tercih edilen ölçütler için; 1: mükemmel; 2: çok iyi; 3: iyi; 4: az iyi; 5: orta; 6: az kötü; 7: kötü; 8: çok kötü ve 9: kabul edilemez olmak üzere iki farklı ölçek kullanılmıştır.

Çizelge 6.11. Geri kazanım sisteminin belirlenmesinde kullanılan performans değerleri

| Ölçütler | S1a | S1b | S2 | S3a | S3b |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| g1 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 |
| g2 | 4 | 2 | 9 | 8 | 6 |
| g3 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| g4 | 7 | 9 | 3 | 5 | 9 |
| g5 | 7 | 9 | 5 | 6 | 8 |
| g6 | 2.155.660 | 2.609.480 | 1.815.290 | 2.303.150 | 2.666.210 |
| g7 | 275.000 | 275.000 | 275.000 | 275.000 | 275.000 |
| g8 | 540.000 | 540.000 | 413.160 | 618.300 | 618.300 |
| g9 | 216.240 | 216.240 | 99.600 | 117.840 | 117.840 |
| g10 | 208.800 | 208.800 | 208.800 | 208.800 | 208.800 |
| g11 | 66.500 | 66.500 | 42.158 | 70.415 | 70.415 |
| g12 | 6 | 9 | 3 | 4 | 8 |
| g13 | 6 | 9 | 3 | 4 | 9 |
| g14 | 5 | 5 | 7 | 6 | 6 |
| g15 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| g16 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| g17 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| g18 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| g19 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| g20 | 2 | 2 | 8 | 5 | 5 |

6.4. Kentsel Katı Atık Toplama ve Taşıma Rotalarının Belirlenmesi

Tezde, atık toplama ve taşıma rotaları iki farklı şekilde ele alınmıştır. Öncelikle mevcut atık toplama programı dikkate alınarak bir çalışma gerçekleştirilmiş, daha sonra da atık karakterizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar temel alınarak farklı atık toplama bölgeleri oluşturulmuş ve atık rotalama işlemi Kapasiteli Ayrıt Rotalama Problemi olarak ele alınmış ve problem Tepebaşı Belediyesi gece programı Bölge 8 için Lingo 9.0 yardımıyla çözülmüştür. Ayrıca, söz konusu bölge için Geomedia Pro 6.0 ve Transportation Manager yazılımları kullanılarak da bir atık toplama rotası oluşturulmuştur.

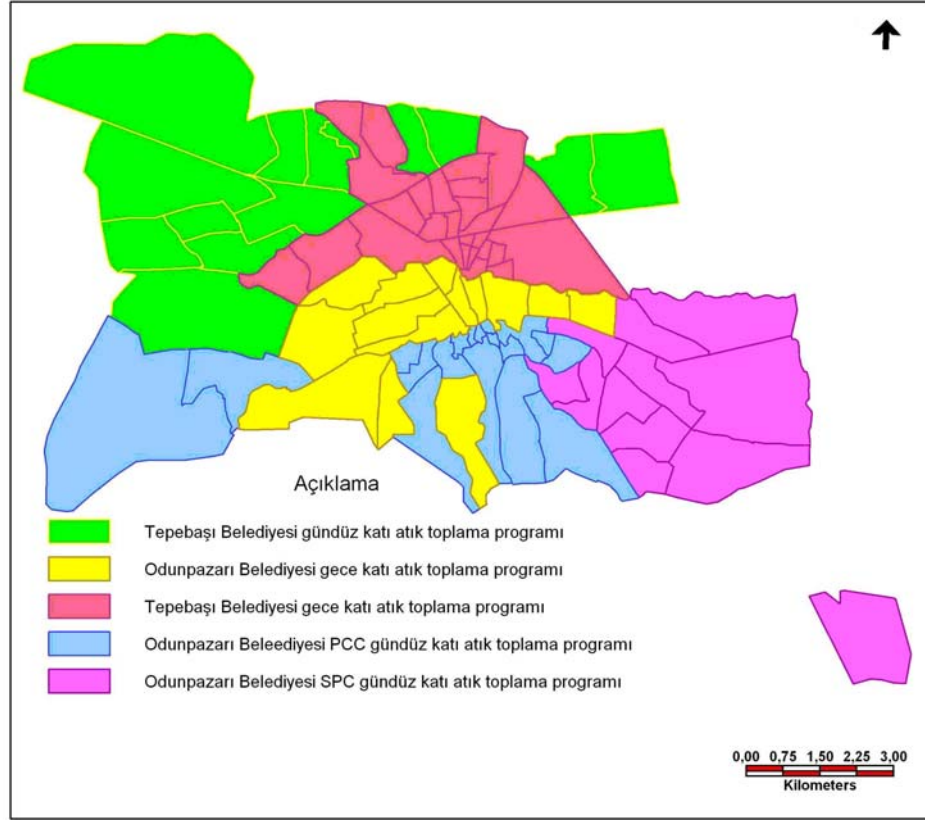
6.4.1. Mevcut atık toplama bölgelerine göre rota belirlenmesi

Tezde, öncelikle, mevcut durumda yapılabilecek iyileştirmeleri belirleyebilmek amacıyla, Tepebaşı ve Odunpazarı Belediyeleri'nin atıklarını toplayan firmalarla yapılan görüşmeler sonucu, gece ve gündüz için mevcut sisteme göre Geomedia Pro 6.0 yazılımı kullanılarak, atık toplama programları oluşturulmuştur. Her iki alt belediye için oluşturulan atık toplama programı Şekil 6.15'de verilmiştir.

Geomedia Pro 6.0 ve Transportation Manager yazılımları kullanılarak Şekil 6.15'deki her bölge için atık toplama rotası oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar 7. Bölümde verilmiştir.

Çalışmada göz önüne alınan faktörler şunlardır:

- Rotanın başlangıç noktası taşıma şirketinin garajı, bitiş noktası ise vahşi depolama sahasıdır.
- Çalışma zamanı vardiya başına 8 saattir (toplam 16 saat/gün).
- Ortalama araç hızı 30 km/saattir.
- Toplama araçlarının kapasitesi 15 m³ ve sıkıştırma oranı 2'dir.
- Rota haftalık olarak belirlenmiş ve mevcut toplama günleri temel alınmıştır.
- Araçlar mahallelerdeki tüm sokaklara girecektir.
- Geri kazanım oranı % 20'dir.
- Tepebaşı Belediyesi için 11 ve Odunpazarı Belediyesi için 6 geri kazanım merkezi oluşturulmuştur.



Şekil 6.15. Eskişehir kenti için mevcut atık toplama programı (PCC: Pazartesi, Çarşamba, Cuma; SPC: Salı, Perşembe, Cumartesi)

6.4.2. Atık karakterizasyon çalışması sonuçlarına göre rota belirlenmesi

Kentsel katı atık toplama/taşıma rotalarının modellenmesi çalışması kapsamında öncelikle, karakterizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre her bir mahallenin geri kazanım oranları hesaplanmıştır. Eskişehir Tepebaşı Belediyesi ve Odunpazarı Belediyesi'nden Eskişehir'deki tüm sokaklara ait nüfus verileri alınmış ve günlük atık miktarları kullanılarak sokaklar için atık üretim miktarları hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak, her bir sokaktan ve dolayısıyla mahalleden çıkacak geri kazanılabilir atık miktarları hesaplanmıştır (Çizelge 6.12).

Çizelge 6.12 temel alınarak, 15 m³ kapasiteli bir araç için farklı atık toplama bölgeleri oluşturulmuş (Çizelge 6.13, 6.14 ve Şekil 6.16) ve atık rotalama işlemi Kapasiteli Ayrıntı Rotalama Problemi olarak ele alınarak problem Tepebaşı Belediyesi gece toplama programında bulunan Bölge 8 için Lingo 9.0 yardımıyla

özölmüştür. Ayrıca, söz konusu bölge için Geomedia Pro 6.0 ve Transportation Manager yazılımları kullanılarak da bir atık toplama rotası oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar mevcut sistemdeki verilerle 7. Bölümde karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, kentin özellikle büyük alışveriş merkezleri, pazar yerleri, belde evleri vs.'nin bulunduğu bölgelerde geri kazanım merkezlerinin oluşturulması düşünülmüş ve Tepebaşı Belediyesi'nde 11 ve Odunpazarı Belediyesi'nde 6 olmak üzere toplam 17 merkez belirlenmiştir. Bu merkezler için oluşturulan rotalar Bölüm 7'de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Mahallelerde oluşan atık miktarları

| MAHALLE | Kişi sayısı | Geri kazanım oranı, % | Atık miktarı, kg/gün | geri kazanılabilir atık, kg/gün | geri kazanılamayan atık, kg/gün | geri kazanılabilir atık, m ³ /gün | geri kazanılamayan atık, m ³ /gün |
|------------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|--|
| ODUNPAZARI BELEDİYESİ | | | | | | | |
| 71 EVLER | 11576 | 34,09 | 17364 | 3473 | 13891 | 5,79 | 13,89 |
| 75.YIL | 3725 | 15,68 | 5587 | 876 | 4711 | 1,46 | 4,71 |
| AKARBAŞI | 16155 | 22,04 | 24233 | 5341 | 18892 | 8,90 | 18,89 |
| AKCAMİ | 1014 | 12,55 | 1521 | 191 | 1330 | 0,32 | 1,33 |
| AKÇAĞLAN | 2901 | 35,66 | 4352 | 1552 | 2800 | 2,59 | 2,80 |
| ALANÖNÜ | 7716 | 12,99 | 11574 | 1503 | 10071 | 2,51 | 10,07 |
| ARİFİYE | 6735 | 40,75 | 10103 | 4117 | 5986 | 6,86 | 5,99 |
| BÜYÜKDERE | 15676 | 17,65 | 23514 | 4150 | 19364 | 6,92 | 19,36 |
| CUNUDİYE | 1377 | 21,84 | 2066 | 451 | 1614 | 0,75 | 1,61 |
| ÇANKAYA | 8442 | 10,68 | 12663 | 1352 | 11311 | 2,25 | 11,31 |
| DEDE | 1899 | 12,55 | 2849 | 357 | 2491 | 0,60 | 2,49 |
| DELİKLİTAŞ | 7160 | 40,90 | 10740 | 4393 | 6347 | 7,32 | 6,35 |
| EMEK | 27544 | 4,71 | 41316 | 1946 | 39370 | 3,24 | 39,37 |
| ERENKÖY | 12028 | 3,35 | 18042 | 604 | 17438 | 1,01 | 17,44 |
| GÖKMEYDAN | 21333 | 36,99 | 32000 | 11837 | 20163 | 19,73 | 20,16 |
| GÖZTEPE | 2805 | 12,96 | 4208 | 545 | 3662 | 0,91 | 3,66 |
| GÜLTEPE | 8388 | 6,97 | 12582 | 877 | 11705 | 1,46 | 11,71 |
| GÜNDOĞDU | 11080 | 12,72 | 16620 | 2114 | 14506 | 3,52 | 14,51 |
| HUZUR | 5660 | 24,90 | 8490 | 2114 | 6376 | 3,52 | 6,38 |
| İSTİKLAL | 6819 | 25,42 | 10229 | 2600 | 7628 | 4,33 | 7,63 |
| KARAPINAR | 1608 | 5,90 | 2412 | 142 | 2270 | 0,24 | 2,27 |
| KIRMIZITOPRAK | 16953 | 24,39 | 25429 | 6202 | 19227 | 10,34 | 19,23 |
| KURTULUŞ | 17678 | 35,66 | 26516 | 9456 | 17061 | 15,76 | 17,06 |
| ORHANGAZİ | 10108 | 12,41 | 15162 | 2209 | 12953 | 3,68 | 12,95 |
| ORTA | 912 | 12,55 | 1368 | 172 | 1196 | 0,29 | 1,20 |
| OSMANGAZİ | 9252 | 16,26 | 13878 | 2257 | 11621 | 3,76 | 11,62 |
| PAŞA | 918 | 12,55 | 1377 | 173 | 1204 | 0,29 | 1,20 |
| SÜMER | 3912 | 16,02 | 5868 | 940 | 4928 | 1,57 | 4,93 |
| ŞARKİYE | 1044 | 12,55 | 1566 | 197 | 1369 | 0,33 | 1,37 |
| VIŞNELİK | 19733 | 25,42 | 29599 | 7524 | 22075 | 12,54 | 22,07 |
| YENİDOĞAN | 8368 | 5,61 | 12551 | 704 | 11847 | 1,17 | 11,85 |
| YENİKENT | 10947 | 31,86 | 16421 | 5232 | 11189 | 8,72 | 11,19 |
| YILDIZTEPE | 8930 | 25,62 | 13395 | 3432 | 9963 | 5,72 | 9,96 |
| TOPLAM | 290394 | | 435590 | 89031 | 346559 | 148,39 | 346,56 |

Çizelge 6.12. (Devam) Mahallelerde oluşan atık miktarları

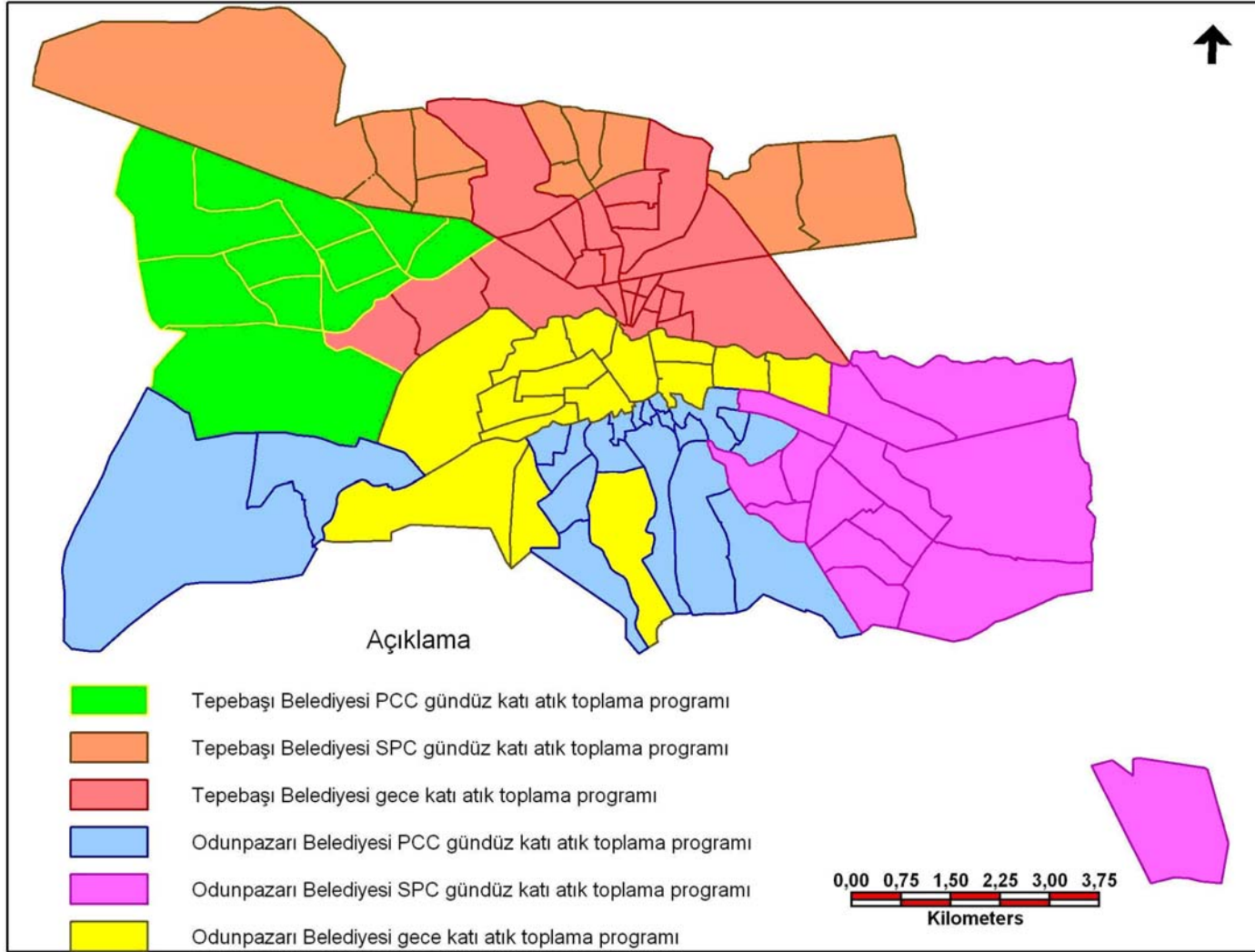
| MAHALLE | Kişi | Geri kazanım oranı, % | Atık miktarı, kg/gün | geri kazanılabilir atık, kg/gün | geri kazanılamayan atık, kg/gün | geri kazanılabilir atık, m3/gün | geri kazanılamayan atık, m3/gün |
|----------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| TEPEBAŞI BELEDİYESİ | | | | | | | |
| BAHÇELİEVLER | 5080 | 20,13 | 7620 | 1534 | 6086 | 2,56 | 6,09 |
| BATIKENT | 10683 | 19 | 16024 | 3030 | 12994 | 5,05 | 12,99 |
| CUMHURİYE | 3956 | 24 | 5934 | 1442 | 4492 | 2,40 | 4,49 |
| ÇAMLICA | 23324 | 12 | 34986 | 4062 | 30924 | 6,77 | 30,92 |
| ERTUĞRULGAZİ | 13763 | 8,94 | 20644 | 1846 | 18798 | 3,08 | 18,80 |
| ESENTEPE | 8904 | 7,23 | 13356 | 966 | 12390 | 1,61 | 12,39 |
| ESKİBAĞLAR | 3537 | 12,06 | 5306 | 640 | 4666 | 1,07 | 4,67 |
| FATİH | 3919 | 29,35 | 5878 | 1725 | 4153 | 2,88 | 4,15 |
| FEVZİÇAKMAK | 9113 | 9,96 | 13670 | 1362 | 12308 | 2,27 | 12,31 |
| GÜLLÜK | 3129 | 11,85 | 4694 | 371 | 4323 | 0,62 | 4,32 |
| HACIALİBEY | 1751 | 14,01 | 2626 | 368 | 2258 | 0,61 | 2,26 |
| HACİSEYİT | 1897 | 19,48 | 2846 | 554 | 2292 | 0,92 | 2,29 |
| HAYRİYE | 1097 | 21,84 | 1646 | 359 | 1287 | 0,60 | 1,29 |
| HOŞNUDİYE | 4415 | 26,47 | 6622 | 1753 | 4869 | 2,92 | 4,87 |
| İHSANİYE | 1049 | 20,88 | 1574 | 329 | 1245 | 0,55 | 1,25 |
| IŞIKLAR | 3500 | 19,24 | 5250 | 1010 | 4240 | 1,68 | 4,24 |
| KUMLUBEL | 3616 | 15,87 | 5424 | 861 | 4563 | 1,43 | 4,56 |
| MAMURE | 2407 | 14,04 | 3610 | 507 | 3103 | 0,84 | 3,10 |
| MKEMALPAŞA | 2248 | 30,75 | 3372 | 1037 | 2335 | 1,73 | 2,34 |
| ÖMERAĞA | 4471 | 16,39 | 6706 | 1099 | 5607 | 1,83 | 5,61 |
| SAZOVA | 4509 | 20,95 | 6764 | 1417 | 5347 | 2,36 | 5,35 |
| SÜTLÜCE | 7649 | 12,1 | 11474 | 1388 | 10086 | 2,31 | 10,09 |
| ŞARHÖYÜK | 6233 | 5,27 | 9350 | 493 | 8857 | 0,82 | 8,86 |
| ŞEKER | 3572 | 32,54 | 5358 | 1743 | 3615 | 2,91 | 3,61 |
| ŞİRİNTEPE | 22705 | 18,91 | 34058 | 6440 | 27618 | 10,73 | 27,62 |
| TUNALI | 4487 | 13,92 | 6730 | 937 | 5793 | 1,56 | 5,79 |
| ULUÖNDER | 19831 | 14,81 | 29746 | 4405 | 25341 | 7,34 | 25,34 |
| YENİ | 3748 | 9,58 | 5622 | 539 | 5083 | 0,90 | 5,08 |
| YENİBAĞLAR | 6875 | 27,15 | 10312 | 2800 | 7512 | 4,67 | 7,51 |
| YEŞİLTEPE | 12285 | 27,03 | 18428 | 4981 | 13447 | 8,30 | 13,45 |
| ZAFER | 6623 | 19,83 | 9934 | 1970 | 7964 | 3,28 | 7,96 |
| ZİNCİRLİKUYU | 2632 | 10,13 | 3948 | 400 | 3548 | 0,67 | 3,55 |
| TOPLAM | 213008 | | 319512 | 52367 | 267145 | 87,28 | 267,14 |

Çizelge 6.13. Tepebaşı Belediyesi kentsel katı atık toplama programı

| Bölge sayısı | Gece programı (Her gün) | | Gündüz programı (Pzt., Çarş.,Cuma) | | Gündüz programı (Salı, Perş., Cmt.) | |
|--------------|-------------------------|--|------------------------------------|-------------|-------------------------------------|------------------------|
| | Bölge no | Mahalle adı | Bölge no | Mahalle adı | Bölge no | Mahalle adı |
| 1 | 1a | Ertuğrulgazi | 1a | Batıkent | 1a | Fevzi Çakmak |
| 2 | 1b | Ertuğrulgazi | 1b | Batıkent | 1b | Fevzi Çakmak |
| 3 | 2 | Yenibağlar,Eskibağlar, Güllük | 2a | Çamlıca | 2a | Esentepe |
| 4 | 3 | Yenibağlar,Bahçelievler | 2b | Çamlıca | 2b | Esentepe |
| 5 | 4 | Hoşnudiye, Hacıalibey, Cumhuriye,Mkemaalpaşa | 2c | Çamlıca | 3a | Sütlüce |
| 6 | 5 | Şarhöyük,Ömerağa | 2d | Çamlıca | 3b | Sütlüce |
| 7 | 6 | Zafer, Tunalı | 3 | Sazova | 4a | Şirintepe,Zincirlikuyu |
| 8 | 7 | Fatih, Kumlubel | 4a | Uluönder | 4b | Şirintepe |
| 9 | 8 | Mamure,Hacıseyit,Hayriye, İhsaniye | 4b | Uluönder | 4c | Şirintepe |
| 10 | 9 | Yeşiltepe | 4c | Uluönder | 4d | Şirintepe |
| 11 | 10 | Şeker, Yeni, Işıklar | | | | |

Çizelge 6.14. Odunpazarı Belediyesi kentsel katı atık toplama programı

| Bölge sayısı | Gece program | | Gündüz programı (Pazartesi, Çarşamba, Cuma) | | Gündüz programı (Salı, Perşembe, Cumartesi) | |
|--------------|--------------|------------------------|---|------------------------|---|--------------------|
| | Bölge no | Mahalle adı | Bölge no | Mahalle adı | Bölge no | Mahalle adı |
| 1 | 1a | Akarbaşı | 1a | Orhangazi | 1a | Emek |
| 2 | 1b | Akarbaşı | 1b | Orhangazi | 1b | Emek |
| 3 | 2a | Kurtuluş, Akçağlan | 2a | Göztepe, Yıldıztepe | 1c | Emek |
| 4 | 2b | Kurtuluş, Akçağlan | 2b | Göztepe, Yıldıztepe | 1d | Emek |
| 5 | 3 | Arifiye, Deliklitaş | 3a | Gültepe | 1e | Emek |
| 6 | 4a | Büyükdere | 3b | Gültepe | 2 | 75 Yıl |
| 7 | 4b | Büyükdere | 4a | Çankaya | 3a | Erenköy |
| 8 | 5a | Gökmeydan | 4b | Çankaya | 3b | Erenköy |
| 9 | 5b | Gökmeydan | 5 | Huzur | 3c | Erenköy, Yenidoğan |
| 10 | 6 | Yenikent | 6 | Orta,Dede, Akcami | 3d | Yenidoğan |
| 11 | 7 | Osmangazi, Sümer | 7 | Paşa,Şarkıye, Cunudiye | 4a | Gündoğdu |
| 12 | 8a | Kırmızıtoprak | 8a | Alanönü, Karapınar | 4b | Gündoğdu |
| 13 | 8b | Kırmızıtoprak,İstiklal | 8b | Alanönü, Karapınar | 5a | 71 Evler |
| 14 | 9a | Vişnelik | | | 5b | 71 Evler |
| 15 | 9b | Vişnelik | | | | |



Şekil 6.16. Atık toplama bölgeleri (PCC: Pazartesi, Çarşamba, Cuma; SPC: Salı Perşembe, Cumartesi)

6.4.2.1. Matematiksel model kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar

Genel olarak tur belirleme problemleri, Euler turlu problemler ve Hamilton turlu problemler olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Euler turlu problemler, ayrıtları gezecek gezgin için tur belirlenmesi; Hamilton turlu problemler ise, düğümleri gezecek gezgin için tur belirlenmesi problemidir. Ayrıt rotalama problemleri de, kırsal postacı problemi (rural postman problem / RPP) ve Çinli postacı problemi (Chinese postman problem / CPP) olmak üzere ikiye ayrılabilir. Kırsal postacı probleminde yer alan belirli ayrıtlardan en az bir kez geçilirken, Çinli postacı probleminde ise her ayrıttan en az bir kez geçilerek en kısa turun oluşturulması istenir (Dror, 2000).

Çinli postacı problemi ilk olarak 1962 yılında Çinli bir matematikçi olan Meigu Guan (Mei-Ko Kwan) tarafından incelenmiştir. Problem, bir postacının postaneden aldığı mektupları mümkün olan en kısa yoldan şehirdeki tüm sokaklara uğrayarak dağıtmak istemesiyle ortaya çıkmıştır. Mektupların dağıtımından sonra postacı başladığı nokta olan postaneye geri dönmek zorundadır (Dror, 2000). Bu tip problemler gerçek hayatta; mektup dağıtımı, yol bakımı, atık veya çöp toplama işlemleri, kar temizleme çalışmaları, elektrik sayaçlarının okunması, polis devriye araçlarının rotalarının belirlenmesi ve otobüs çizelgelemesi gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir (Emel ve ark. 2003).

Kapasiteli Ayrıt Rotalama Problemi'nde (CARP) miktarlar, her bir ayrıt ile ilişkilendirilir. Q kapasiteli bir araç, serim üzerindeki ayrıtlardaki miktarı, Q kapasitesini aşmayacak şekilde toplamalıdır. CARP ilk olarak Golden ve Wong (1981) ve Christofides (1973) tarafından ele alınmıştır. Golden ve Wong tarafından gerçekleştirilen çalışmada CARP, n araçlı ve kapasite kısıtlı bir RPP olarak ele alınırken; Christofides tarafından problem, m araçlı ve kapasite kısıtlı bir CPP olarak tanımlanmıştır (Dror, 2000).

Bu çalışmada, yol ağı ve sınırları belli bir bölgede atık toplama aracının her kapaıya uğrayarak atık toplama durumu söz konusu olduğundan problem, CARP olarak tanımlanmıştır.

Probleme amaç fonksiyonu olarak,

$$\text{en küçük } \sum_{(i,j) \in E} \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk} \quad (6.43)$$

kullanılmıştır. Burada; $i = 1,2,3,\dots,n$ ve $j = 1,2,3,\dots,n$ olmak üzere c_{ij} : i . düğümden j . düğüme olan uzaklığı ve x_{ijk} : i . düğümden j . düğüme gidişi tanımlamaktadır.

Kısıtlar altında ise aşağıdaki durumlar ele alınmıştır.

$$\sum_{p \in V} x_{pik} - \sum_{p \in V} x_{ipk} = 0 \quad \forall i \in V, k = 1,2,\dots,K \quad (6.44)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ijk} \geq 1 \quad \forall (i,j) \in R \quad (6.45)$$

$$\sum_{j \in V} x(j, \text{depolama sahası}) = \text{araç sayısı} \quad (6.46)$$

$$\sum_{j \in V} x(\text{depolama sahası}, j) = \text{araç sayısı}$$

$$\sum_{j \in V} x(j, \text{garaj}) = 1 \quad \text{eğer tek araç var ise} \quad (6.47)$$

$$\sum_{j \in V} x(j, \text{garaj}) = \text{araç sayısı} \quad \text{atık miktarı kadar araç var ise}$$

$$\sum_{j \in V} x(\text{garaj}, j) = 1 \quad \text{eğer tek araç var ise}$$

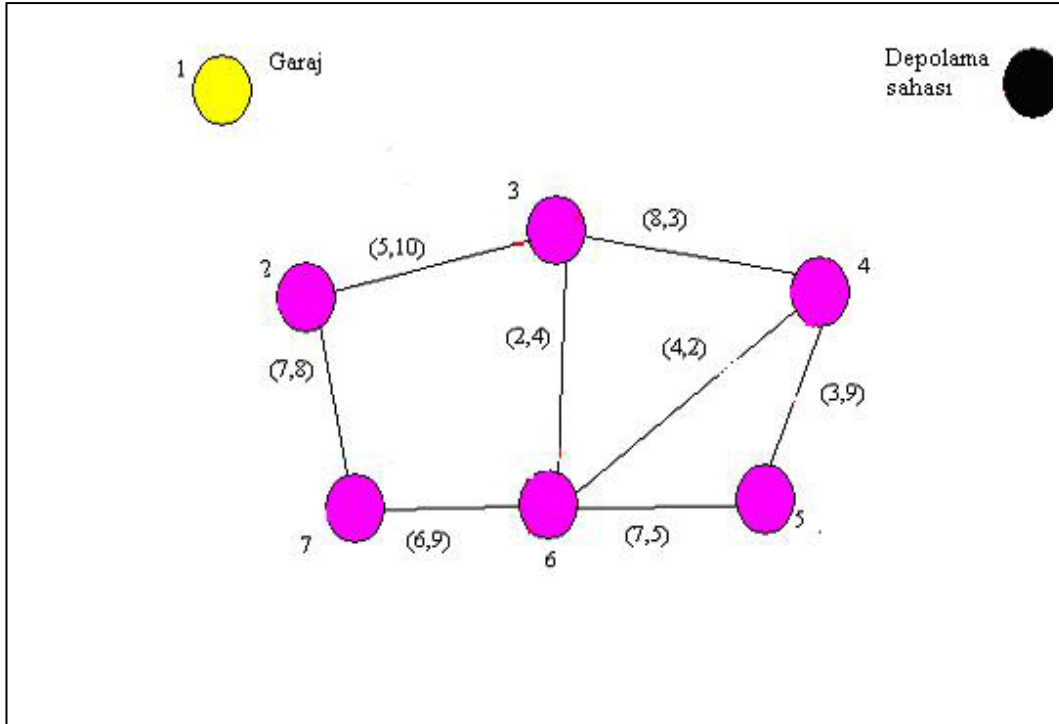
$$\sum_{j \in V} x(\text{garaj}, j) = \text{araç sayısı} \quad \text{atık miktarı kadar araç var ise}$$

$$\text{araç sayısı} = \text{üst tam sayıya yuvarla} \left\{ \frac{\sum_{(i,j) \in V} y_{i,j} * Q_{i,j}}{\text{araç kapasitesi}} \right\} \quad (6.48)$$

Denklem 6.43 toplam mesafeyi en küçükleyecek amaç fonksiyonunu göstermektedir. (6.44) kısıtı, girilen bir yoldan çıkılması iken, (6.45) kısıdı ise bütün yollardan en az 1 kere geçilme kısıtıdır. (6.46) ve (6.47) kısıtları sırasıyla, bütün araç/araçların atıkları boşaltmak için depolama sahasına gitmeleri ve garajdan çıkıp tekrar garaja dönmeleri için kullanılan kısıttır. (6.48) numaralı denklem ise bir kısıt olmayıp, gerekli araç sayısını hesaplamakta kullanılmaktadır. Burada E düğümleri, V ayrıtları ve $R \subseteq E \cup V$ düğüm ve ayrıtların tamamını

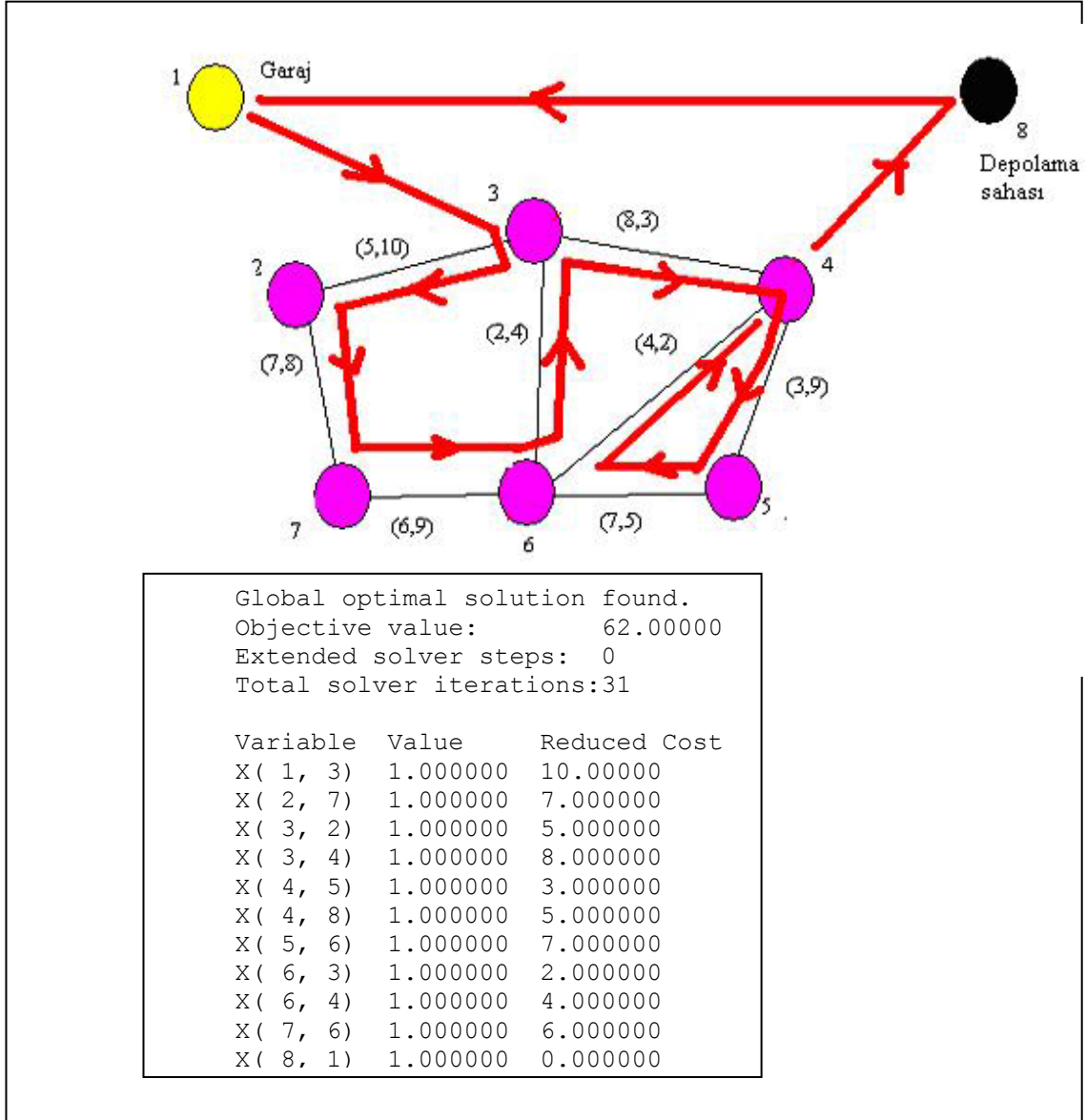
göstermektedir. y_{ij} yoldan geçilip geçilmediğinin sayısıdır. $x_{ij} = 0$ ise $y_{ij} = 0$, eğer $x_{ij} \geq 1$ ise $y_{ij} = 1$ olmaktadır.

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak Şekil 6.17’de, 6 düğümlü ve 7 ayrıtlı örnek bir serim üzerinde 4 farklı uygulama için örnek çalışmalar gösterilmiştir. Şekilde “1”, aracın rotaya başlayacağı garajı gösterirken, “8” ise atıkların boşaltılacağı atık depolama sahasını göstermektedir. Şekildeki ayrıtlar üzerinde verilen sayılar (mesafe, atık miktarı)’nı göstermektedir.



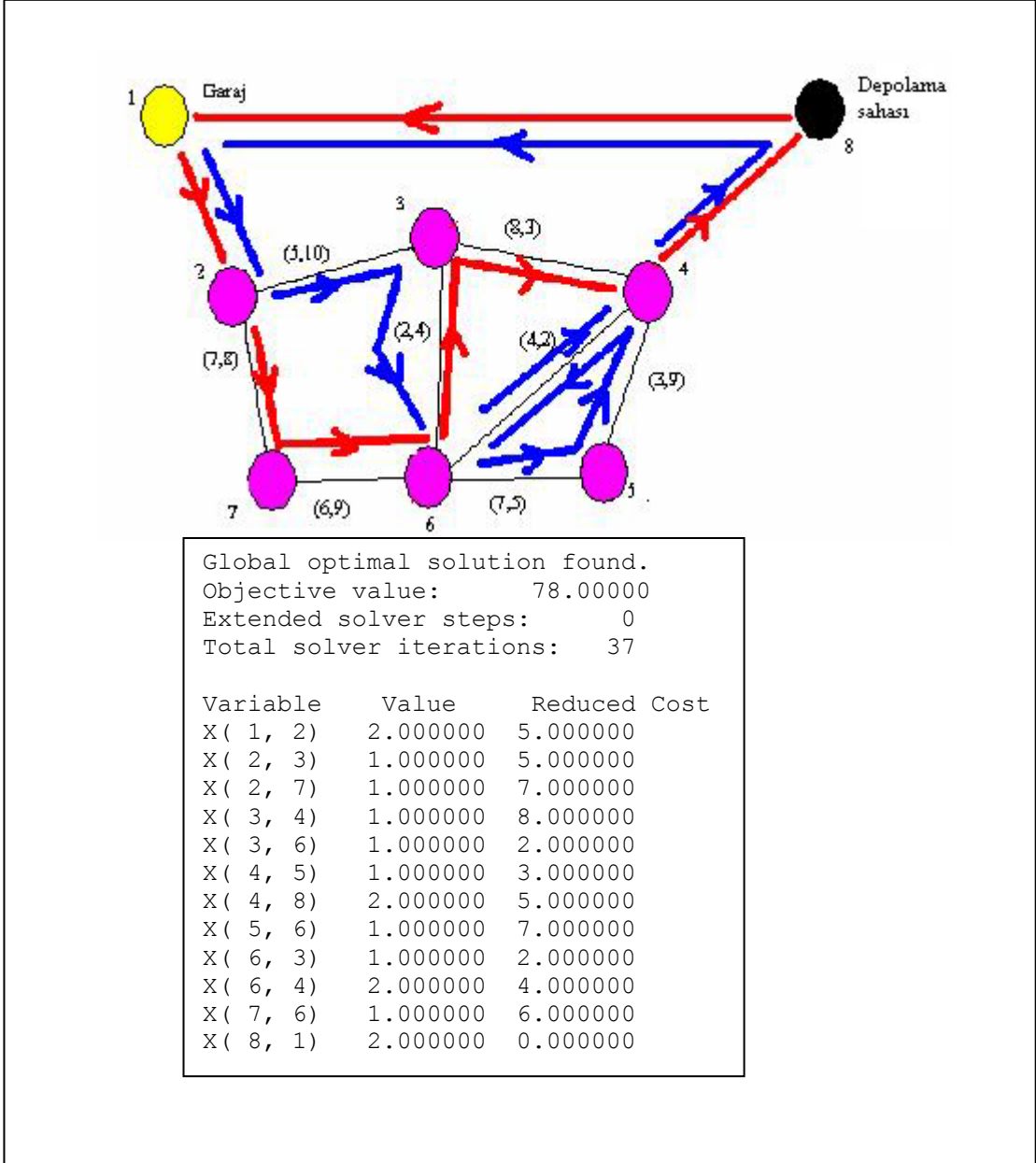
Şekil 6.17 Matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılan örnek serim

Uygulama 1’de tek aracın tüm atığı toplamaya yettiği düşünölmüş ve Şekil 6.18’de verilen rota elde edilmiştir. Bu rotanın belirlenmesi için kullanılan Lingo yazılımı sonucu ise şeklin altında verilmiştir.



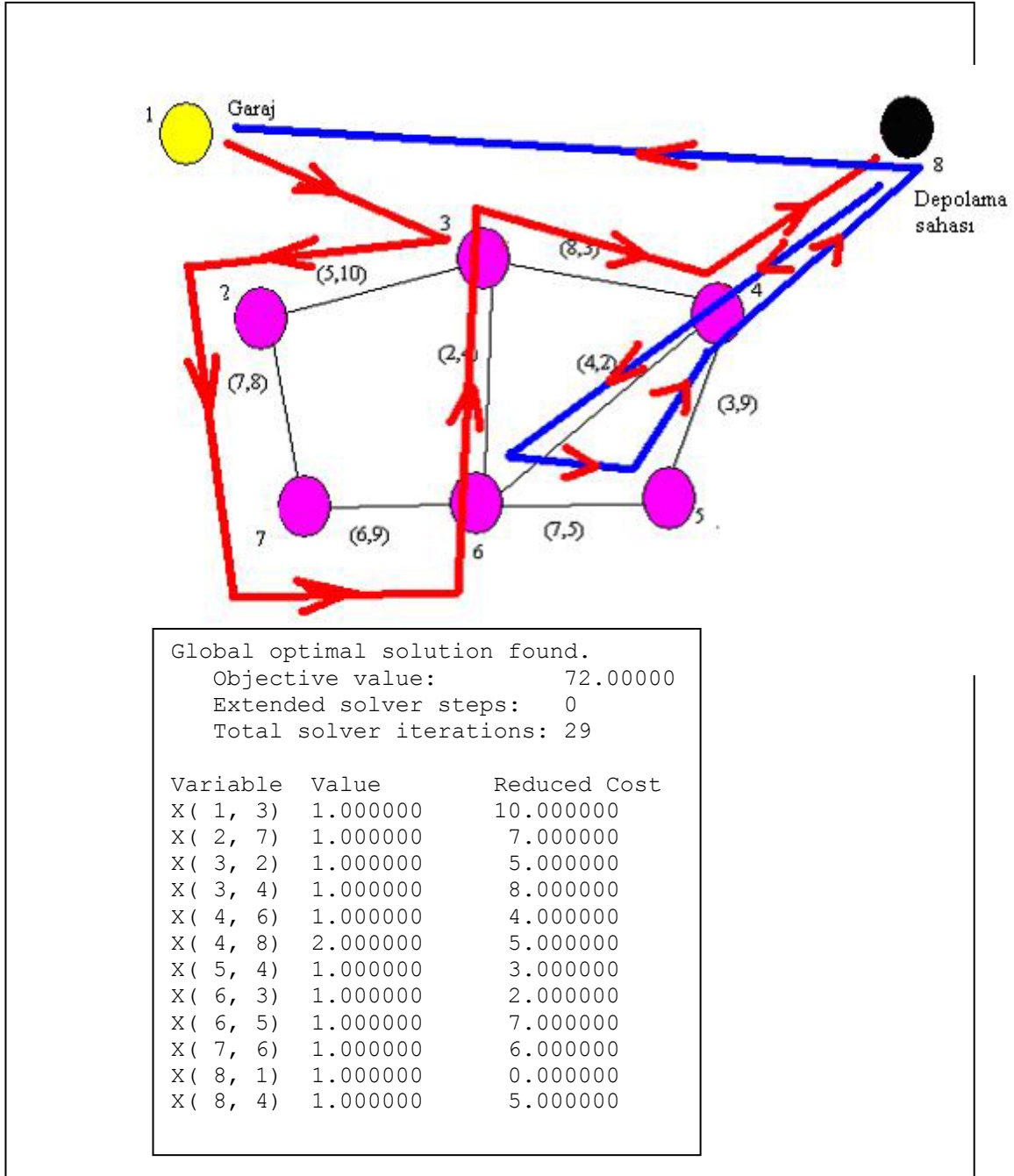
Şekil 6.18. Tek aracın tüm atığı toplamaya yettiği durumda elde edilen çözüm

Uygulama 2’de araç kapasitesinin tüm atığı toplamaya yetmediği durumda, atık miktarını toplayacak sayıda aracın garajdan çıktığı düşünülmüş ve elde edilen rota Lingo yazılımı sonucuyla birlikte Şekil 6.19’da verilmiştir.



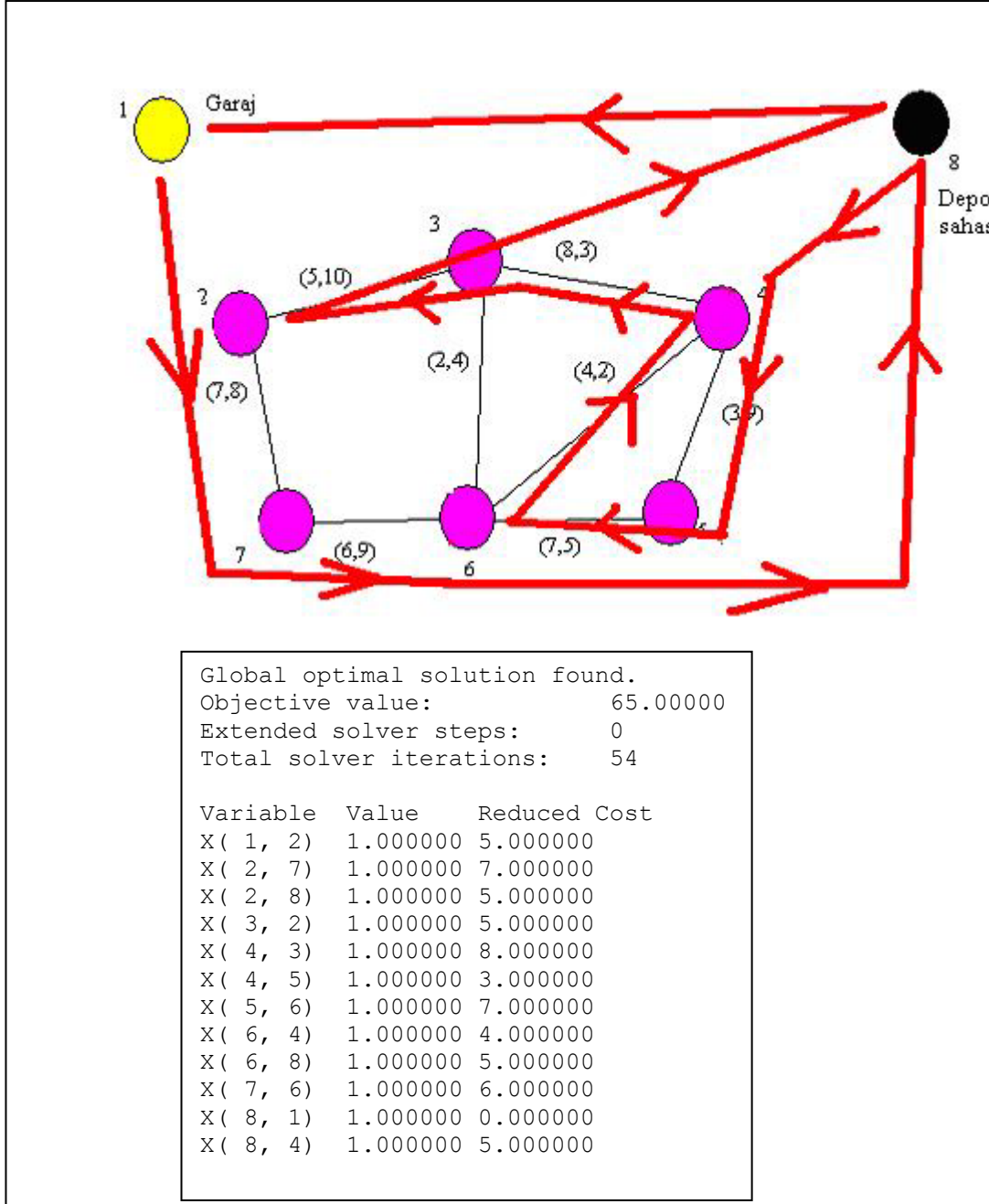
Şekil 6.19. Atık miktarını toplayacak sayıda aracın kullanıldığı durumda elde edilen çözüm

Uygulama 3'te araç kapasitesinin tüm atığı toplamaya yetmediği durumda, bir aracın garajdan çıktığı ve araç dolunca atıkları depolama sahasına boşalttıktan sonra tekrar atık toplamaya devam ettiği düşünülmüş ve elde edilen rota Lingo yazılımı sonucuyla birlikte Şekil 6.20'de verilmiştir.



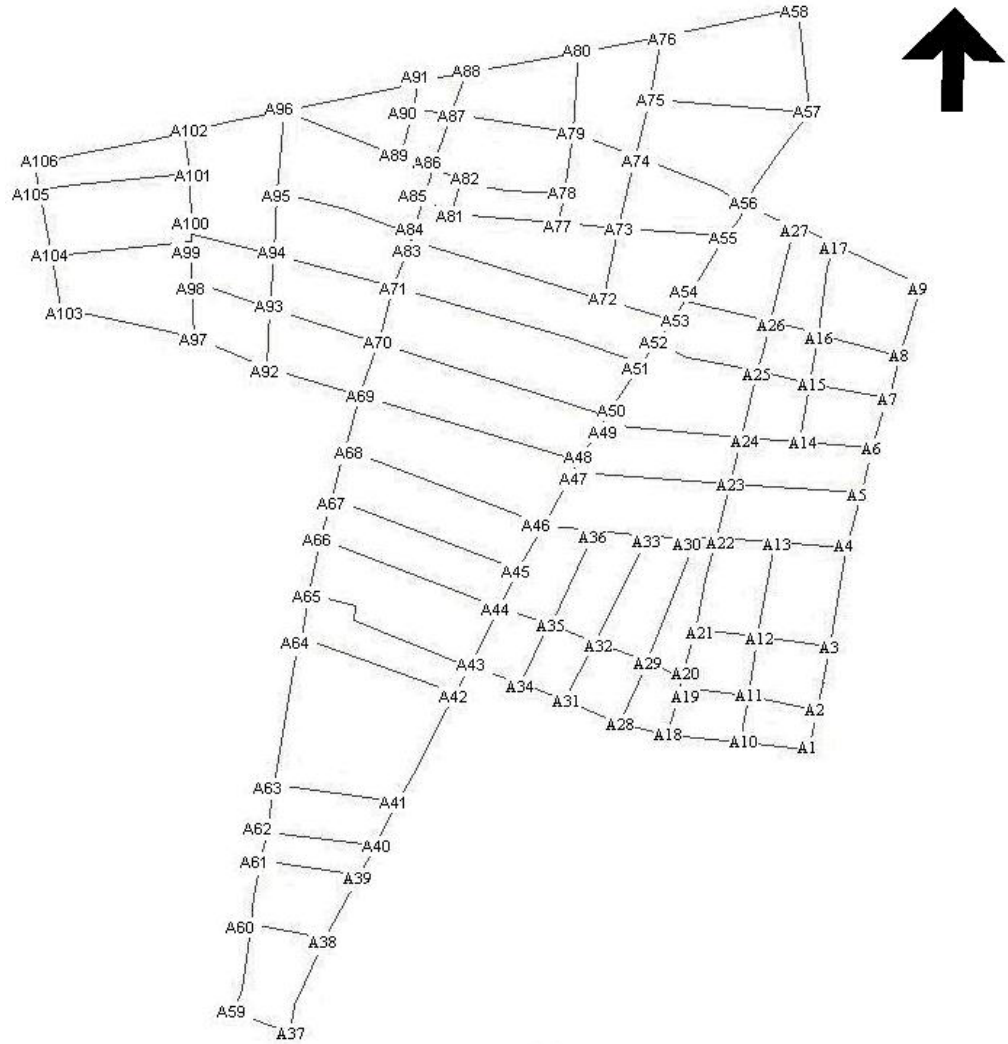
Şekil 6.20. Tek aracın 2 sefer yaparak atığı topladığı durumda elde edilen çözüm

Uygulama 4’te, 3 ve 6 nolu düğümler arasındaki yolun çok kısa olduğu ve bu yoldaki atıkları toplamak için aracın bu yola girmesine gerek olmadığı düşünülmüş ve elde edilen rota Lingo yazılımı sonucuyla birlikte Şekil 6.21’de verilmiştir.

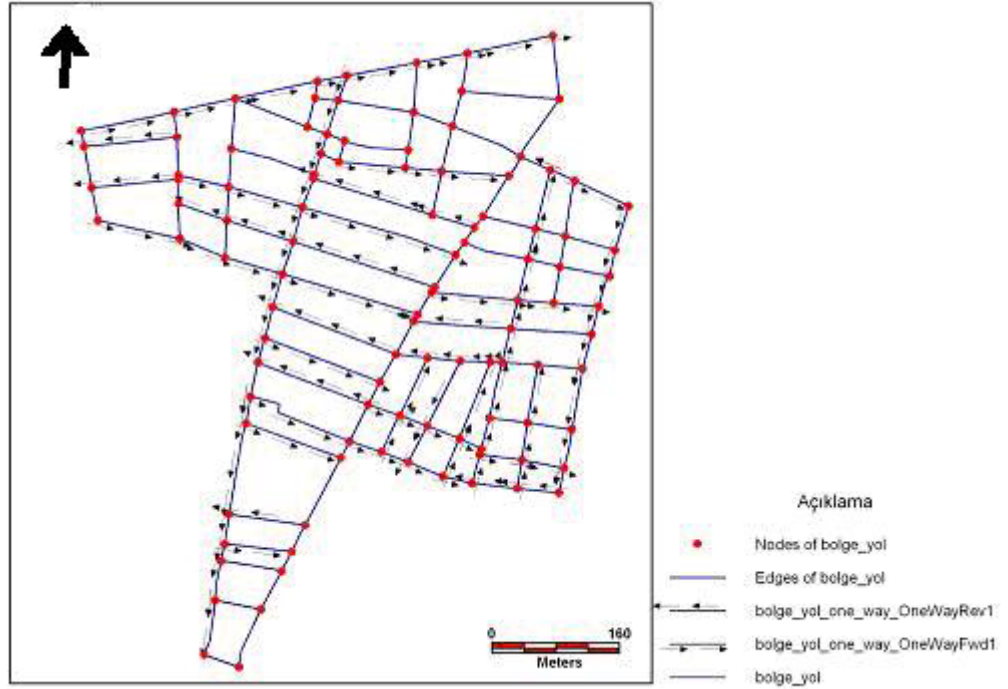


Şekil 6.21. Kısa yollara aracın girmesine gerek olmadığı durumda elde edilen çözüm

Matematiksel modelleme çalışmaları için önce, bölgedeki düğüm noktaları işaretlenmiş ve Şekil 6.22’de gösterilmiştir. Bu düğüm noktalarına göre, sokak uzunluğu ve sokaklardaki atık miktarı verilerinin girildiği matrisler oluşturulmuştur. Sokak uzunlukları CBS yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu matrisler oluşturulurken, tek yönlü yollar da göz önüne alınmıştır. Söz konusu bölge üzerindeki tek yönlü yollar Transportation Manager yazılımı kullanılarak harita üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 6.23). Atık miktarları ise, daha önce de belirtildiği üzere, sokak nüfusları temel alınarak her sokak için belirlenmiş, ancak bir sokak üzerinde düğüm noktası sayısı fazla olduğundan, sokağın tümünde oluşan atık miktarı düğüm noktaları arasındaki mesafeyle orantılı olarak paylaştırılmıştır.



Şekil 6.22. Matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılan bölgede oluşturulan düğüm noktaları



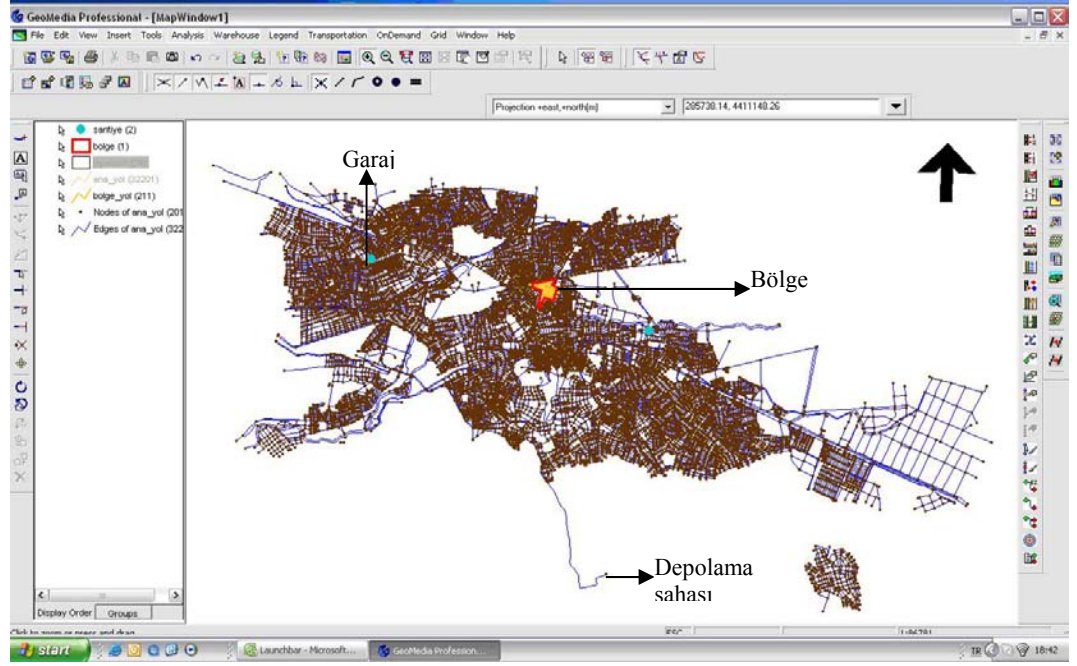
Şekil 6.23. Matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılan bölgedeki tek yönlü yollar

Söz konusu bölgede oluşan atık miktarı, tek aracın toplayabileceği miktarda olduğu için yalnızca uygulama 1 için çözüm gerçekleştirilmiştir. Bu durumda yolların tek yönlü olup olmama durumuna göre iki farklı çözüm geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar 7. Bölümde verilmiştir.

6.4.2.2. CBS kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar

Tepebaşı Belediyesi gece toplama programında bulunan Bölge 8 için bu kez Geomedia Pro 6.0 ve Transportation Manager yazılımları kullanılarak bir atık toplama rotası oluşturulmuştur. Intergraph firmasının ürünü olan Transportation Manager rotalama işlemlerinde doğrusal bir ağ modeli oluşturabilen bir yazılımdır. Oluşturduğu bu model, düğüm temelli olup, Hamilton turlu modellerin çözümüne benzemektedir. Bu modele göre; en kısa yol ya da trafik koşulları ve yol çalışmalarına göre en iyi yol belirlenebilmektedir.

Atık toplama rotası oluşturmadan önce, mevcut depolama sahasının ve atık toplama araçlarının bulunduğu garajın yeri harita üzerinde işaretlenmiş ve Eskişehir merkezdeki tüm yollar için yazılım kullanılarak bir yol ağı oluşturulmuş



Şekil 6.24. Eskişehir merkezdeki yollar ve düğümler

ve her bir yolun diğer yol ile kesiştiği yerlerde düğüm noktaları belirlenmiştir (Şekil 6.24).

Şekil 6.24’de gösterilen ağ yapısı kullanılarak öncelikle atık toplama araçlarının bulunduğu garajdan bölgeye, bölgeden depolama sahasına ve son olarak da depolama sahasından garaja olmak üzere üç aşamalı olarak en kısa yollar yazılımda bulunan “Kolay Yol (Easy Path)” komutuyla oluşturulmuştur.

Daha sonra bölgenin yolları ayrı bir sınıf olarak ele alınmış ve tüm sokak/caddelerde atık olması nedeniyle, aracın tüm yollardan geçmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu işlem tamamlandıktan sonra, bölgedeki düğümler, durak noktası (stop point) olarak yazılıma verilmiş ve rota, yazılımdaki “En İyi Yol (Best Path)” komutu kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen tüm sonuçlar 7. Bölümde verilmiştir.

6.5. Düzenli Depolama Sahası Yer Seçimi Çalışmaları

Eskişehir kentsel katı atık depolama sahası yer seçimi çalışmalarında, ülkemizdeki ve Avrupa Birliği’ndeki yasal durumun yanı sıra, detayları 4. Bölümde verilen çalışmalar da dikkate alınmıştır. Yer seçimi çalışmalarında öncelikle coğrafi bilgi sistemleri ve Uzaktan algılama tekniklerinden yararlanılmış

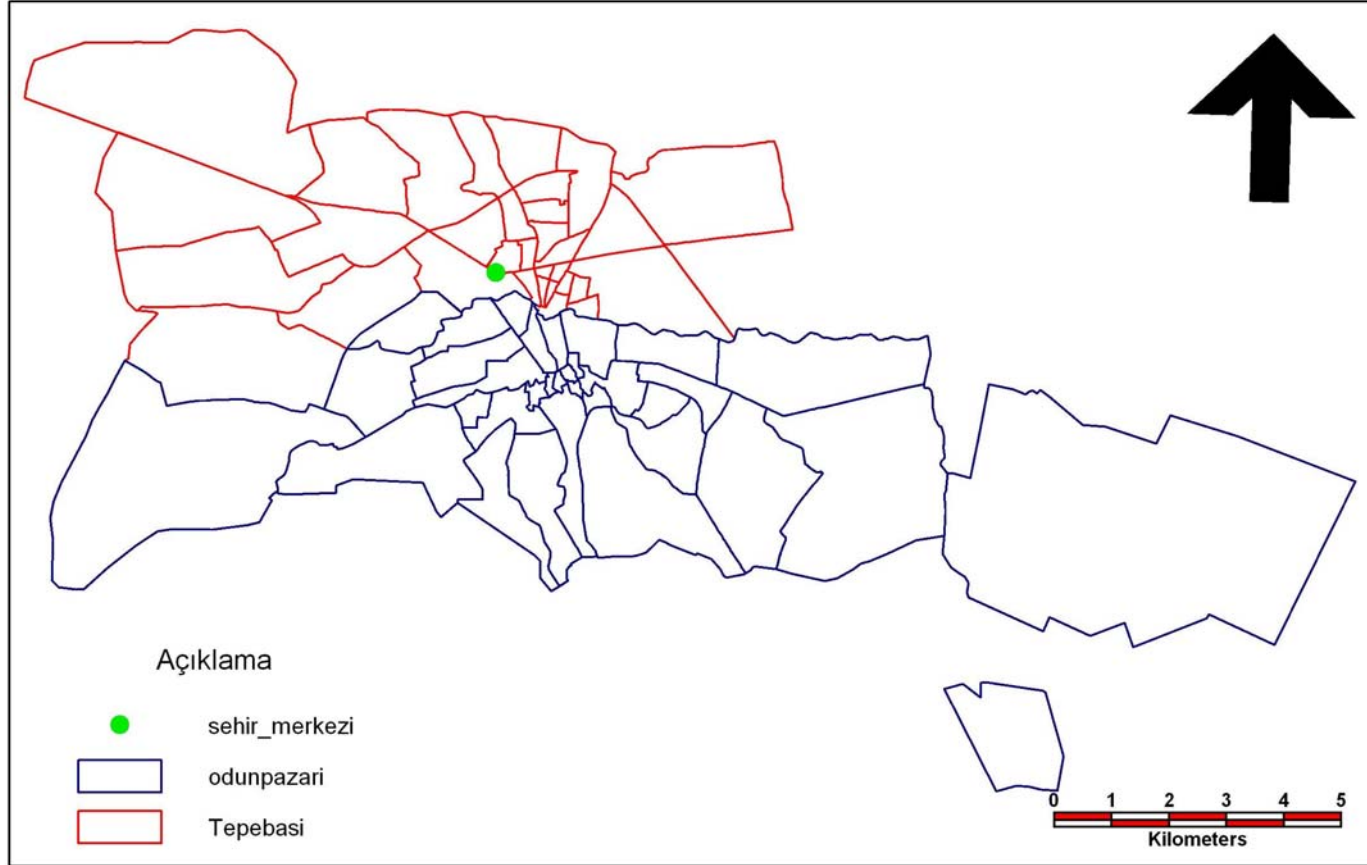
ve daha sonra elde edilen alternatif sahalara ELECTRE III ve ANP yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

6.5.1. CBS ve UA teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar

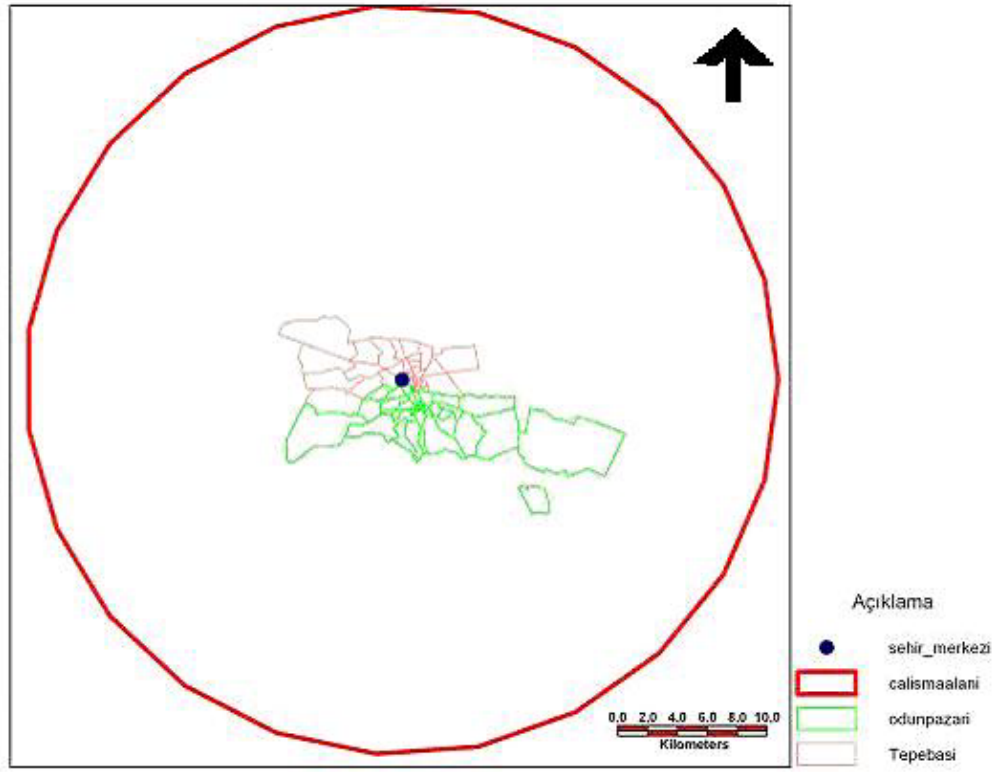
Düzenli depolama sahası yer seçimi çalışmalarında öncelikle Eskişehir kent merkezi işaretlenmiş (Şekil 6.25) ve merkezin etrafına da kuş uçuşu 25 km'lik etki alanı oluşturularak, bu alan, çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 6.26). Daha sonra Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, AB Düzenli Depolama Direktifi ve 4. Bölümde verilen çalışmalar ve aşağıdaki ölçütlerin dikkate alındığı, çalışma alanıyla ilgili haritalar oluşturulmuştur:

- Yerleşim merkezlerine 1 km mesafe (Şekil 6.27, 6.28 ve 6.29),
- Barajlara 900 m uzaklık (Şekil 6.30 ve 6.31),
- Göletlere 900 m uzaklık (Şekil 6.32 ve 6.33),
- Akarsulara 900 m uzaklık (Şekil 6.34 ve 6.35),
- Faylara 300 m uzaklık (Şekil 6.36 ve 6.37),

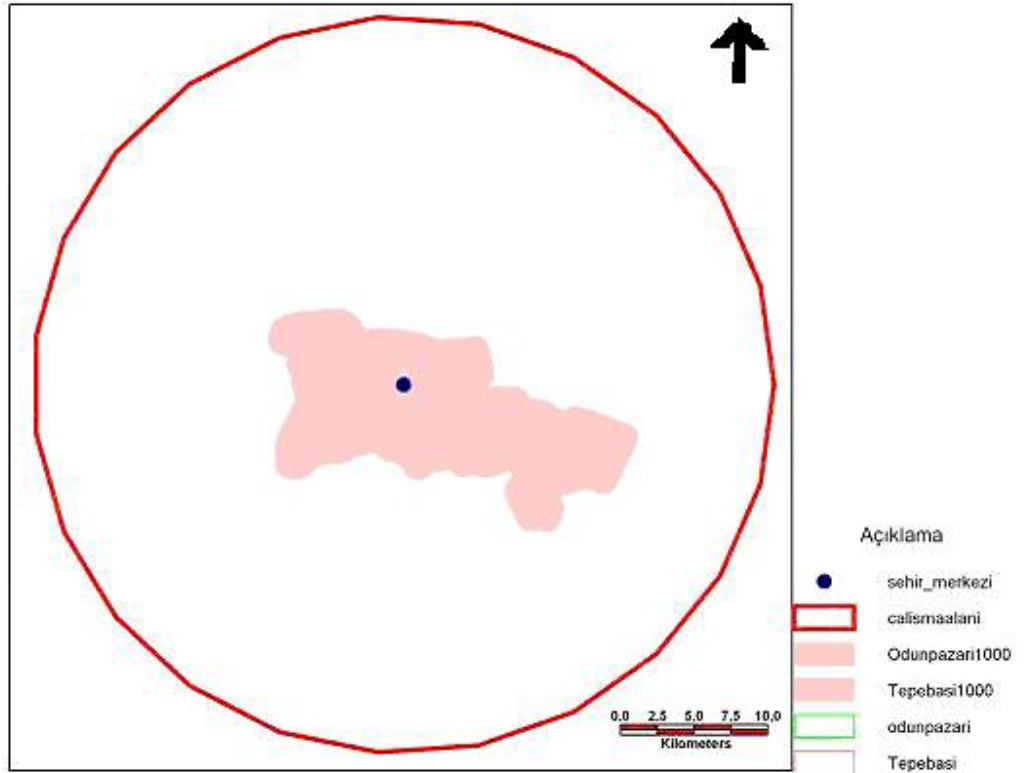
Ayrıca, bölgenin jeoloji haritası (Şekil 6.38), LANDSAT 2005 (RGB 741) uydu görüntüsü (Şekil 6.39), yükseklik haritası (Şekil 6.40) ve eğim haritası (Şekil 6.41) hazırlanmıştır. Elde edilen bu haritalar kullanılarak, çalışma alanının yukarıda verilen kısıtlar dışındaki bölgeleri belirlenmiştir. Bu çalışmalarda gerçekleştirilen adımlar Şekil 6.42-6.48'de sırasıyla verilmiştir.



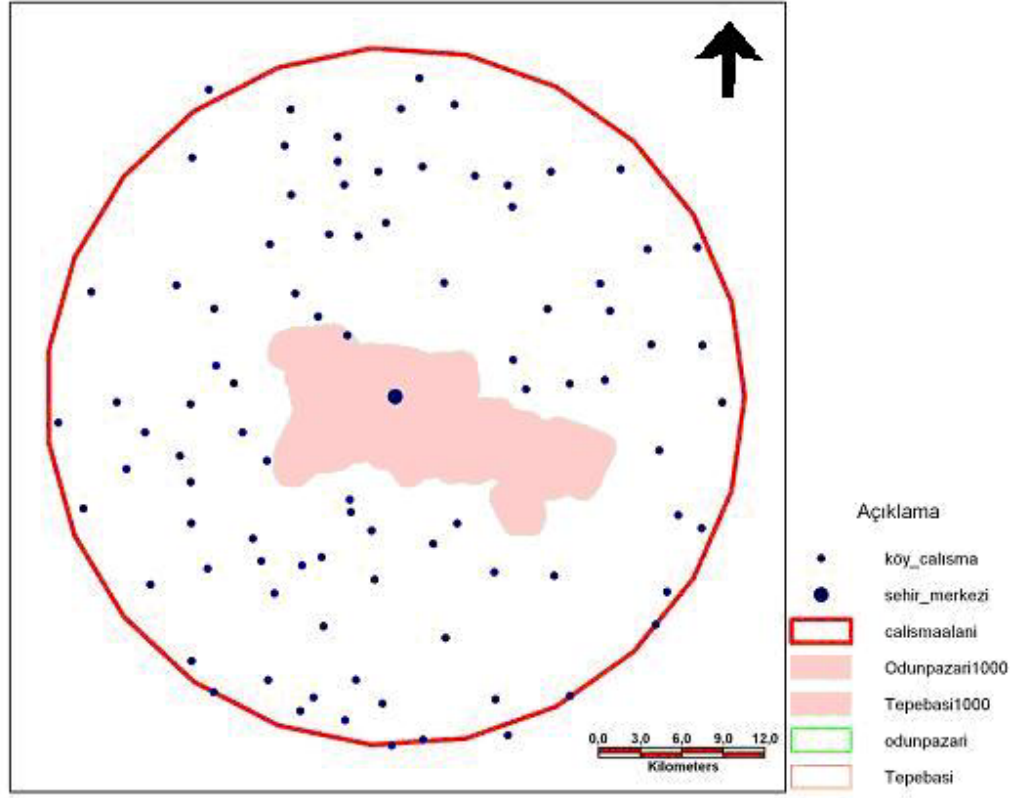
Şekil 6.25 Eskişehir kent merkezi



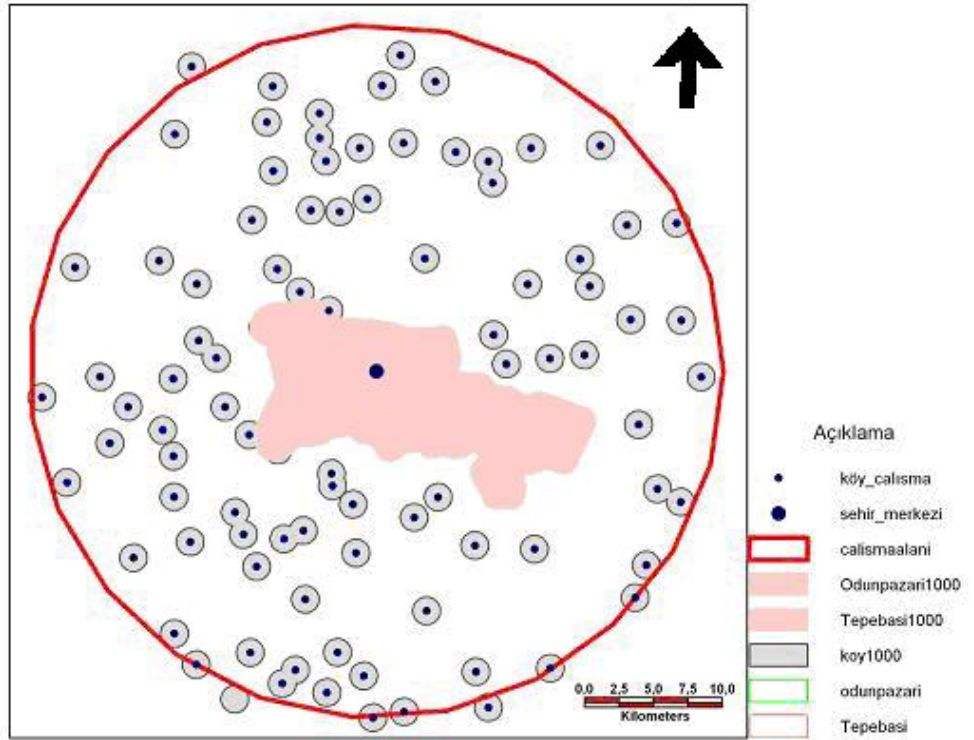
Şekil 6.26. Çalışma alanı



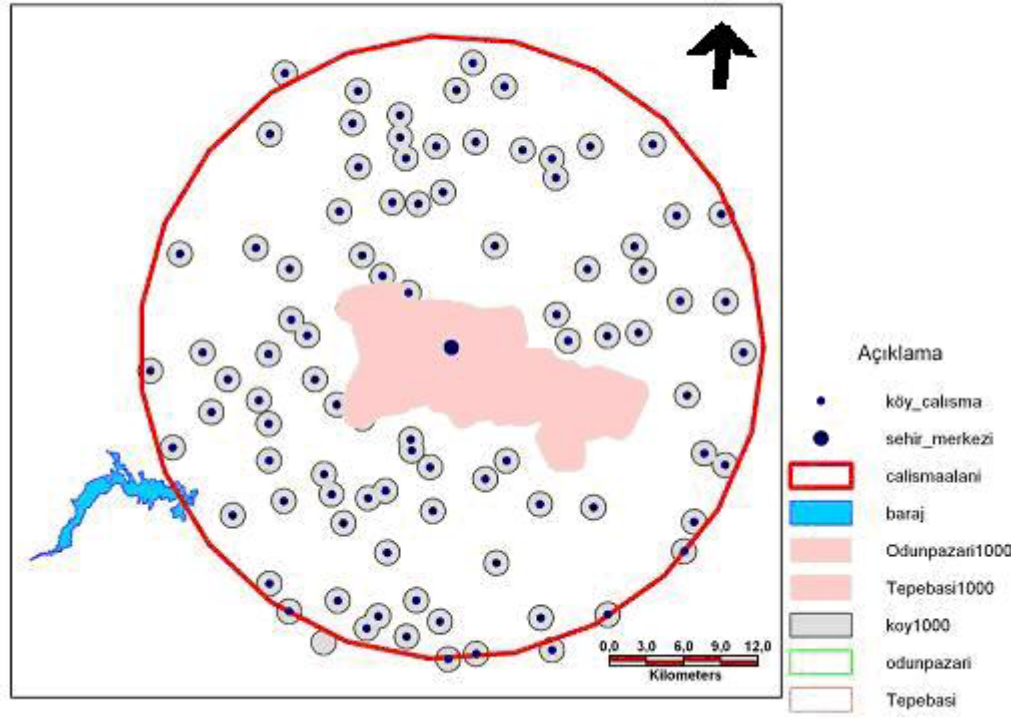
Şekil 6.27. Eskişehir kent merkezi ve etrafındaki etki alanı



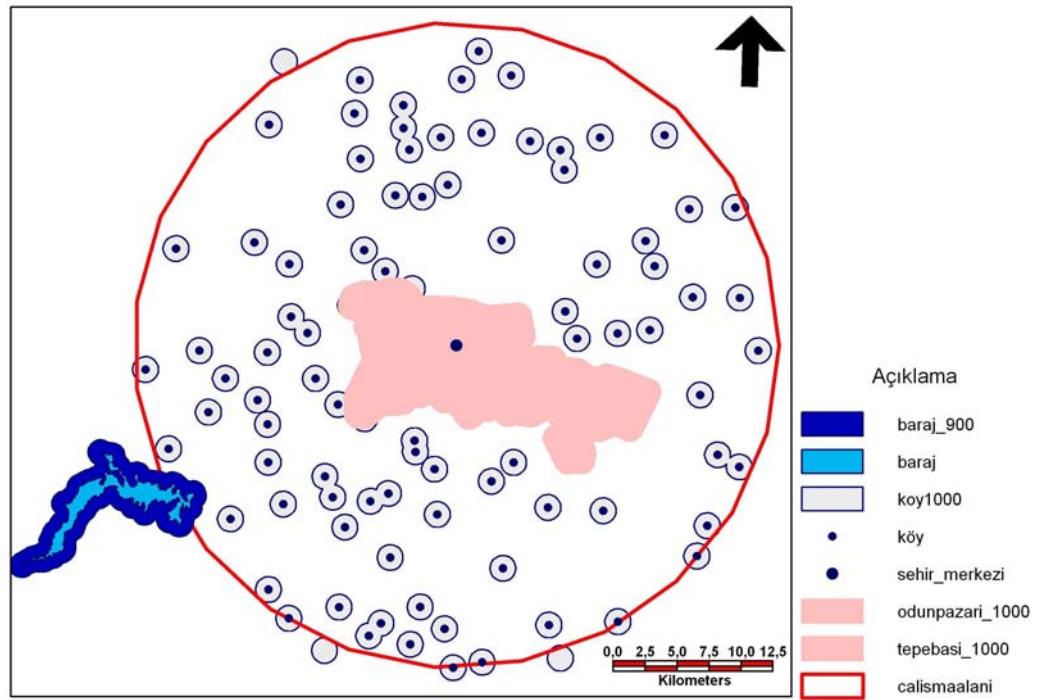
Şekil 6.28. Çalışma alanı içindeki yerleşim yerleri



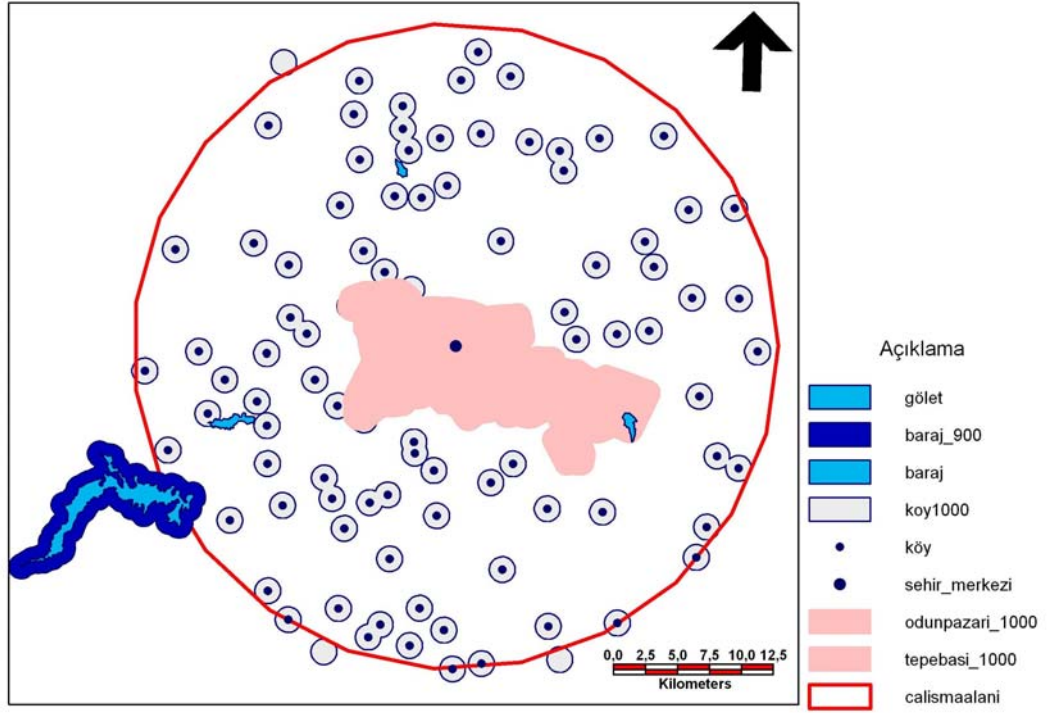
Şekil 6.29. Çalışma alanı içindeki yerleşim yerlerinin etki alanları



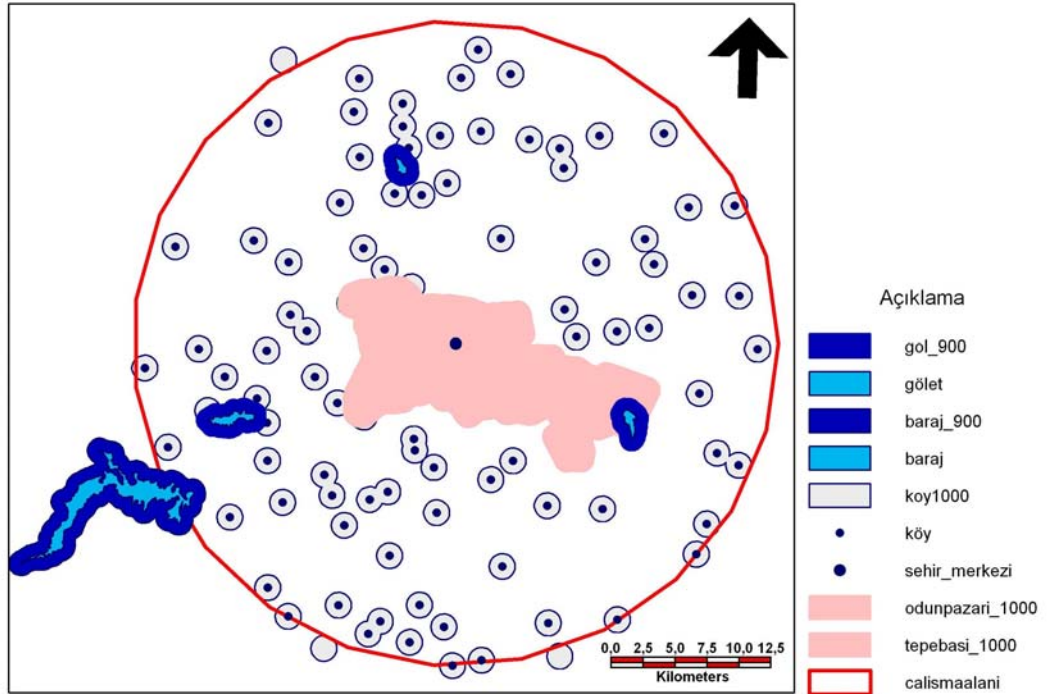
Şekil 6.30. Çalışma alanı içinde yer alan barajlar



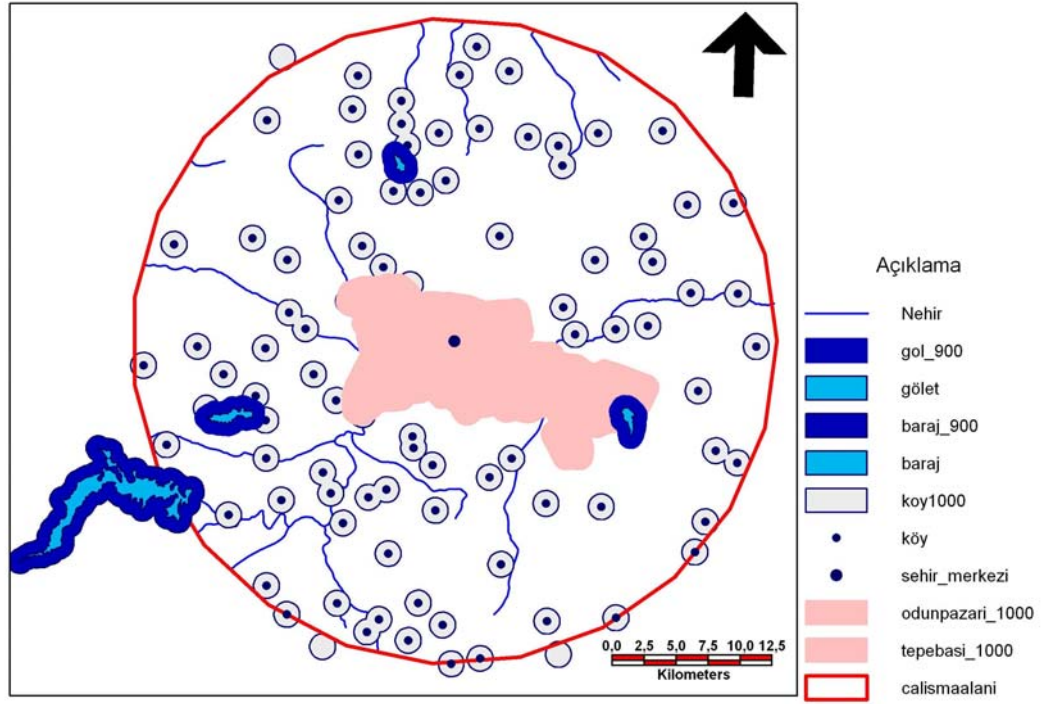
Şekil 6.31. Çalışma alanı içinde yer alan barajların etki alanları



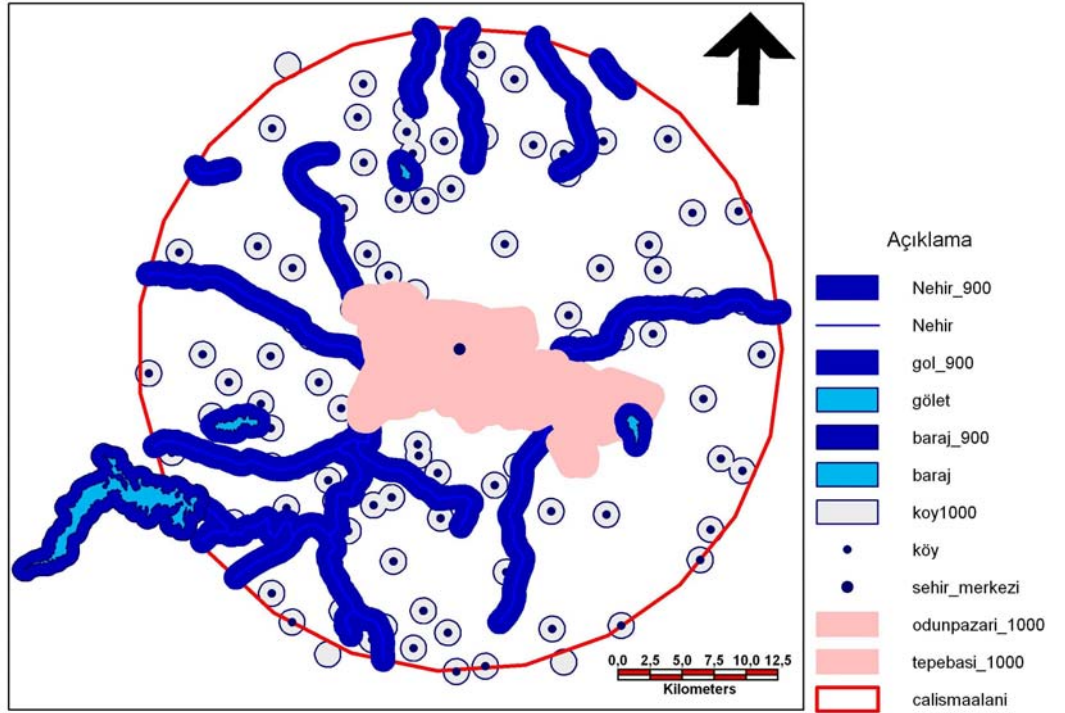
Şekil 6.32. Çalışma alanı içinde yer alan göletler



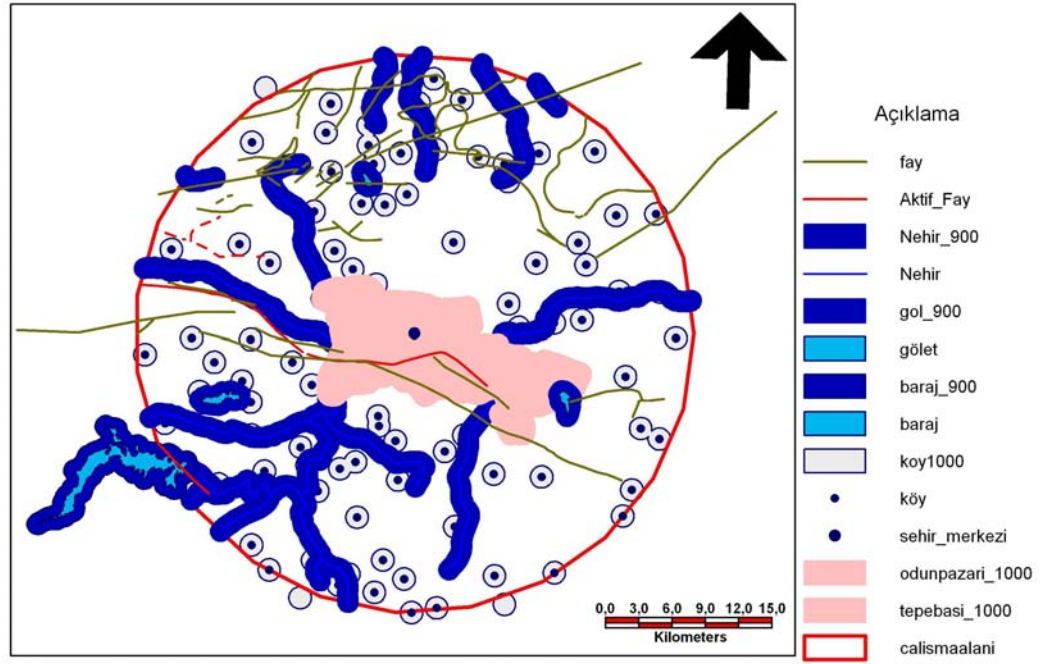
Şekil 6.33. Çalışma alanı içinde yer alan göletlerin etki alanları



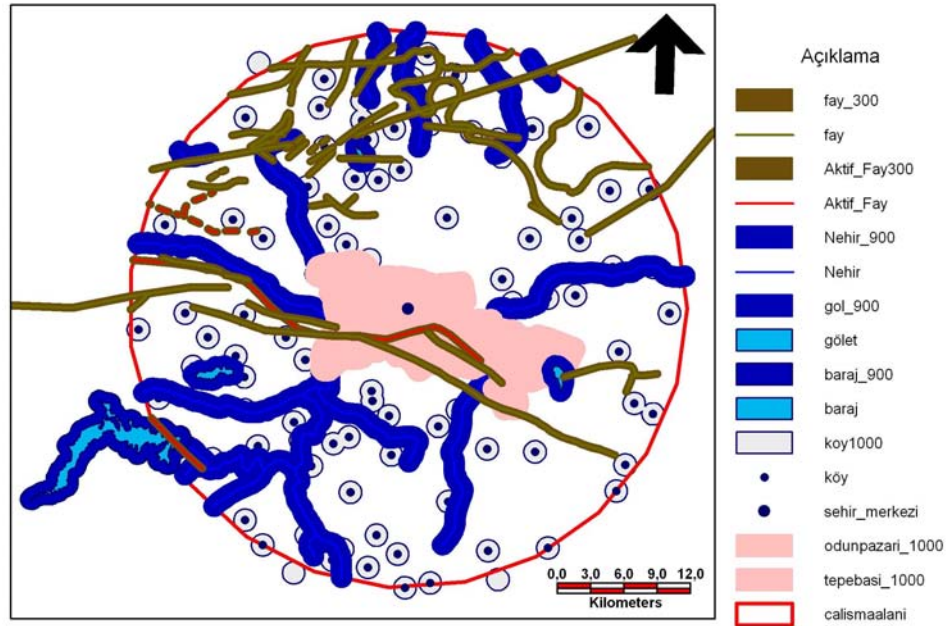
Şekil 6.34. Çalışma alanı içinde yer alan akarsular



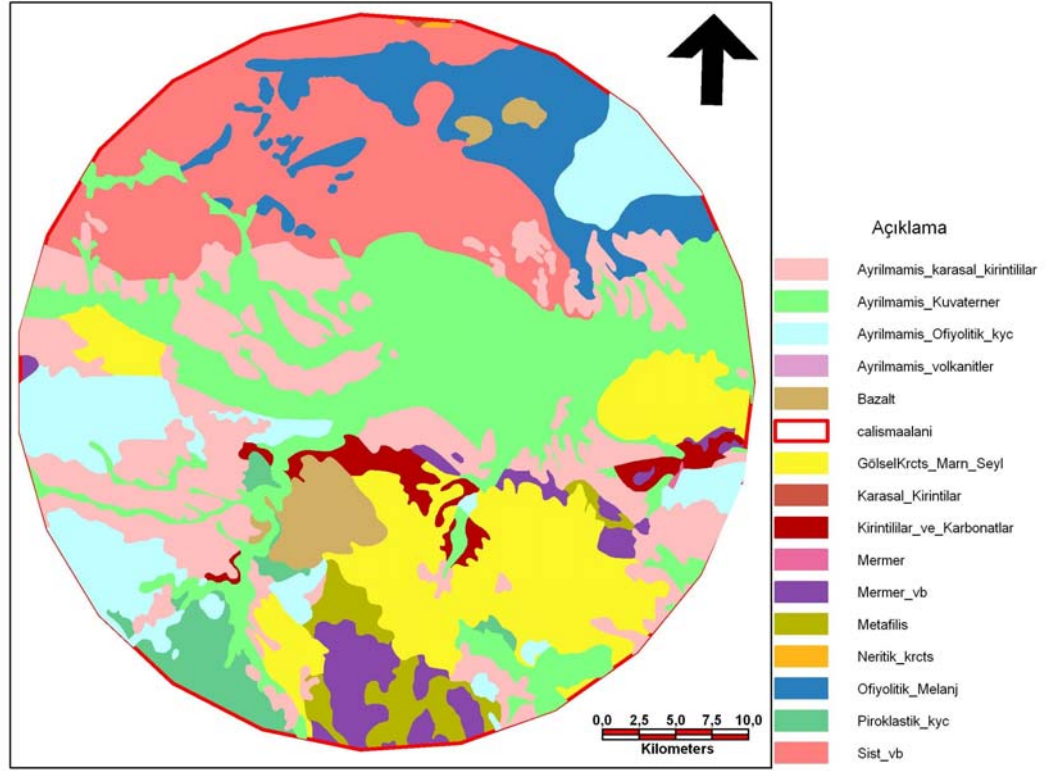
Şekil 6.35. Çalışma alanı içinde yer alan akarsuların etki alanları



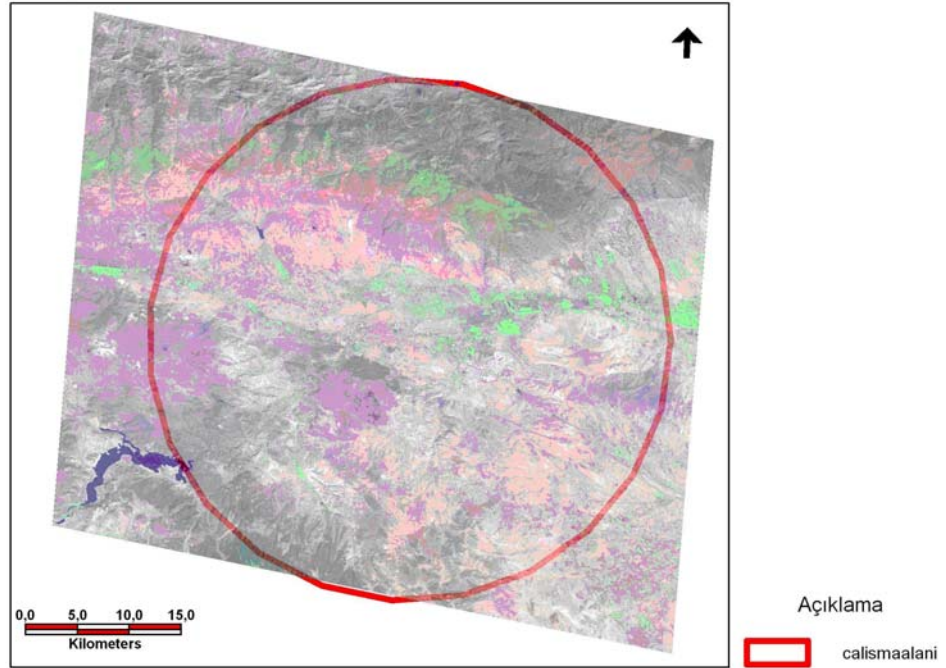
Şekil 6.36. Çalışma alanı içinde saptanan aktif ve pasif faylar



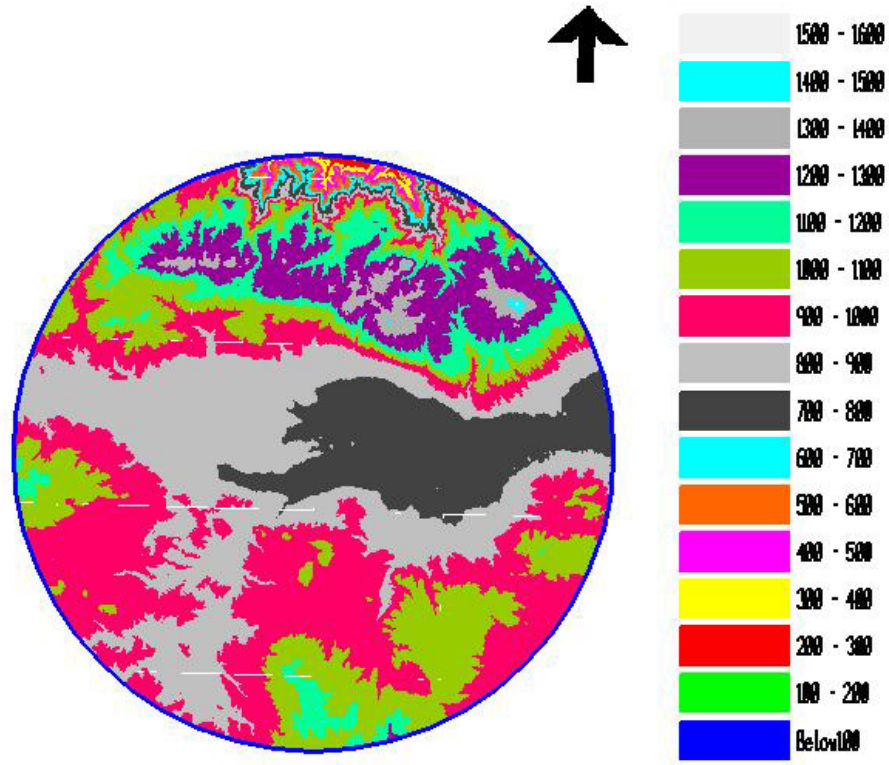
Şekil 6.37. Çalışma alanı içinde saptanan fayların etki alanı



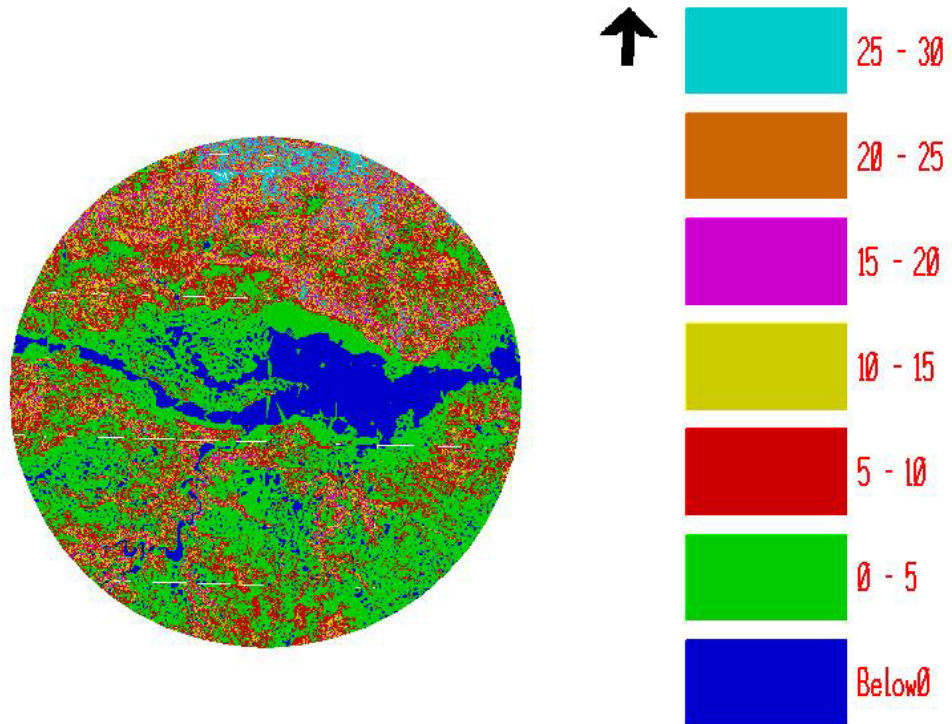
Şekil 6.38. Çalışma alanının jeolojik özellikleri



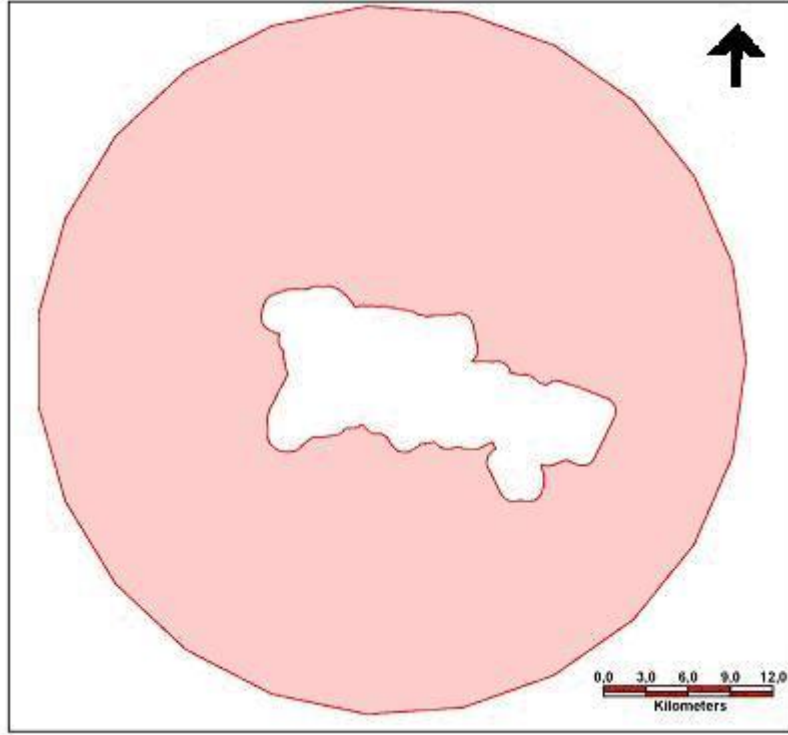
Şekil 6.39. Çalışma alanının uydu görüntüsü (LANDSAT 2005 RGB/741)



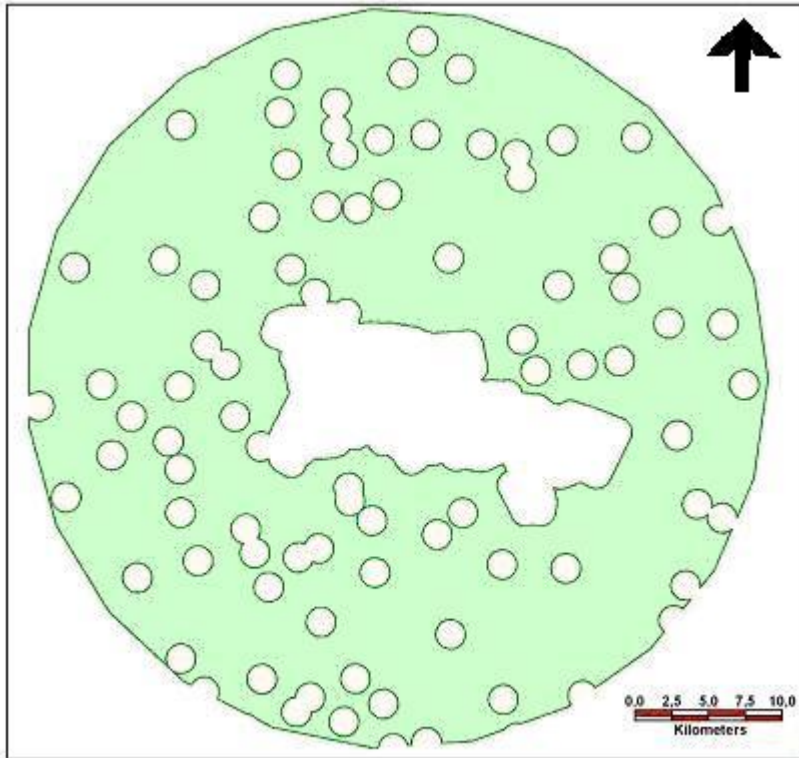
Şekil 6.40. Çalışma alanının yükseklik haritası (m)



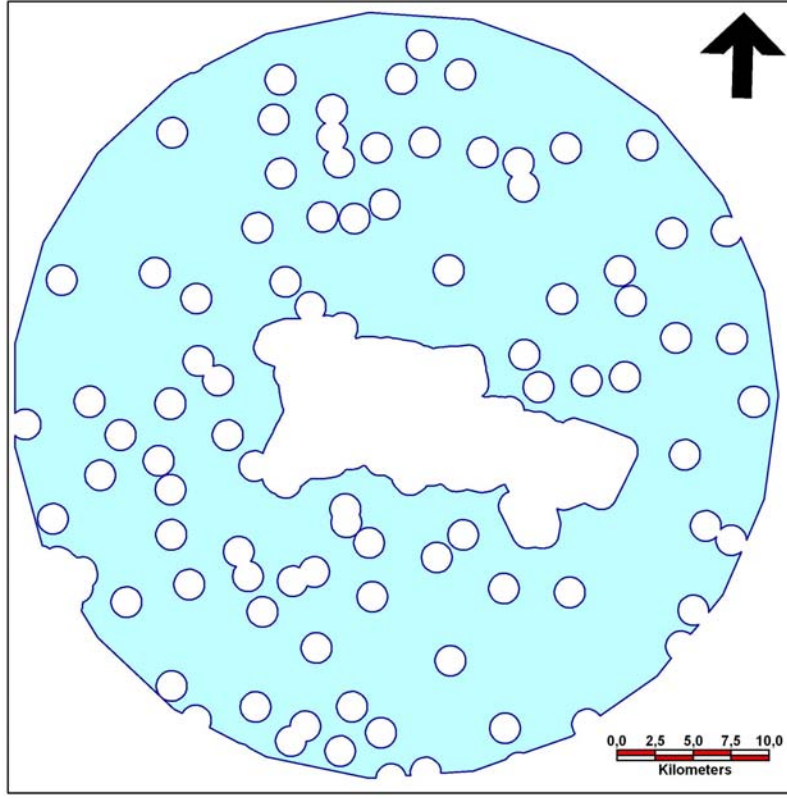
Şekil 6.41. Çalışma alanının eğim haritası (°)



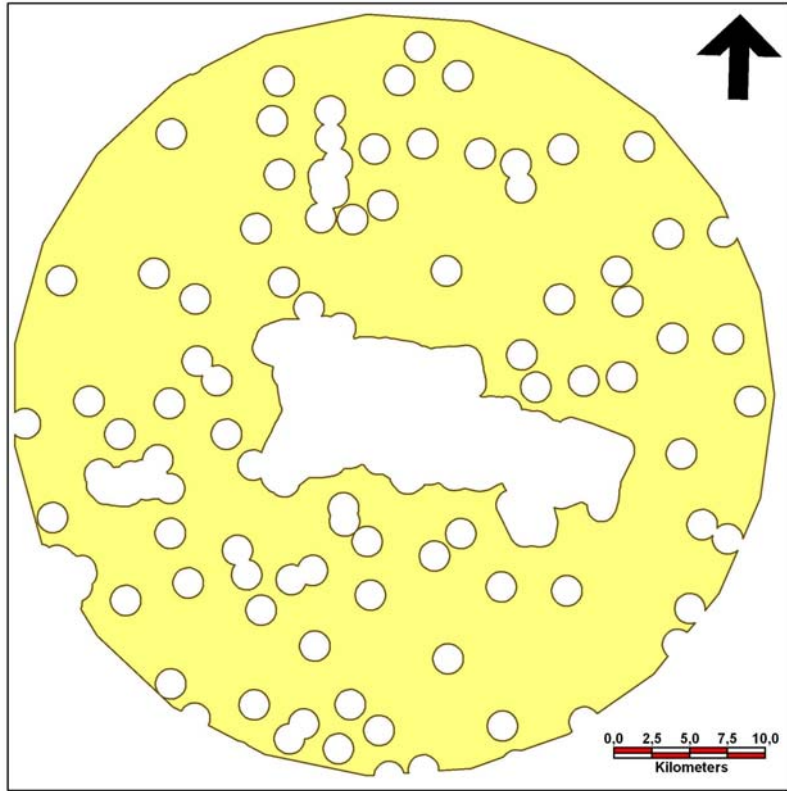
Şekil 6.42. Çalışma alanının kent merkezi dışındaki bölgeleri



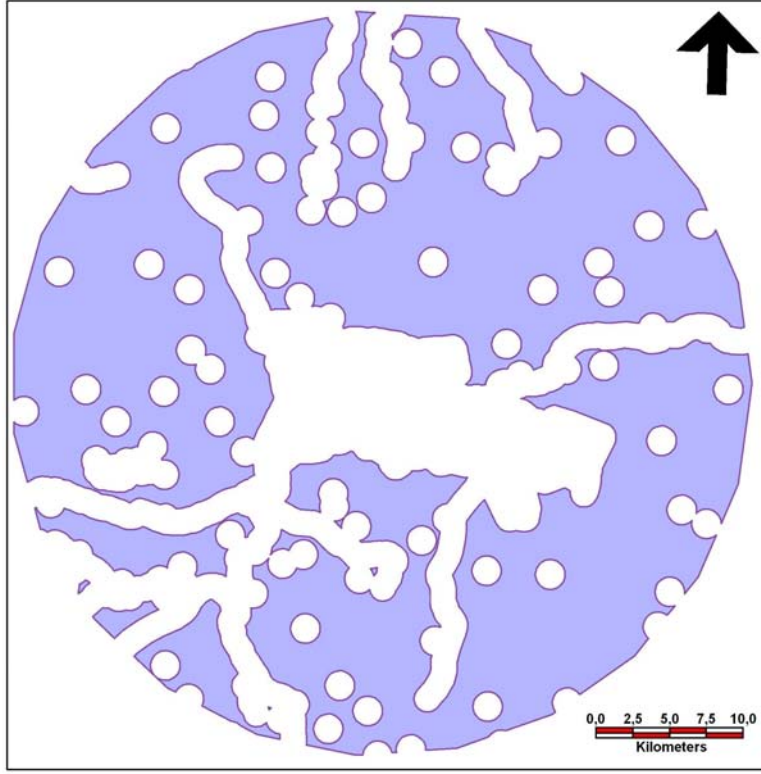
Şekil 6.43. Çalışma alanının kent merkezi ve köyler dışındaki bölgeleri



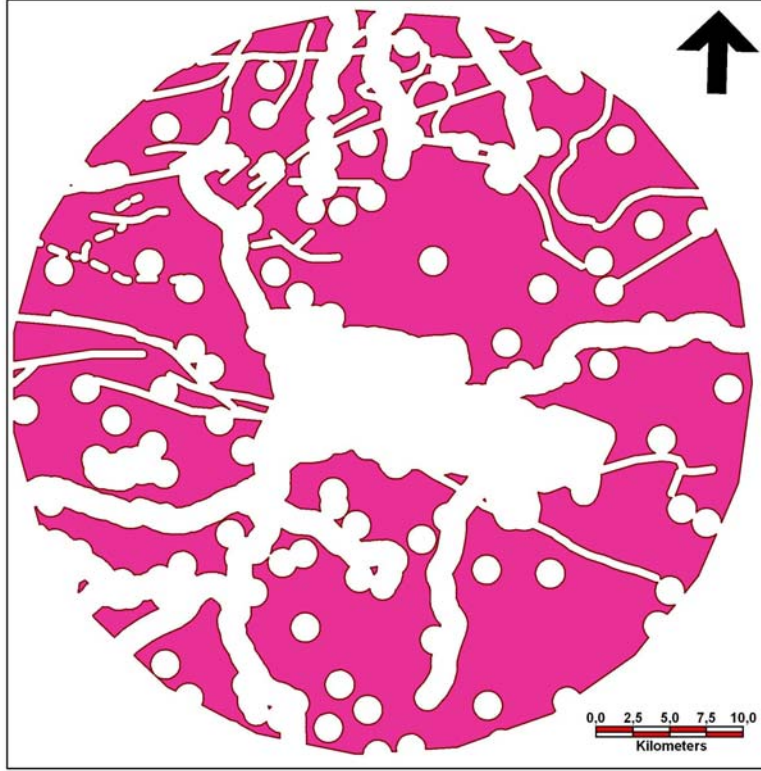
Şekil 6.44. Çalışma alanının kent merkezi, köyler ve barajlar dışındaki bölgeleri



Şekil 6.45. Çalışma alanının kent merkezi, köyler, barajlar ve göletler dışındaki bölgeleri

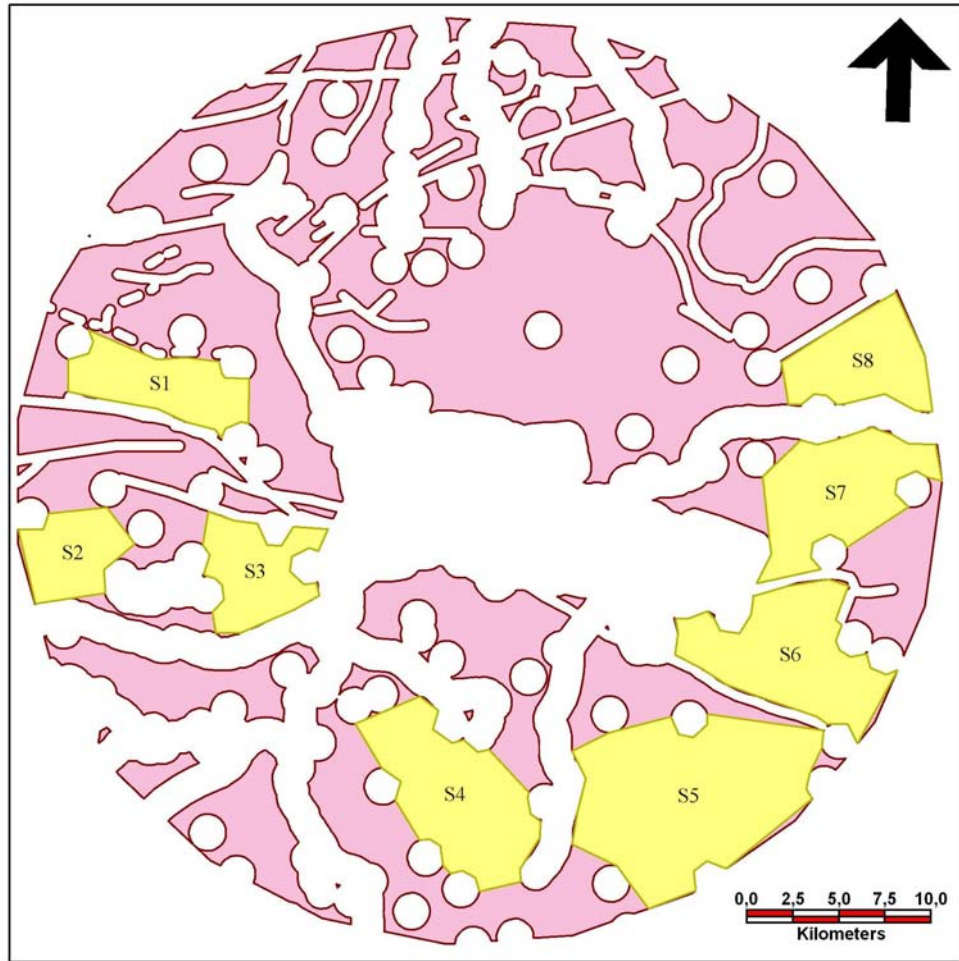


Şekil 6.46. Çalışma alanının kent merkezi, köyler, barajlar, göletler ve akarsu dışındaki bölgeleri

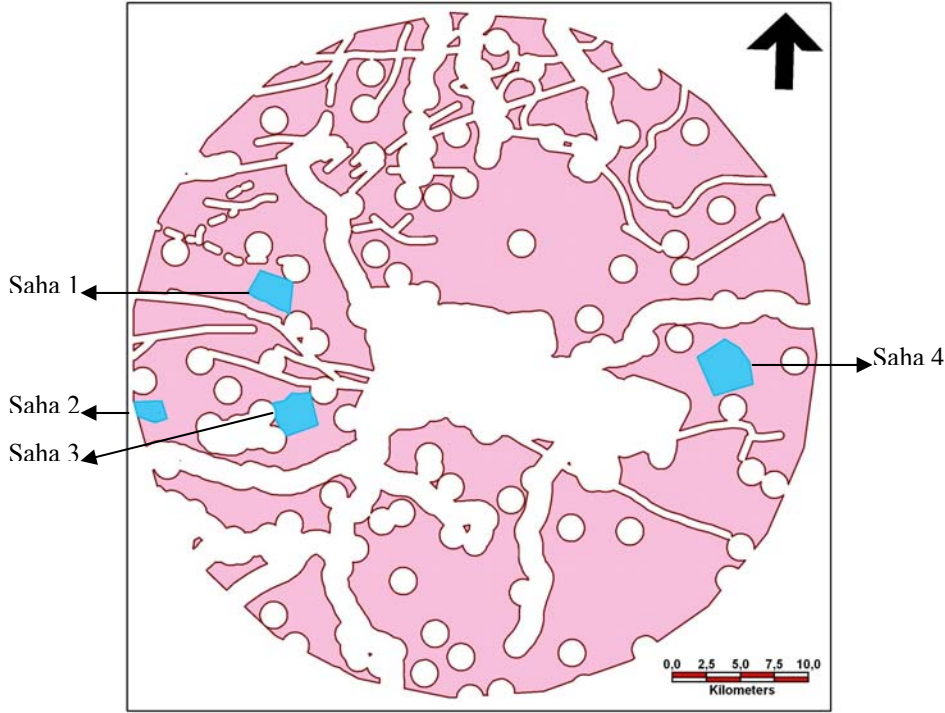


Şekil 6.47. Çalışma alanının kent merkezi, köyler, barajlar, göletler, akarsular ve faylar dışındaki bölgeleri

Şekil 6.47'ye göre depolama sahası yer seçimi çalışmalarında değerlendirilebilecek 11 farklı bölge belirlenmiştir (Şekil 6.48). LANDSAT 2005 (RGB 741) uydu görüntüsü kullanılarak, Şekil 6.48'de görülen bölgelerdeki tarım arazileri ve ormanlık alanlar belirlenmiş ve bu alanlar alternatif sahalardan kapsamından çıkarılmıştır. Bu kapsamda, şekilde görülen S5 ve S8 bölgeleri tamamen ormanlık alan ve tarım arazisi olduğundan, S6 ise Büyükşehir Belediyesi ile yapılan kişisel görüşmelere göre Organize Sanayi Bölgesi'nin gelişme alanı olduğu için değerlendirmeye alınmamıştır. Yine söz konusu uydu fotoğrafı kullanılarak ana yollar belirlenmiş ve ana yollara çok uzak olan S4 sahası elenmiştir. Böylece 8 alternatif sahadan 4'ü CBS ve UA yardımıyla elenmiş ve 4 alternatif saha değerlendirmeye alınmıştır (Şekil 6.49).



Şekil 6.48. Depolama sahası yer seçimi çalışmalarında değerlendirilebilecek bölgeler



Şekil 6.49. Depolama sahası yer seçimi çalışmalarında değerlendirilen alternatif sahalarda

6.5.2. Alternatif sahalarda özellikleri

Eskişehir için düzenli depolama sahası yer seçimi için Bölüm 6.5.1’de verilen çalışmalar sonucu 4 alternatif saha belirlenmiştir:

Saha 1: Satılmışoğlu sahası,

Saha 2: Nemli sahası,

Saha 3: Kızılınlar sahası,

Saha 4: Çavlum sahası.

Alternatif Saha 1 (Satılmışoğlu sahası): Belirlenen alternatif sahalardan ilki olan 1 no’lu saha (Satılmışoğlu Sahası), Eskişehir-İstanbul karayolundan 2 km uzaklıktaki Satılmışoğlu köyüne 3 km mesafededir (Şekil 6.50). I. dereceden hakim rüzgar yönü olan batıdan esen rüzgarlar ve III. dereceden hakim rüzgar yönü olan kuzeybatıdan esen rüzgarlar şehir merkezini olumsuz etkileyebilir. Saha şehir merkezine yaklaşık 20 km mesafede olup, sahanın yakınındaki kum ocağı nedeniyle toprak yol mevcuttur. Sahanın jeolojik yapısı, kuvaterner yaşlı tortul malzemeden ve ayrılmamış karasal kırıntılardan oluşmakta ve eğimi 0-5° arasında değişmektedir. Satılmış Köyü’nde Devlet Su İşleri’ne (D.S.İ.) ait mevcut kuyuda yeraltı su seviyesi 25 m’dir (DSİ ile kişisel görüşme, 2007).



Şekil 6.50. Satılmışoğlu sahasının görünümü

Alternatif Saha 2 (Nemli Sahası): Bu saha, Eskişehir-Kütahya karayolu üzerindeki Nemli köyünün karşı tarafındadır (Şekil 6.51). Saha şehir merkezine yaklaşık 30 km mesafededir. Sahaya herhangi bir yol yoktur, bu nedenle sahaya ulaşım için yol yapımına ihtiyaç vardır. Saha, en yakın yerleşim yeri olan Nemli köyüne 1,5 km uzaklıktadır. Sahanın jeolojik yapısı karasal kırıntılardan oluşmakta ve eğimi 0-10° arasındadır. Sahada, kırık ve çatlaklar olmakla beraber yer yer geçirimsiz, genelde az geçirimlidir. Sahadaki yeraltı suyu seviyesi yaklaşık 10 m'dir (DSİ ile kişisel görüşme, 2007). I. dereceden hakim rüzgar yönü olan batıdan esen rüzgarlar şehir merkezini olumsuz etkileyebilir.



Şekil 6.51. Nemli sahasının görünümü

Alternatif Saha 3 (Kızılınler Sahası): Bu saha, şehir merkezine 20 km uzaklıkta, Eskişehir-Kütahya karayoluna 4 km uzaklıktaki Kızılınler köyünden sonraki Musaözü yol ayrımındadır (Şekil 6.52). Kızılınler köyüne ise 1 km uzaklıktadır. Sahaya kadar dar bir toprak yol mevcuttur, ancak bu yolun genişletilmesi gereklidir. Sahanın jeolojik yapısı kuvaterner yaşlı tortul malzemedir, ofiyolitik kayalar ve karasal kırıntılardan oluşmakta ve eğimi 0-10° arasındadır. I. dereceden hakim rüzgar yönü olan batıdan esen rüzgarlar şehir merkezini olumsuz etkileyebilir. Sahadaki yer altı su seviyesi yaklaşık 10 m'dir (DSİ ile kişisel görüşme, 2007).



Şekil 6.52. Kızılınler sahasının görünümü

Alternatif Saha 4 (Çavlum Sahası): Bu saha, Eskişehir-Alpu karayoluna 1 km uzaklıkta dar bir toprak yola sahip olup, şehir merkezine 25 km uzaklıktadır (Şekil 6.53). Saha en yakın yerleşim yeri olan Çavlum köyüne 1,6 km uzaklıktadır. Sahanın jeolojik yapısı kireçtaşı-marn tabakasından oluşmakta ve eğimi 0-10° arasında değişmektedir. Sahaya en yakın kuyu Devlet Su İşleri'ne (D.S.İ.) ait olup Ağapınar Köyü'ndedir ve yeraltı su seviyesi 8 m'dir, ancak depolama sahasının yapılacağı bölgede kot farkından dolayı 30-40 m arasında olabileceği tahmin edilmektedir (DSİ ile kişisel görüşme, 2007). Sahanın şehir merkezinin doğusunda yer alması sebebiyle, II. derecede hakim rüzgar yönü olan doğudan esen rüzgarlar şehir merkezini olumsuz etkileyebilecektir. Sahanın yakınında kuru bir dere olmasına karşın şiddetli yağışlarla akışa geçen Çürüksu Deresi mevcuttur.



Şekil 6.53. Çavlum sahasının görünümü

6.5.3. Eskişehir için nüfus projeksiyonu ve atık miktarlarının tahmini

Nüfus projeksiyonu, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'nin kullandığı paylaşırma yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntem, yerleşim birimlerine ait doğum, ölüm ve göç verilerinin mevcut olmadığı zaman başvuru matematiksel bir yöntemdir ve son sayımdan sonra ulusal nüfusta meydana gelen artış, ülkenin alt birimleri (örn; iller veya şehirler) arasında dağıtır. Bu teknik, sayım sonrası nüfus artışını tahmin etmek için ilgili birimlerin son iki sayım arasındaki artış hızına dayanır. TÜİK tarafından tüm Türkiye için 1990-2010 yılları arasında söz konusu yöntemle bir projeksiyon yapılmış, ancak bu projeksiyonda 1990 yılı kesin sayım sonuçları kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında ise, TÜİK tarafından açıklanan 2000 yılı kesin nüfus sayım sonuçları esas alınarak, TÜİK'in Eskişehir için belirlemiş olduğu nüfus artış hızları dikkate alınmıştır. Bu katsayılar tüm il için 1,01, merkez ilçe için ise 1,003'tür (TÜİK Bilgi Edinme; 2007). Kişi başına düşen atık miktarları ise Eskişehir'in 2007 yılındaki atık üretiminin 750 ton/gün olmasından hareketle 1,32 kg/kişi.gün olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.15'de verilmiştir. Bölüm 6.2'de ayrıntıları verilen ELECTRE III ve

LCA ile en uygun atık yönetim sisteminin belirlenmesine yönelik çalışmalar sonucu, Eskişehir için en uygun senaryo %15 geri kazanım, %77 kompostlama ve %8 depolama olarak belirlenmiştir. Bu bilgiden hareketle, depolanacak yıllık atık miktarları belirlenmiş ve Çizelge 6.15’de verilmiştir.

Çizelge 6.15. Eskişehir için nüfus projeksiyonu ve tahmini atık miktarları

| Yıllar | Nüfus | | Atık miktarı (kg/gün) | | |
|--------|--------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------------------|
| | Toplam | Merkez ilçe | Toplam | Merkez ilçe | Merkez ilçe, % 8 düzenli depolama |
| 2000 | 706009 | 557028 | 931932 | 735277 | 58822 |
| 2001 | 713069 | 558699 | 941251 | 737483 | 58999 |
| 2002 | 720200 | 560375 | 950664 | 739695 | 59176 |
| 2003 | 727402 | 562056 | 960170 | 741914 | 59353 |
| 2004 | 734676 | 563742 | 969772 | 744140 | 59531 |
| 2005 | 742023 | 565434 | 979470 | 746372 | 59710 |
| 2006 | 749443 | 567130 | 989264 | 748612 | 59889 |
| 2007 | 756937 | 568831 | 999157 | 750857 | 60069 |
| 2008 | 764507 | 570538 | 1009149 | 753110 | 60249 |
| 2009 | 772152 | 572250 | 1019240 | 755369 | 60430 |
| 2010 | 779873 | 573966 | 1029433 | 757635 | 60611 |
| 2011 | 787672 | 575688 | 1039727 | 759908 | 60793 |
| 2012 | 795549 | 577415 | 1050124 | 762188 | 60975 |
| 2013 | 803504 | 579147 | 1060625 | 764475 | 61158 |
| 2014 | 811539 | 580885 | 1071232 | 766768 | 61341 |
| 2015 | 819655 | 582628 | 1081944 | 769068 | 61525 |
| 2016 | 827851 | 584375 | 1092763 | 771376 | 61710 |
| 2017 | 836130 | 586129 | 1103691 | 773690 | 61895 |
| 2018 | 844491 | 587887 | 1114728 | 776011 | 62081 |
| 2019 | 852936 | 589651 | 1125875 | 778339 | 62267 |
| 2020 | 861465 | 591420 | 1137134 | 780674 | 62454 |
| 2021 | 870080 | 593194 | 1148505 | 783016 | 62641 |
| 2022 | 878781 | 594973 | 1159990 | 785365 | 62829 |
| 2023 | 887568 | 596758 | 1171590 | 787721 | 63018 |
| 2024 | 896444 | 598549 | 1183306 | 790084 | 63207 |
| 2025 | 905409 | 600344 | 1195139 | 792454 | 63396 |
| 2026 | 914463 | 602145 | 1207091 | 794832 | 63587 |
| 2027 | 923607 | 603952 | 1219162 | 797216 | 63777 |
| 2028 | 932843 | 605764 | 1231353 | 799608 | 63969 |
| 2029 | 942172 | 607581 | 1243667 | 802007 | 64161 |
| 2030 | 951593 | 609404 | 1256103 | 804413 | 64353 |

Çizelge 6.15’de verilen katı atık miktarları kullanılarak, 2010 yılından itibaren önümüzdeki 20 yıllık bir zaman dilimi için oluşacak toplam katı atık miktarı ve buradan hareketle Eskişehir için gerekli düzenli depolama sahasının hacmi hesaplanmıştır (Çizelge 6.16). Buna göre, Eskişehir için planlanan 20 yıllık katı atık düzenli depolama sahasının kapasitesi yaklaşık 700 000 m³ olacaktır.

Çizelge 6.16. 2010-2030 yılları arasında Eskişehir il merkezinde depolanacak toplam katı atık miktarı

| Yıllar | Günlük depolanacak atık miktarı, kg | Yıllık depolanacak atık miktarı, kg | Kümülatif atık miktarı, kg |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 2010 | 60611 | 22 123 015 | 22 123 015 |
| 2011 | 60793 | 22 189 445 | 44 312 460 |
| 2012 | 60975 | 22 255 875 | 66 568 335 |
| 2013 | 61158 | 22 322 670 | 88 891 005 |
| 2014 | 61341 | 22 389 465 | 111 280 470 |
| 2015 | 61525 | 22 456 625 | 133 737 095 |
| 2016 | 61710 | 22 524 150 | 156 261 245 |
| 2017 | 61895 | 22 591 675 | 178 852 920 |
| 2018 | 62081 | 22 659 565 | 201 512 485 |
| 2019 | 62267 | 22 727 455 | 224 239 940 |
| 2020 | 62454 | 22 795 710 | 247 035 650 |
| 2021 | 62641 | 22 863 965 | 269 899 615 |
| 2022 | 62829 | 22 932 585 | 292 832 200 |
| 2023 | 63018 | 23 001 570 | 315 833 770 |
| 2024 | 63207 | 23 070 555 | 338 904 325 |
| 2025 | 63396 | 23 139 540 | 362 043 865 |
| 2026 | 63587 | 23 209 255 | 385 253 120 |
| 2027 | 63777 | 23 278 605 | 408 531 725 |
| 2028 | 63969 | 23 348 685 | 431 880 410 |
| 2029 | 64161 | 23 418 765 | 455 299 175 |
| 2030 | 64353 | 23 488 845 | 478 788 020 |

Katı atık yoğunluğu (iyi sıkıştırılmış) = 690 kg / m³ (Tchobanoglous ve ark. 1993).
2030 yılında beklenen katı atık miktarı = 478,8 × 10⁶
Katı atık hacmi = (478,8 × 10⁶ kg) / (690 kg / m³)
= 693.900 m³

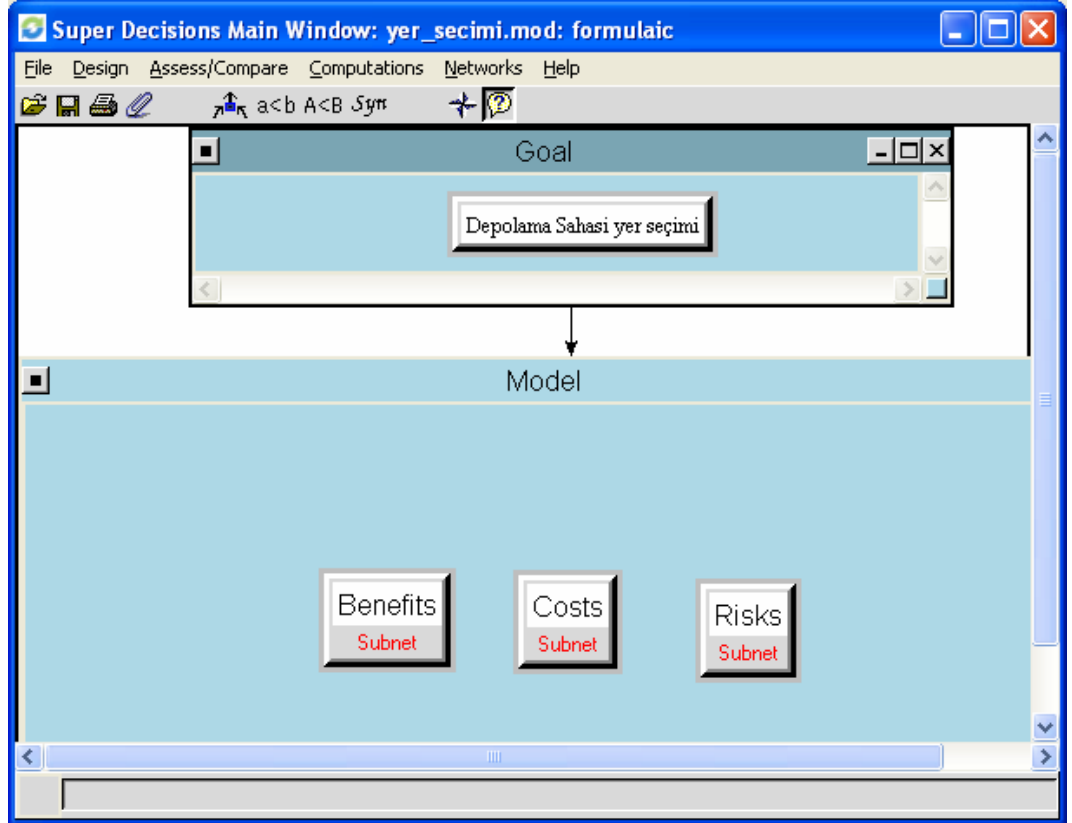
6.5.4. ANP yöntemi ile yapılan çalışmalar

Eskişehir için düzenli depolama sahası yer seçimi için Bölüm 6.5.2’de verilen sahalardan değerlendirilmesinde; ANP yöntemiyle, BOCR (Fayda-Fırsat-Maliyet-Risk) Modeli, fayda ve fırsat kümeleri birlikte ele alınarak BCR (Fayda-Maliyet-Risk) şeklinde kurulmuştur. BOCR modelinde fırsat kümesindeki faktörler fayda kümesindeki faktörlerin alt kümesi durumunda olduğundan, bu iki küme birarada alınmıştır. Oluşturulan BCR Modelinde kullanılan ağırlıklandırma ve formülasyon şu şekildedir:

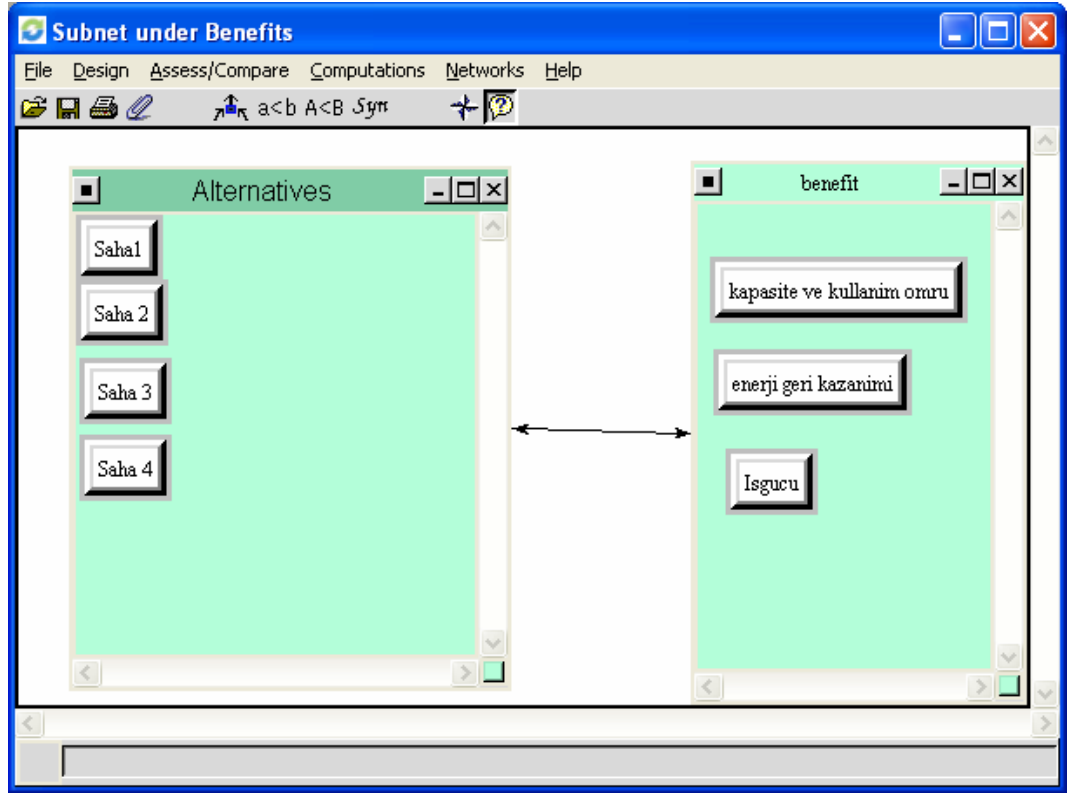
- Fayda = 1/6
- Maliyet = 1/3
- Risk = 1/2

$$\text{Formül: } fayda + \frac{1}{maliyet} + \frac{1}{risk}$$

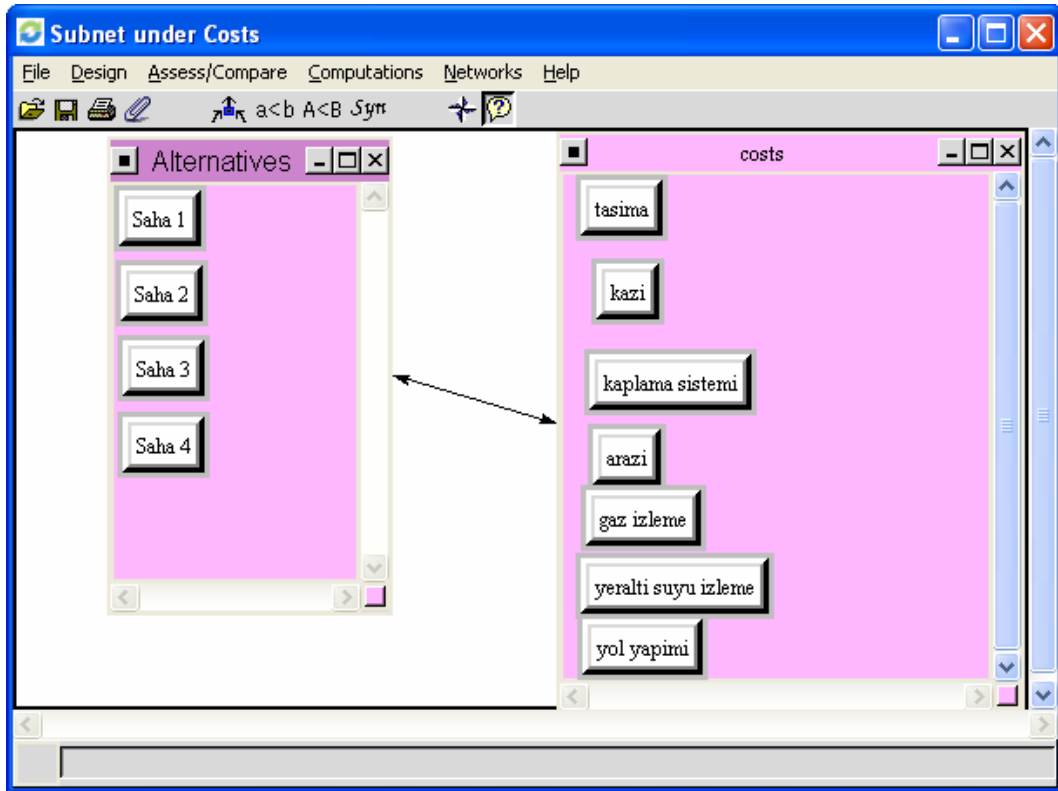
Kullanılan BCR modeli ve ilgili Super Decisions yazılım görüntüleri Şekil 6.54’de, fayda/fırsat, maliyet ve risk kümesi ölçütleri ise Şekil 6.55’de verilmiştir.



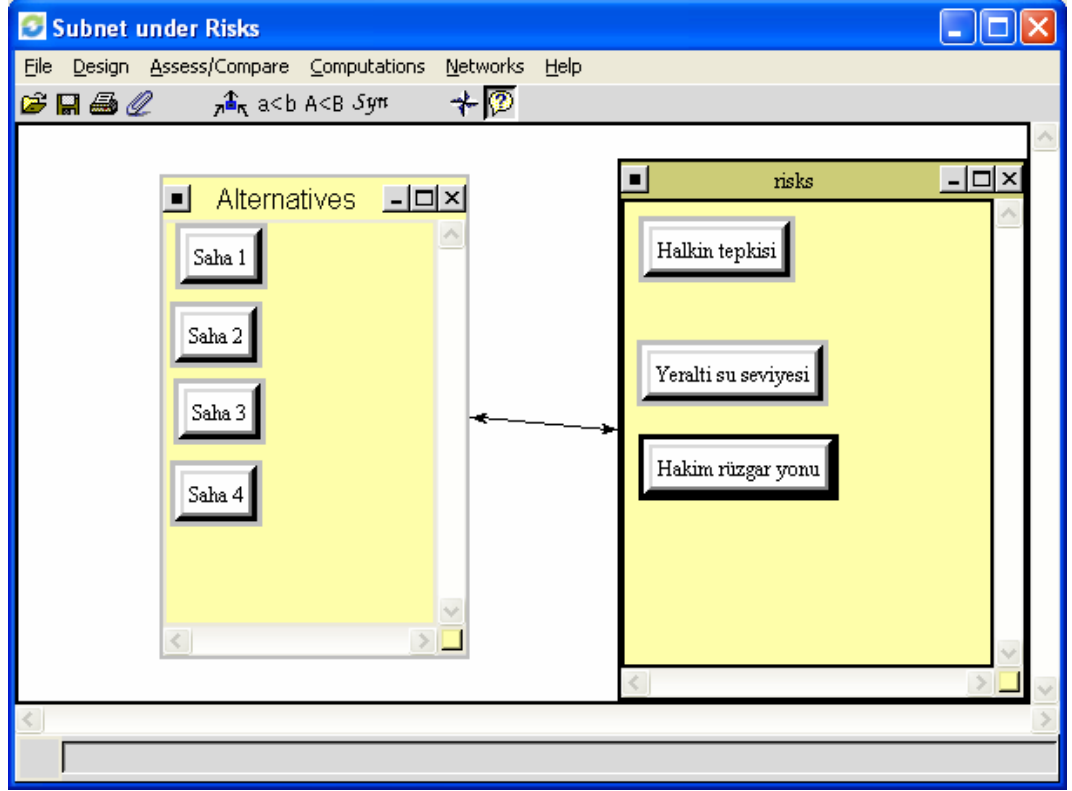
Şekil 6.54. Depolama sahası yer seçiminde kullanılan BCR Modeli ve Super Decision yazılım görüntüsü



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.55. Depolama sahası yer seçimi çalışmalarında kullanılan ANP ile ilgili yazılım görüntüleri a) Fayda kümesi ölçütleri b) Maliyet kümesi ölçütleri c) Risk kümesi ölçütleri

Faydalar:

- **Kapasite ve Kullanım Ömrü:** Bu ölçütte sahalарın alanları CBS yardımıyla belirlenmiş ve bu alanın içine yol, kamyon bekleme alanı, idari binalar gibi yapıların ilave edileceği göz önüne alındığında, %65'inin atık depolama için kullanılabileceği düşünülmüştür. Bunun yanı sıra günlük örtü tabakasının atığa oranının 1/5 olduğu düşünülerek etkin olarak kullanılabilecek alanlar hesaplanmıştır (Tchobanoglous ve ark. 1993). 1000 m³ hacim ve 400 m² yüzey alanına sahip rampalardan kullanılabileceği düşünülerek saha hacimleri hesaplanmıştır (Köse ve Yılmaz, 2003). Çizelge 6. 17'de bu hesaplamalar sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, alternatif sahalарın hacimleri, 2030 yılına kadar gerekli hacim 700.000 m³ olarak hesaplandığından, çok uzun yıllar yeterli olacak büyüklüktedir. Çünkü, daha önce de bahsedildiği üzere, belirlenen en uygun atık yönetim

Çizelge 6.17 Alternatif sahaların kapasiteleri

| | Alan, 10⁶ m² | %65'lik alan | Etkin alan | Hacim, 10⁶ m³ |
|--------|---|-------------------------|-------------------|--|
| Saha 1 | 6,2 | 4,0 | 3,2 | 8,1 |
| Saha 2 | 2,8 | 1,8 | 1,5 | 3,6 |
| Saha 3 | 7,2 | 4,7 | 3,7 | 9,4 |
| Saha 4 | 10,8 | 7,0 | 5,6 | 14,0 |

sistemi senaryosuna göre atıkların sadece % 8'i depolama sahasına gönderilecektir. Yapılan hesaplamalara göre, en fazla kapasiteye Saha 4 daha sonra sırasıyla Saha 3, Saha 1 ve Saha 2 sahip görünmektedir.

- **Enerji Geri Kazanımı:** Mevcut atık miktarının ve atık yapısının belirleyici olduğu bu ölçütte, tüm sahalar hemen hemen eşit fayda sağlama kapasitesine sahip olmakla birlikte, sağlanacak enerjinin süresi açısından saha kullanım ömürleri dikkate alınmış ve bu ölçüt açısından sıralama; Saha 4, Saha 3, Saha 1, ve Saha 2 şeklinde olmuştur.
- **İşgücü:** Depolama tesislerinin kurulması ve işletilmesi aşamalarında yöre halkı için önemli bir istihdam imkanı doğmaktadır. Alternatif sahaların bu ölçüt açısından birbirleriyle kıyaslamalarında ise sahaların en yakın yerleşim yerlerine uzaklıkları ve kullanım süreleri dikkate alınmıştır. Buna göre sıralama Saha 4, 3, 2 ve 1 şeklinde olmuştur.

Maliyet:

- **Taşıma:** Alternatif sahaların taşıma mesafelerini belirlemek için şehir merkezine olan uzaklıklarının göz önüne alındığı ölçütte, 20 km uzaklıkla 1 ve 3 no'lu alternatif sahalar maliyet açısından en avantajlı konuma sahipken, 25 km uzaklıkla 4 no'lu alternatif saha ve 30 km'lik taşıma mesafesi ile 2 no'lu saha izlemektedir. Dolu bir kamyonun km'de 0,4 L motorin harcadığı ve motorin fiyatının 2,32 \$/L olduğu düşünülerek taşıma maliyetleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.18).
- **Kazı:** Belirleyici etken olarak topoğrafyanın göz önüne alındığı ölçütte, sahaların eğimleri ve hacimleri dikkate alınmıştır. Saha kapasiteleri ve

eğimlere göre 1 m³'lk bir alanın kazı maliyeti 1,35 \$ alınarak hesaplanan maliyetler izelge 6.18'de verilmiştir (Güllü, 2006).

- **Kaplama Sistemi:** Bu ltte, sahaların jeolojik ve hidrojeolojik yapıları dikkate alınmıştır. Saha 1, 3 ve 4 genellikle geçirimli bir yapıya sahipken, Saha 2 geçirimsiz bir yapıya sahiptir. Bu bilgilere göre, Saha 2 için sadece kil tabakasının kullanılacağı, diğer sahalarda içinse hem kil, hem de HDPE tabakasının kullanılacağı dşnlmştir. 1 m²'lik alana kil kaplama için gerekli maliyet 5,4 \$ ve HDPE için ise 13,9 \$ alınmış ve hesaplanan değerler izelge 6 18'de verilmiştir (Güllü, 2006).
- **Arazi:** Alternatif sahalardan Çavlum ve Satılmışoğlu sahaları tarım arazisi ve Nemli ve Kızılınlar sahaları orman arazisidir. şahıs arazilerinin fiyatı değerkenlik göstermekle birlikte bu çalışmada 6 \$/m² olarak alınmıştır. Orman arazilerinin ise, satın alınması gibi bir durum söz konusu değerildir. Bu alanlar depolama sahasının yatırım maliyetinin %10'u kadar bir yıllık bedeli ile kiralanmakta ve daha sonra ağaçlandırılarak devredilmektedir. Buna göre sahaların en az 2030 yılına kadar kiralandığı düşünülerek maliyetleri hesaplanmıştır.
- **Gaz İzleme:** Alternatif sahaların hacimlerinin belirleyici etken olduğu bu ltte kapasitelere göre sıralama Saha 4, Saha 1, Saha 3, ve Saha 2 şeklinde olmuştur.
- **Yeraltı Suyu İzleme:** Alternatif sahalarda bulunan yeraltı suları ve bunların seviyelerine göre değerlendirme yapılmıştır. Buna göre en maliyetli alternatif saha, yeraltı su seviyesi 30 m derinliklerde bulunan 4 no'l saha olmuştur. Bunu sırasıyla yeraltı su seviyesi 25 m olan 1 no'l alternatif saha izlemiştir. Bu ltte mali açıdan en uygun olan sahalarda ise mevcut yeraltı su seviyesi 10 m olan 2 ve 3 no'l alternatif sahalarda olarak belirlenmiştir.
- **Yol yapımı:** Alternatif sahalardan sadece Saha 2'ye 1 km'lik yeni yol yapımına ihtiyaç vardır. Saha 1 için 200m, Saha 3 için 100m ve Saha 4 için 500 m'lik bir yol genişletme çalışması gereklidir. 1 km'lik yeni asfalt yol yapım maliyeti 30 000 \$ ve mevcut yolların iyileştirilmesi için 15 000\$ alınarak hesaplanan değerler izelge 6.18'de verilmiştir (http-10, 2007).

Çizelge 6.18. Depolama sahası maliyetleri

| | Saha 1 | Saha 2 | Saha 3 | Saha 4 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Taşıma maliyetleri (\$/sefer) | 37 | 55,7 | 37 | 46 |
| Kazı maliyetleri (10 ⁶ \$) | 1,17 | 10,6 | 27,3 | 77,7 |
| Kaplama sistemi maliyetleri (10 ⁶ \$) | 112 | 14,2 | 130 | 104 |
| Arazi maliyetleri (10 ⁶ \$) | 37,2 | 49,7 | 314,6 | 64,8 |
| Yol yapım maliyetleri (\$) | 3000 | 30000 | 1500 | 7500 |

Risk:

- **Halkın Tepkisi:** Bu ölçütte, alternatif sahaların en yakın yerleşim birimlerine uzaklıkları dikkate alınmıştır. Buna göre en riskli sahalar Saha 3 daha sonra da sırasıyla Saha 2, 4 ve 1 şeklinde olmuştur.
- **Yeraltı su seviyesi:** Yer altı su seviyesi yüzeye en düşük olan saha en riskli olarak düşünülmüştür. Buna göre sıralama Saha 2 ve 3 (10 m), Saha 1 (25 m) ve 4 (30 m) şeklindedir.
- **Hakim rüzgar yönü:** Saha 1, I. ve III. derece hakim rüzgar yönü açısından riskli iken, Saha 2 ve 3 I. dereceden hakim rüzgar yönü ve Saha 4 II. derece hakim rüzgar yönüyle şehri olumsuz etkileyebilecektir. Bu ölçüt değerlendirilirken sahaların şehre olan uzaklıkları da göz önüne alınmıştır.

6.5.5. ELECTRE III yöntemi ile yapılan çalışmalar

Bölüm 6.5.2’de açıklanan sahalar, ELECTRE III yöntemi ile değerlendirilmiş ve karar verici olarak, belediye ve üniversite alınmıştır. Bunun için; teknik, çevresel, ekonomik ve sosyal olarak 4 grupta ele alınan toplam 13 ölçüt belirlenmiştir (Çizelge 6.19). Bu ölçütler ortak bir değerlendirmeyle ağırlıklandırılmış ve Çizelge 6.20’deki performans matrisi oluşturulmuştur. Sayısal olmayan değerler 1-9 arasında aşağıdaki şekilde ölçeklendirilmiştir. Artması tercih edilen ölçütler için; 1: kabul edilemez; 2: çok kötü; 3: kötü; 4: orta kötü; 5: orta; 6: orta iyi; 7: iyi; 8: çok iyi ve 9: mükemmel ve azalması tercih edilen ölçütler için; 1: mükemmel; 2: çok iyi; 3: iyi; 4: orta iyi; 5: orta; 6: orta kötü; 7: kötü; 8: çok kötü ve 9: kabul edilemez olmak üzere iki farklı ölçek kullanılmıştır. Sonuçta, ELECTRE III kullanılarak senaryolar arasındaki sıralama belirlenmiştir.

Çizelge 6.19. Depolama sahası yer seçimi çalışmalarında kullanılan ölçütler ve özellikleri

| Ölçüt no | Ölçüt grubu | Ölçüt adı | Birim | Tercih yönü | Açıklama |
|----------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|--|
| g1 | Teknik ölçütler | Kapasite | 10 ⁶ m ³ | Artan | En yüksek kapasite tercih edilir. |
| g2 | Çevresel ölçütler | Yeraltı su seviyesi | m | Artan | Yeraltı suyu kirliliğinin olmaması için en yüksek yeraltı su seviyesine sahip olan saha tercih edilir. |
| g3 | | Hakim rüzgar yönü | Puan (1-9) | Azalan | Sahadaki hakim rüzgar yönü kenti olumsuz etkilememelidir. |
| g4 | | Enerji kazanımı | Puan (1-9) | Artan | Sahadan kazanılacak enerji hem çevresel hem de ekonomik açıdan yararlı olacaktır. |
| g5 | Ekonomik ölçütler | Taşıma maliyeti | \$/sefer | Azalan | Sahaya araçların atık taşınması için harcanan maliyettir. |
| g6 | | Kazı maliyeti | 10 ⁶ \$ | Azalan | Sahanın hacmi ve eğimine göre belirlenir. |
| g7 | | Kaplama sistemi maliyeti | 10 ⁶ \$ | Azalan | Sahanın geçirimsizliğinin sağlanması için gerekli olan maliyettir. |
| g8 | | Arazi maliyeti | 10 ⁶ \$ | Azalan | Arazinin satın alınması için gerekli maliyettir. |
| g9 | | Gaz izleme maliyeti | Puan (1-9) | Azalan | Sahadaki gazın bir tehlike yaratıp yaratmadığını kontrol etmek için gerekli olan maliyettir. |
| g10 | | Yeraltı suyu izleme maliyeti | Puan (1-9) | Azalan | Sahanın yeraltı suyu kirliliğine neden olup olmadığını kontrol etmek için gerekli olan maliyettir. |
| g11 | | Yol yapım maliyeti | \$ | Azalan | Sahaya ulaşım için gerekli olan yolun yapım maliyetidir. |
| g12 | Sosyal / politik ölçütler | Halkın tepkisi | Puan (1-9) | Azalan | Saha halkın tepkisini çekmeyecek bir konumda olmalıdır. |
| g13 | | İşgücü | Puan (1-9) | Artan | Sistemde yer alan tüm bileşenlerin yaratacağı istihdam |

Çizelge 6.20. Ölçüt, alternatif, eşik değeri ve ölçüt ağırlıklarının performans değerleri

| Ölçüt | Ölçüt ağırlıkları | Sahalar | | | | Tercih eşik değerleri (p _j) | | Farksızlık eşik değerleri (q _j) | |
|-------|-------------------|---------|-------|-------|------|---|------|---|------|
| | | S1 | S2 | S3 | S4 | α | β | α | β |
| g1 | 21 | 8,1 | 3,6 | 9,4 | 14,0 | 0 | 15 | 0 | 10 |
| g2 | 11 | 25 | 10 | 10 | 30 | 0 | 20 | 0 | 10 |
| g3 | 5 | 1 | 1 | 3 | 4 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| g4 | 8 | 3 | 1 | 4 | 8 | 0 | 4 | 0 | 2 |
| g5 | 11 | 37 | 55,7 | 37 | 46 | 0 | 20 | 0 | 30 |
| g6 | 5 | 1,17 | 10,6 | 7,3 | 7,7 | 0 | 5 | 0 | 20 |
| g7 | 4 | 112 | 14,2 | 130 | 104 | 0 | 15 | 0 | 50 |
| g8 | 7 | 37,2 | 49,7 | 314,6 | 64,8 | 0 | 15 | 0 | 30 |
| g9 | 2 | 3 | 1 | 4 | 8 | 0 | 2 | 0 | 4 |
| g10 | 2 | 4 | 2 | 2 | 5 | 0 | 2 | 0 | 4 |
| g11 | 3 | 3000 | 30000 | 1500 | 7500 | 0 | 2000 | 0 | 5000 |
| g12 | 18 | 4 | 2 | 3 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| g13 | 3 | 1 | 5 | 8 | 3 | 0 | 3 | 0 | 2 |

7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

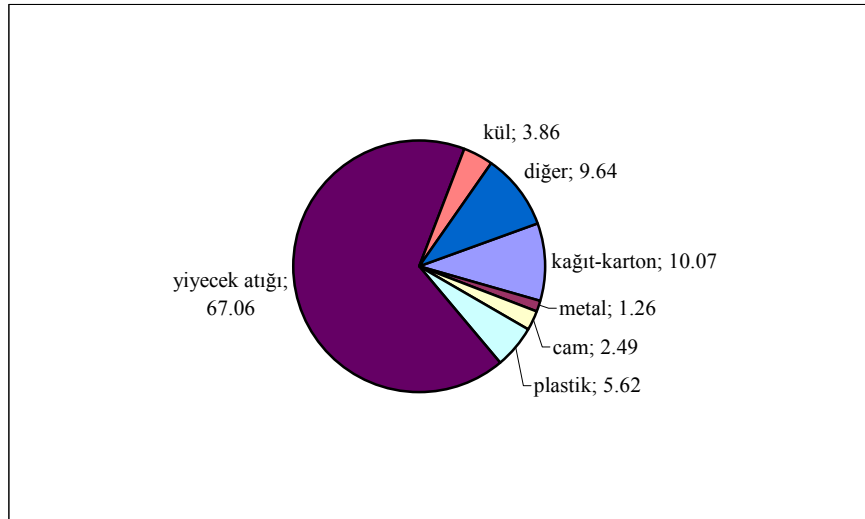
7.1. Atık Bileşimi İle İlgili Bulgular

Bir yıl süreyle, 64 farklı bölgeden alınan, toplam 562 örnekle yapılan atık karakterizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre, Eskişehir'deki kentsel katı atıkların genel bileşimi Şekil 7.1'de verilmiştir.

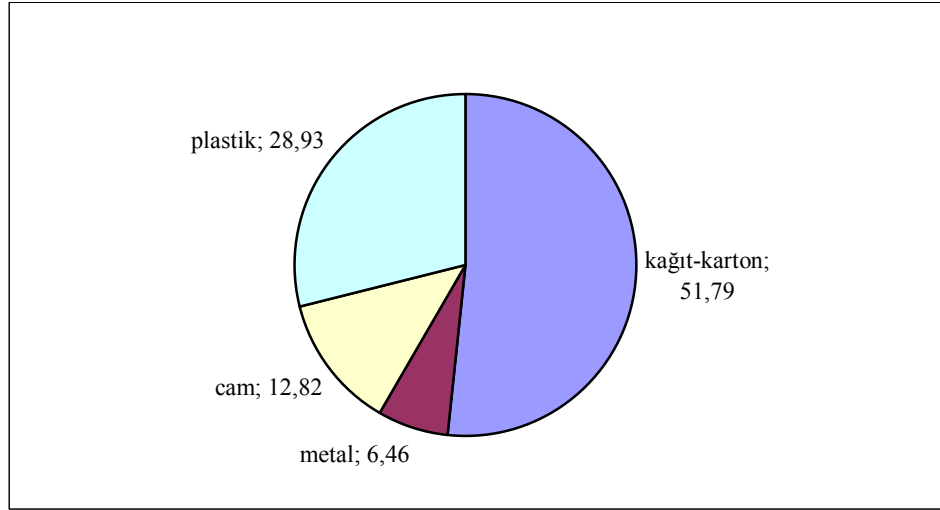
Şekil 7.1'de de görüldüğü gibi, yiyecek atıkları toplam atık içerisinde en büyük paya sahiptir (%67,06). Endüstrileşmiş ve gelişmekte olan ülkelerde üretilen kentsel katı atıklardaki en önemli farklardan biri yiyecek atığı yüzdesidir. Endüstrileşmiş ülkelerde hazır yiyecek tüketiminin fazlalığı nedeniyle oluşan yiyecek atığı miktarı azdır. Örneğin ABD'de bu oran % 9 mertebesinde iken, bu çalışmada, %67 bulunmuştur (Tchobanoglous ve ark. 1993).

Metal ve cam yüzdeleri diğer bileşenlere göre daha düşüktür. Çünkü metal ve cam şişeler ya ev hanımları tarafından yeniden kullanılmakta ya da üreticiler tarafından geri toplanmaktadır. Kağıt ve plastikler ise, nispeten daha yüksek oranlarda olup bu değer kağıt için %10, plastik için %5,6'dır.

Geri kazanılabilir atıkların dağılımı Şekil 7.2'de verilmiştir. Bu şekle göre, plastik, cam ve metaller sırasıyla % 29, % 13 ve % 6,5 iken, kağıt %52 ile en yüksek değere sahiptir.



Şekil 7.1 Eskişehir'deki kentsel katı atıkların genel bileşimi (% ağırlık)



Şekil 7.2. Eskişehir’deki geri kazanılabilir atık dağılımı (% ağırlık)

Türkiye’de büyük kentlerdeki katı atık bileşimi ile bu çalışmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 7.1’de karşılaştırılmıştır. Bu çizelgeye göre, farklı şehirlerdeki sosyo-ekonomik yapıdan dolayı, bileşimlerdeki farklılıklar dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra, Eskişehir’de geri dönüştürülebilir atıkların toplam atığa oranı yaklaşık 1/5 iken, diğer büyükşehirlerde bu oran yaklaşık 1/3’tür.

Çizelge 7.1. Türkiye’deki büyük kentlerde kentsel katı atık bileşimi (% ağırlıkça)

| | ESKİŞEHİR | BURSA* | İSTANBUL* | İZMİR* | ADANA* | MERSİN* |
|---------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nüfus | 591.296 | 1.958.529 | 9.198.809 | 3.114.859 | 1.682.483 | 1.508.232 |
| Yiyecek atığı | 67,04 | 53,1 | 43 | 46 | 64,4 | 63 |
| Kağıt-karton | 10,07 | 18,4 | 7,8 | 12 | 14,8 | 18,42 |
| Plastik | 5,62 | 11,6 | 14,2 | 12 | 5,92 | 6,69 |
| Metal | 1,26 | 3 | 5,8 | 3 | 1,4 | 1,25 |
| Cam | 2,49 | 3,4 | 6,2 | 4 | 3,08 | 3,08 |
| Diğer | 13,5 | 10,5 | 23,1 | 23 | 11,4 | 7,6 |

*Metin ve ark. 2003

7.1.1. Kentsel katı atıkların mevsimsel değişimi

Mevsimplere göre kentsel katı atık bileşimi izelge 7.2’de ve bu sonuçların Pearson analiz sonuçları izelge 7.3’de verilmiştir. Çizelge 7.3’deki değerler (Pearson bağıntı katsayıları) değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini göstermektedir. Bu değer negatif ise, ilişki ters yönlüdür; pozitif ise ilişki aynı yönlüdür. Söz konusu katsayı 0,1’e yakınsa ilişki çok azdır, ancak 0,5’den büyük ya da özellikle 1’e yakınsa ilişki kuvvetlidir. Tezde, sonuçlar değerlendirilirken 0,7 veya 0,7’den büyük katsayıya sahip değişkenlerin ilişkileri kuvvetli olarak değerlendirilmiştir.

Bu çizelgelere göre, kış, sonbahar ve ilkbahar aylarında kömür tüketimi nedeniyle oluşan kül miktarı dikkat çekmektedir. Ayrıca, ilkbahar ve yaz aylarında sebze ve meyve tüketiminin artması nedeniyle, yiyecek atığı miktarı da artmaktadır. Nem miktarı, katı atık yönetim sisteminin seçimi (kompostlama, yakma vb.) için çok önemli bir değişkendir. Çizelge 7.2’ye göre, nem miktarı çok değişkenlik arz etmemekle birlikte, yiyecek atığı miktarının artmasıyla birlikte, nem miktarı da nispeten artmaktadır.

Ambalaj atığı miktarı ise, farklı mevsimlerde çok değişkenlik göstermemektedir. Bu nedenle, izelge 7.3’den de görüldüğü üzere ambalaj atığı yüzdeleriyle mevsimler arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Diğer atıklar, kış ve ilkbahar aylarında artmıştır. Bu grupta değerlendirilen atıklar; inşaat atıkları, bahçe atıkları, tekstil ve ocuk bezidir. Kış ve bahar aylarındaki artışın, bahçe atıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, izelge 7.2’den de görüldüğü gibi ilkbahar aylarında ambalaj atığı miktarının artması ve külün azalması nedeniyle ısıl değerde artış gözlemlenmiştir.

Çizelge 7.2. Eskişehir’deki kentsel katı atık bileşiminin mevsimsel değişimi

| | | % (yaş ağırlık) | | | | | | | | |
|----------|----------|-----------------|-------------------|--------------|-------|------|---------|---------------|------|-------|
| | | Nem | Isıl değer, MJ/kg | Kağıt-karton | Metal | Cam | Plastik | Yiyecek atığı | Kül | Diğer |
| Kış | ortalama | 34,9 | 13,16 | 13,40 | 1,44 | 2,88 | 5,75 | 57,99 | 4,97 | 13,56 |
| | SS | 14,6 | 5,95 | 11,2 | 1,9 | 2,3 | 4,0 | 15,4 | 7,9 | 9,1 |
| İlkbahar | ortalama | 37,5 | 13,84 | 8,85 | 1,01 | 3,42 | 5,51 | 67,19 | 2,91 | 11,12 |
| | SS | 16,3 | 4,64 | 6,4 | 2,1 | 4,5 | 5,0 | 13,5 | 6,6 | 10,4 |
| Yaz | ortalama | 37,7 | 12,80 | 10,85 | 1,83 | 2,36 | 5,83 | 72,95 | 0,05 | 6,12 |
| | SS | 15,3 | 2,39 | 9,1 | 3,0 | 2,9 | 4,8 | 15,1 | 0,2 | 7,5 |
| Sonbahar | ortalama | 37,5 | 13,29 | 7,18 | 0,73 | 1,31 | 5,41 | 70,11 | 7,53 | 7,74 |
| | SS | 13,3 | 3,34 | 7,0 | 0,9 | 1,4 | 4,7 | 15,7 | 8,5 | 9,0 |

SS: Standart sapma

Çizelge 7.3. Atık karakterizasyon sonuçlarının mevsimsel değişime göre istatistiksel değerlendirmesi

| Değişken | Pearson bağıntı katsayısı* |
|---------------|----------------------------|
| Sıcaklık | 1.000 |
| Nem | 0,812 |
| Isıl değer | 0,341 |
| Kağıt-karton | -0,298 |
| Metal | 0,415 |
| Cam | -0,128 |
| Plastik | 0,252 |
| Yiyecek atığı | 0,896 |
| Kül | -0,723 |

* Bu değerler atık analizi sonuçları ve sıcaklık arasında elde edilen pearson bağıntı katsayılarını göstermektedir.

7.1.2. Kentsel katı atıkların sosyo-ekonomik değişimi

Tepebaşı ve Odunpazarı Bölgesi’ndeki mahalleler ekonomik durum, sosyal yaşam ve eğitim düzeylerine göre 3 gruba ayrılmış (Çizelge 7.4) ve fiziksel bileşim ve nem değerleri bu gruplara göre değerlendirilmiştir (Çizelge 7.5). Çizelge 7.6’da ise atık karakterizasyon sonuçlarının sosyo-ekonomik değişimini belirlemek için yapılan istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Isıl değer analizleri için örnekler haftalık olarak hazırlandığından, sosyo-ekonomik açıdan ısı değer analizi sonuçları değerlendirilememiştir.

Çizelge 7.4. Tepebaşı ve Odunpazarı Bölgesi'ndeki mahallelerin/bölgelerin sosyo-ekonomik düzeyleri*

| Üst | Orta | | Alt |
|---------------------------|-------------------|------------------------|------------------|
| Tepebaşı Bölgesi | | | |
| Cumhuriye | Bahçelievler | Işıklar | Çamlıca |
| Hoşnudiye | Batıkent | İhsaniye | Esentepe |
| | Ertuğrulgazi | Mamure | Fevzi Çakmak |
| | Eski Bağlar | Mustafa Kemal Paşa | Kumlubel |
| | Fatih | Ömerağa | Sazova |
| | Güllük | Şeker | Sütlüce |
| | H Ali Bey | Şirintepe | Şarhöyük |
| | H Seyit | Uluönder | Tunalı |
| | Hayriye | Yeni Bağlar | Yeşiltepe |
| | | Yeni | Zafer |
| | | | Zincirlikuyu |
| Odunpazarı Bölgesi | | | |
| Arifiye | 75. Yıl | Orhangazi (Dubleksler) | 71 Evler |
| Askeri | Akarbaşı | Osmangazi | Alanönü |
| Lojmanlar | Büyükdere | Yenikent | Emek |
| Deliklitaş | Cunudiye | Yenidoğan | Çankaya 1 |
| İstiklal | Çankaya (Bloklar) | Yıldıztepe | Erenköy |
| Sümer | Gökmeydan | | Orhangazi (Eski) |
| Üniversite Evleri | Kırmızıtoprak | | Göztepe |
| Vişnelik | Kurtuluş | | Gültepe |
| | | | Gündoğdu |
| | | | Huzur |
| | | | Karapınar |
| | | | Odunpazarı |

* Katı atık örnekleme çalışmaları Tepebaşı Bölgesi için mahalle temelinde, Odunpazarı Bölgesi için farklı sosyo-ekonomik yapıya sahip mahalleler nedeniyle bölge temelinde yapılmıştır.

Çizelge 7.5'de, sosyo-ekonomik seviyelere göre kentsel katı atık bileşimleri verilmiştir. Bu çizelgeye göre, ambalaj atıkları üst gelir seviyesine sahip bölgelerde yüksek iken, diğer bölgelerde düşük değerlere sahiptir. Yüksek gelir seviyesine sahip bölgelerde kül yokken, alt gelir seviyesine sahip bölgelerde

ısıtma amacıyla doğalgaz kullanılmaması nedeniyle kül oluşmaktadır. “Diğer” grubunda yer alan atıklar, merkezi bölgelerde çoğunlukla çocuk bezinden oluşurken, diğer bölgelerde bunların yerini bahçe atıkları almaktadır.

Çizelge 7.5’de görüldüğü gibi, yiyecek atıklarının miktarı sosyo-ekonomik düzey azaldıkça artmakta ve nem içeriği de buna paralellik göstermektedir. Ambalaj atıkları ise, yüksek gelir seviyesine sahip bölgelerde daha yüksektir. Çizelge 7.6’dan da görüldüğü üzere, atık bileşimi ve sosyo-ekonomik yapı arasında çok kuvvetli bir ilişki vardır.

Çizelge 7.5. Eskişehir’deki kentsel katı atık bileşiminin sosyo-ekonomik değişimi

| | | % (yaş ağırlık) | | | | | | | |
|------------|----------|-----------------|--------------|-------|-------|---------|---------------|-------|-------|
| | | Nem | Kağıt-karton | Metal | Cam | Plastik | Yiyecek atığı | Kül | Diğer |
| Üst gelir | Ortalama | 35,7 | 15,75 | 1,61 | 3,12 | 9,28 | 62,76 | 0,00 | 6,54 |
| | SS | 17,8 | 21,20 | 4,10 | 6,80 | 12,60 | 30,30 | 0,00 | 15,10 |
| Orta gelir | Ortalama | 36,0 | 12,07 | 1,24 | 3,14 | 6,27 | 64,40 | 2,97 | 9,90 |
| | SS | 15,0 | 16,00 | 5,00 | 10,20 | 11,40 | 30,10 | 13,10 | 19,80 |
| Alt gelir | Ortalama | 39,5 | 4,88 | 1,30 | 2,02 | 4,15 | 68,53 | 6,92 | 12,19 |
| | SS | 14,8 | 9,90 | 5,10 | 5,60 | 9,90 | 29,10 | 16,10 | 24,20 |

Çizelge 7.6. Atık karakterizasyon sonuçlarının sosyo-ekonomik değişime göre istatistiksel değerlendirmesi

| Değişken | Pearson bağıntı katsayısı* |
|----------------|----------------------------|
| Gelir seviyesi | 1.000 |
| Nem | -0,899 |
| Kağıt-karton | 0,983 |
| Metal | 0,781 |
| Cam | 0,858 |
| Yiyecek atığı | -0,970 |
| Plastik | 0,995 |
| Kül | -0,997 |

* Bu değerler atık analizi sonuçları ve sıcaklık arasında elde edilen pearson bağıntı katsayılarını göstermektedir.

7.1.3 Kentsel katı atıkların kimyasal analiz sonuçları

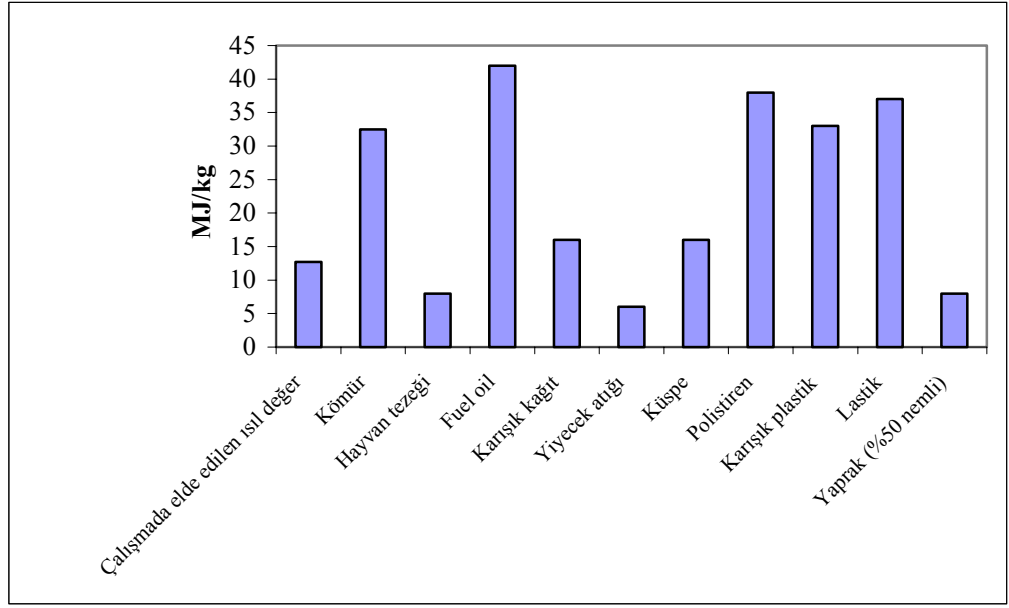
Kentsel katı atıklarda, haftalık olarak ısı değer analizi (Çizelge 7.7) ve her ay bu örneklerden hazırlanan kompozit bir numunede, pH, ağır metal içeriği (Çizelge 7.8) (bakır, nikel, çinko, krom, kurşun, kadmiyum), besi elementleri ve atıkların su ile özütlenmesi (TCLP) sonucu ağır metal ve besi elementleri analizleri (Çizelge 7.9) yapılmıştır.

Yapılan ısı değer analizlerine göre, atıkların ortalama ısı değerleri 12,7 MJ/kg (3041 kcal/kg) olarak belirlenmiş olup, sonuçların mevsimsel değişimi ve fiziksel bileşim ile ilişkisi Bölüm 7.1.1'de ele alınmıştır. Şekil 7.3'de Mohee (2002)'de verilen farklı malzemelerin ısı değerleri ile bu çalışmada bulunan ısı değerlerin sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. Diğer yakıtların ısı değerlerine bakıldığında, karışık kentsel katı atığın ısı değerinin düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.7. Eskişehir kentsel katı atıklarının ısı değerleri

| Tarih | Tepebaşı Bölgesi | Odunpazarı Bölgesi | Tarih | Tepebaşı Bölgesi | Odunpazarı Bölgesi |
|------------|------------------|--------------------|------------|------------------|--------------------|
| | H üst (cal/g) | H üst (cal/g) | | H üst (cal/g) | H üst (cal/g) |
| 13.10.2005 | 3885 | 3750 | 14.04.2006 | 3808 | 3253 |
| 21.10.2005 | 2318 | 2329 | 17.04.2006 | 3546 | 3468 |
| 25.10.2005 | 2295 | 2776 | 27.04.2006 | 3986 | 3568 |
| 07.11.2005 | 3106 | 3702 | 03.05.2006 | 1564 | 2564 |
| 16.11.2005 | 4570 | 3192 | 09.05.2006 | 2065 | 2865 |
| 26.11.2005 | 3453 | 3082 | 17.05.2006 | 1823 | 2662 |
| 05.12.2005 | 3690 | 3777 | 02.06.2006 | 3206 | 3186 |
| 14.12.2005 | 3616 | 1517 | 07.06.2006 | * | 3285 |
| 17.12.2005 | 3591 | 3276 | 30.06.2006 | 2525 | 2956 |
| 29.12.2005 | 3829 | 1911 | 03.07.2006 | 3545 | 2958 |
| 03.01.2206 | 3556 | 3800 | 11.07.2006 | 3250 | 2565 |
| 18.01.2006 | 6266 | 5141 | 13.07.2006 | 3252 | 2978 |
| 03.02.2006 | 1506 | 2474 | 17.07.2006 | 3156 | 3689 |
| 10.02.2006 | 1354 | 2459 | 25.08.2006 | 2245 | 2935 |
| 20.02.2006 | 4200 | 3800 | 28.08.2006 | 3190 | * |
| 25.02.2006 | 0 | 3216 | 29.08.2006 | 3265 | * |
| 02.03.2006 | 3036 | 3073 | 01.09.2006 | 2890 | * |
| 08.03.2006 | 3248 | 3557 | 06.09.2006 | 3256 | * |
| 14.03.2006 | 4726 | 4251 | 11.09.2006 | * | 3656 |
| 24.03.2006 | 4127 | 3248 | 12.09.2006 | 3526 | * |
| 25.03.2006 | 2879 | 4367 | 14.09.2006 | 2846 | 2345 |
| 03.04.2006 | 3206 | 4010 | 18.09.2006 | * | 3858 |
| 10.04.2006 | 3725 | 3452 | 20.09.2006 | * | 2765 |

* Bu tarihlerde söz konusu bölgelerden örnek gelmemiştir.



Şekil 7.3. Kentsel katı atıkların ve farklı malzemelerin ısıl değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 7.8’de görülen değerler atığın içinde bulunan ağır metal ve besi elementlerinin miktarlarıdır. Genel olarak değerler düşük miktarlarda olmasına karşın, özellikle Zn, Ca, Mg ve K yiyeceklerin içinde de fazla miktarda olmasından dolayı daha yüksek değerlerdedir. Atıkların su ile özütlenmesi sonucu elde edilen değerler, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11-A’daki Tehlikesiz Atık olarak muamele görececek atıklar (mg/L) için verilen sınır değerlerle karşılaştırıldığında, bütün sonuçların sınır değerlerin altında olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.8. Eskişehir kentsel katı atıklarının pH ve ağır metal içerikleri

| Ay | Belediye | pH | Pb | Cd | Zn | Cu | Ni | Cr | Ca | Na | K |
|-----------------|------------|-------------|-----------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|------------|
| | | | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| Ekim | Tepebaşı | 6,22 | 19 | <2 | 492 | 86 | 51 | 25 | 6956 | 799 | 569 |
| | Odunpazarı | 7,41 | 37 | 2 | 480 | 110 | 65 | 6 | 5987 | 852 | 896 |
| Kasım | Tepebaşı | 6,68 | 24 | <2 | 58 | 48 | 39 | 21 | 4989 | 236 | 456 |
| | Odunpazarı | 7,17 | 23 | <2 | 317 | 44 | 33 | 13 | 5698 | 562 | 687 |
| Aralık | Tepebaşı | 7,03 | 58 | <2 | 429 | 46 | 21 | 31 | 2654 | 695 | 984 |
| | Odunpazarı | 7,62 | 22 | <2 | 240 | 53 | 37 | 40 | 3659 | 369 | 346 |
| Ocak | Tepebaşı | 6,34 | 31,5 | 2,9 | 319 | 88,1 | 72 | <6 | 6945 | 456 | 688 |
| | Odunpazarı | 5,30 | 29,1 | 4,4 | 287 | 39 | 33 | <6 | 7523 | 655 | 958 |
| Şubat | Tepebaşı | 5,94 | 27,2 | 4,5 | 607 | 43,2 | 64 | <6 | 9865 | 899 | 1236 |
| | Odunpazarı | 5,26 | 24,4 | 4,7 | 389 | 56,3 | 34 | <6 | 5265 | 598 | 1256 |
| Mart | Tepebaşı | 5,40 | 27 | 4,8 | 354 | 42,8 | 60 | <6 | 3698 | 236 | 1385 |
| | Odunpazarı | 5,44 | 29,9 | 5,4 | 245 | 34,8 | 52 | <6 | 6989 | 569 | 986 |
| Nisan | Tepebaşı | 5,65 | 40 | 5,1 | 1041 | 44,9 | 45 | <6 | 5679 | 354 | 468 |
| | Odunpazarı | 5,42 | 25,8 | 5,2 | 583 | 42,5 | 40 | <6 | 8965 | 685 | 562 |
| Mayıs | Tepebaşı | 5,84 | 31,2 | 3,5 | 698 | 55,2 | 51 | <6 | 3265 | 986 | 365 |
| | Odunpazarı | 6,2 | 36,8 | 3,2 | 495 | 68 | 49 | <6 | 6536 | 534 | 869 |
| Haziran | Tepebaşı | 6,7 | 56,5 | 4,8 | 745 | 88,2 | 58 | 5 | 12654 | 698 | 963 |
| | Odunpazarı | 6,42 | 48,9 | 3,7 | 887 | 85,4 | 61 | 9 | 16543 | 265 | 1365 |
| Temmuz | Tepebaşı | 5,95 | 61,5 | 2,8 | 896 | 95,2 | 75 | 11 | 23654 | 965 | 1563 |
| | Odunpazarı | 6,1 | 58,5 | 2,5 | 825 | 102 | 69 | 5 | 26984 | 568 | 1527 |
| Ağustos | Tepebaşı | 6,18 | 49,6 | <2 | 968 | 75,5 | 64 | 15 | 10652 | 694 | 964 |
| | Odunpazarı | 6,35 | 56,3 | <2 | 925 | 89 | 68 | 12 | 7896 | 564 | 862 |
| Eylül | Tepebaşı | 6,47 | 32,5 | <2 | 785 | 92,7 | 59 | 11 | 8963 | 269 | 568 |
| | Odunpazarı | 6,35 | 28,9 | <2 | 623 | 98,6 | 52 | 9 | 9965 | 365 | 458 |
| Ortalama | | 6,23 | 37 | 4 | 570 | 68 | 52 | 15 | 8833 | 578 | 874 |

Çizelge 7.9. Eskişehir kentsel katı atıklarının TCLP analizi sonuçları

| Ay | Belediye | Pb (mg/L) | Cd (mg/L) | Zn (mg/L) | Cu (mg/L) | Ni (mg/L) | Cr (mg/L) | Ca (mg/L) | Na (mg/L) | K (mg/L) |
|-----------------|------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|----------------|-----------------|-------------|------------|-------------|
| Ekim | Tepebaşı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | <0,03 | <0,1 | <0,06 | 17,8 | 9,5 | 9,6 |
| | Odunpazarı | <0,1 | <0,02 | 0,16 | <0,03 | <0,1 | <0,06 | 15,6 | 6,5 | 12,3 |
| Kasım | Tepebaşı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | <0,03 | <0,1 | <0,06 | 12,3 | 3,5 | 6,9 |
| | Odunpazarı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | <0,03 | <0,1 | <0,06 | 14,8 | 4,8 | 10,5 |
| Aralık | Tepebaşı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | <0,03 | <0,1 | <0,06 | 3,6 | 9,3 | 19,5 |
| | Odunpazarı | 0,13 | <0,02 | 0,26 | <0,03 | <0,1 | <0,06 | 5,8 | 5,2 | 6,8 |
| Ocak | Tepebaşı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | 0,07 | <0,1 | <0,06 | 8,9 | 6,8 | 8,6 |
| | Odunpazarı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | 0,04 | <0,1 | <0,06 | 21,3 | 5,4 | 16,2 |
| Şubat | Tepebaşı | 0,12 | <0,02 | 0,34 | 0,03 | <0,1 | <0,06 | 23,2 | 12,6 | 21,3 |
| | Odunpazarı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | 0,10 | <0,1 | <0,06 | 13,5 | 6,9 | 20,9 |
| Mart | Tepebaşı | 0,16 | <0,02 | <0,01 | 0,08 | <0,1 | <0,06 | 6,1 | 3,9 | 25,9 |
| | Odunpazarı | 0,19 | <0,02 | <0,01 | 0,05 | <0,1 | <0,06 | 9,8 | 4,8 | 9,6 |
| Nisan | Tepebaşı | 0,23 | <0,02 | 0,68 | 0,09 | <0,1 | <0,06 | 7,8 | 6,3 | 6,9 |
| | Odunpazarı | 0,22 | <0,02 | 0,59 | 0,13 | <0,1 | <0,06 | 18,6 | 9,8 | 7,5 |
| Mayıs | Tepebaşı | 0,15 | <0,02 | 0,38 | 0,07 | <0,1 | <0,06 | 6,5 | 16,5 | 6,4 |
| | Odunpazarı | 0,13 | <0,02 | 0,49 | 0,09 | <0,1 | <0,06 | 19,5 | 6,9 | 13,5 |
| Haziran | Tepebaşı | 0,23 | <0,02 | 0,59 | 0,15 | <0,1 | <0,06 | 29,6 | 8,9 | 16,5 |
| | Odunpazarı | 0,29 | <0,02 | 0,65 | 0,09 | <0,1 | <0,06 | 31,2 | 3,5 | 23,6 |
| Temmuz | Tepebaşı | 0,32 | <0,02 | 0,71 | 0,18 | <0,1 | <0,06 | 36,2 | 13,2 | 24,6 |
| | Odunpazarı | 0,45 | <0,02 | 0,65 | 0,21 | <0,1 | <0,06 | 39,5 | 7,9 | 26,9 |
| Ağustos | Tepebaşı | 0,38 | <0,02 | 0,59 | 0,18 | <0,1 | <0,06 | 25,6 | 6,3 | 11,2 |
| | Odunpazarı | 0,29 | <0,02 | 0,69 | 0,17 | <0,1 | <0,06 | 16,9 | 5,6 | 16,2 |
| Eylül | Tepebaşı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | <0,03 | <0,1 | <0,06 | 19,6 | 3,1 | 6,9 |
| | Odunpazarı | <0,1 | <0,02 | <0,01 | <0,03 | <0,1 | <0,06 | 21,3 | 2,9 | 7,5 |
| Ortalama | | 0,24 | <0,02 | 0,52 | 0,11 | <0,1 | <0,06 | 17,7 | 7,1 | 14,0 |
| TAKY* | | 0,05 – 1 | 0,004 – 0,1 | 0,4 -5 | 0,2 – 5 | 0,04 – 1 | 0,05–1 | | | |

*Bu satırda, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11-A'daki Tehlikesiz Atık olarak muamele görecektir atıklar (mg/L) için sınır değerler verilmiştir.

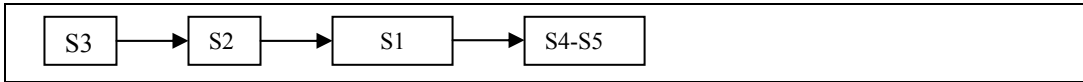
7.2. Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi ile İlgili Bulgular

7.2.1. ELECTRE III yöntemi

Bu tez çalışmasında 6. bölümde ayrıntıları verilen atık yönetim sistemi senaryoları ELECTRE III yöntemiyle değerlendirilmiş ve Çizelge 7.10'da uygunluk matrisi ve elde edilen sıralama Şekil 7.4.'de verilmiştir. Buna göre, Eskişehir ili için sürdürülebilir katı atık yönetim sisteminin seçimi için yapılan bu çalışmada, belirlenen senaryolar arasında şu sıralamanın gerçekleştiği görülmüştür: S3>S2>S1>S4=S5. Bu sonuca göre; Eskişehir için, S3 (%15 geri kazanım + %77 kompostlama + %8 düzenli depolama) senaryosunun tercih edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bunu takiben, büyük miktarda depolama içeren S2 ve S1 senaryoları ise son sıralarda yer almaktadır. Geri kazanım ve yakma seçeneklerini içeren S4 ve tamamen yakmanın söz konusu olduğu S5 ise son sıradadır.

Çizelge 7.10 Uygunluk matrisi

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| S1 | 1 | 0.9 | 0.7 | 0.6 | 0.8 |
| S2 | 1 | 1 | 0.8 | 0.7 | 0.8 |
| S3 | 0.8 | 0.9 | 1 | 0.9 | 0.9 |
| S4 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 1 | 0.9 |
| S5 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.9 | 1 |



Şekil 7.4. Senaryoların sıralaması

Özellikle, karar vericilerin tercihleri hakkında bilgiler içeren değişkenlerle ilgili değerlerin değişimlerinin etkisini belirleyebilmek amacıyla duyarlık analizi yapılmalıdır. Bu analiz üç şekilde yapılabilir:

- i. Sayısal olmayan değerlerin değiştirilmesi,
- ii. Ölçütlerin ağırlıklarının değiştirilmesi,
- iii. Eşik değerlerinin değiştirilmesi (sadece tercih eşik değeri, sadece farksızlık eşik değeri ya da her ikisi birden).

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen üç tip için de duyarlık analizi yapılmıştır:

- i. Birinci tip için; sayısal olmayan ölçütlerden işletme deneyimi (g_5), gürültü kirliliği (g_7) ve istihdam (g_{18}) ölçütlerinde değişiklikler yapılmıştır. $g_5=(7,6,5,2,2)$, $g_7=(8,8,5,8,8)$ ve $g_{18}=(6,6,8,8,7)$ şeklinde iken, $g_5=(8,7,6,4,3)$, $g_7=(6,6,7,8,8)$ ve $g_{18}=(4,5,8,7,6)$ şeklinde değiştirilmiştir. Bu ölçütler karar vericiler şüphe duydukları ve ağırlıkları daha fazla olduğu için seçilmiştir. Yeni değerler kullanılarak yapılan analiz sonucunda senaryoların sıralamasında herhangi bir değişim görülmemiştir.
- ii. Ölçütlerin ağırlıkları belirlenirken 100 puan 4 ölçüt grubuna paylaştırılmıştır. Buna göre, teknik ve çevresel ölçütler için 30'ar puan, ekonomik ölçütler için 25 puan ve sosyal/politik ölçütler için 15 puan düşünülmüştür. İkinci tip duyarlık analizi için, grupların ölçüt ağırlıkları değiştirilmiş ve teknik ve çevresel ölçütlerin ağırlıkları 25'er puan, ekonomik ölçütlerin ağırlıkları 30 puan ve sosyal/politik ölçütlerin ağırlıkları 20 puan olacak şekilde ölçütlerin ağırlıkları değiştirilmiştir. Buradan hareketle ölçütlerin yeni ağırlıkları $w_i=(5; 4; 4; 4; 4; 4; 2,5; 4; 4; 4; 4; 4; 2,5; 12; 12; 6; 5; 5; 5; 5)$ şeklinde değiştirilmiştir. Yeni ölçüt ağırlıkları ile yapılan analiz sonucunda uygunluk ve uygunsuzluk matrislerinde küçük değişiklikler olmasına rağmen, senaryoların sıralamasında herhangi bir değişiklik olmamıştır.
- iii. Üçüncü tip için, üç farklı şekilde değişiklikler yapılmıştır. Öncelikle, sadece tercih eşik değerinde β değerleri (4, 15, 3, 1, 3, 3, 1, 1, 3, 3, 1, 1, 1, 30, 40, 2, 3, 2, 3, 3) şeklinde değiştirilmiştir. İkinci olarak, sadece farksızlık eşik değerinde β değerleri (1, 2, 1, 2, 2, 1, 3, 2, 5, 5, 3, 2, 2, 100, 20, 4, 1, 1,

1, 1) şeklinde değiştirilmiştir. Son olarak ise her iki eşik değerinde değişiklikler yapılmış ve p_j için β değerleri (4, 15, 3, 1, 3, 3, 1, 1, 3, 3, 1, 1, 1, 30, 40, 2, 3, 2, 3, 3) ve q_j için β değerleri (1, 2, 1, 2, 2, 1, 3, 2, 5, 5, 3, 2, 2, 100, 20, 4, 1, 1, 1, 1) olmuştur. Sadece tercih eşik değerinin değiştirildiği durumda sıralamada herhangi bir değişiklik olmazken, sadece farksızlık eşik değerinin ve her iki eşik değerinin değiştirildiği durumlarda sıralama $S3>S2>S1=S4=S5$ şeklinde değişmiştir. Burada $S3$ ve $S2$ yine ilk sıradayken, $S1$ senaryosu $S4$ ve $S5$ ile aynı tercih sırasında yer almıştır.

7.2.2. Yaşam döngüsü analizi

Bu tez çalışmasında, CML 2000 metodunda bulunan 6 etki sınıfı incelenmiştir: abiyotik kaynakların tükenmesi, küresel ısınma, insan için toksik etkiler, asidifikasyon, ötrofikasyon ve fotokimyasal oksidasyon. Bu etki sınıflarının detayları aşağıda verilmiştir:

Abiyotik kaynakların tükenmesi: Bu etki sınıfı göstergesi, sistemdeki girdiler nedeniyle, mineraller ve fosil yakıtların çıkartılması ile ilgilidir. Abiyotik Tükenme Faktörü (ADF) birikimsizlik hızı ve kaynakların miktarı temelinde mineral ve fosil yakıtların (kg antimon eşdeğeri / kg çıkarılan) her birinin çıkarılması için belirlenir (Goedkop ve ark. 2004).

Küresel ısınma: Karakterizasyon faktörlerinin belirlenmesi için IPCC tarafından geliştirilen karakterizasyon modeli seçilmiştir. Faktörler, kg karbondioksit / kg salınım biriminde 100 yıllık bir zaman dilimi için Küresel Isınma Potansiyeli olarak türetilmiştir (Goedkop ve ark. 2004).

İnsan için toksik etkiler: İnsan Toksikite Potansiyeli (HTP) olarak türetilen karakterizasyon faktörleri, sınırsız bir zaman dilimi için toksik bileşiklerin maruziyet ve etkisini tanımlayan USES-LCA ile hesaplanmıştır. Her bir toksik bileşik için 1,4-diklorobenzen eşdeğeri / kg salınım olarak tanımlanmıştır (Goedkop ve ark. 2004).

Asidifikasyon: Temel asidifikasyon kirleticileri SO_2 , NO_x , HCl ve NH_3 'tür. Bir kirleticinin asidifikasyon potansiyeli H^+ iyonu oluşturmasıyla ilişkilidir ve kg SO_2 eşdeğeri başına üretilen H^+ iyonu sayısı olarak tanımlanır (Baumann ve Tillman 2004).

Ötrofikasyon: Ötrofikasyon, sucul ekosistemlerde olduğu kadar karasal sistemleri de etkileyen bir olaydır. Azot (N) ve fosfor (P) ötrofikasyona neden olan en önemli elementlerdir. Ötrofikasyon potansiyeli genellikle PO_4^{-3} eşdeğeri olarak verilir (Baumann ve Tillman 2004).

Fotokimyasal oksidasyon: Bu etki göstergesi, hidrojen içeren uçucu organik bileşikler (VOC) gibi fotokimyasal ozon oluşumuna katkıda bulunan bileşiklerle ilgilidir. Bu etki potansiyeli, etilen (C_2H_4) eşdeğeri olarak verilir (Hauschild ve Wenzel).

Bu çalışmada elde edilen ve yukarıda açıklanan her bir etki sınıfı için fonksiyonel birim başına karakterizasyon sonuçları Çizelge 7.11’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre, her bir etki sınıfı için sonuçlar şu şekildedir:

Abiyotik kaynakların tükenmesi: S5 senaryosu en yüksek değere sahip iken, geri kazanım işlemi içeren S2, S3 ve S4 senaryoları, geri dönüştürülmüş ürünlerin kullanılmasıyla hammadde tüketiminin azaltılmasına neden olmalarından dolayı daha düşük değerlere sahiptirler.

Küresel ısınma: S1 ve S2 senaryoları, depolama sahalarından yüksek miktarlarda metan oluşması nedeniyle en yüksek değerlere sahiptir. S4 ve S5’de ise küresel ısınmaya karbondioksit neden olmaktadır. Bu etki sınıfında S3 en iyi senaryodur.

İnsan için toksik etkiler: S5 senaryosu yakmadan kaynaklanan riskler nedeniyle bu etki sınıfı açısından en yüksek değere sahiptir. Diğer senaryolar ise, geri dönüşümden dolayı negatif değerlere sahiptir.

Asidifikasyon: S3 dışındaki tüm senaryolar havadaki amonyak ve azot dioksitten kaynaklanan asidifikasyon için aynı eğilimi göstermektedir. S3 ise gübreye olan yer değiştirme etkisi nedeniyle, bu etki sınıfında en iyi senaryo olarak ortaya çıkmıştır.

Ötrofikasyon: S1 ve S2 için ötrofikasyon etkisine katkı, %74 ile Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve %25 ile amonyak tarafından paylaşılmaktadır. Azot dioksit S4 ve S5 senaryolarının ötrofikasyon etkisi için baskın olan bileşiktir. S3 senaryosu bu etki sınıfı açısından en düşük değere sahiptir.

Çizelge 7.11 Karakterizasyon sonuçları

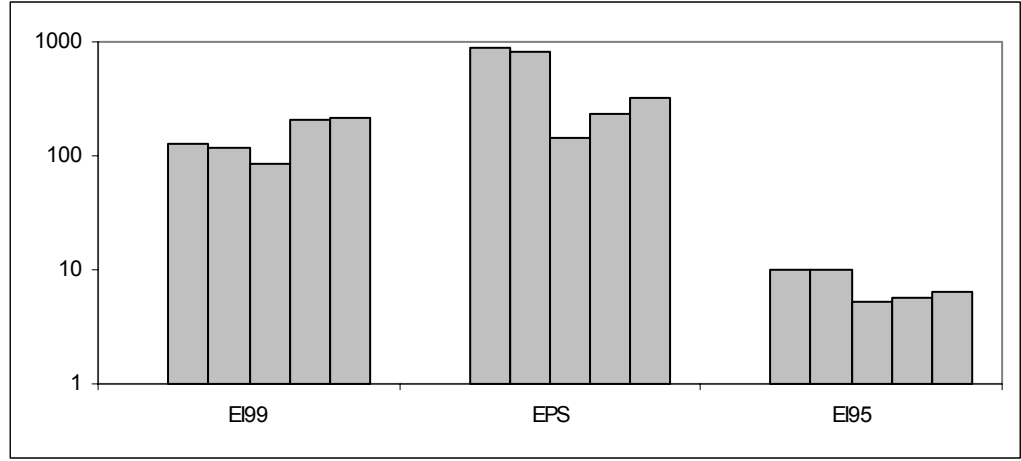
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|---|--------|-------|---------|-------|-------|
| AD (kg Sb eşd./ ton atık) | -0,437 | -1,11 | -1,08 | -1,15 | -0,16 |
| GWP100 (kg CO ₂ eşd./ ton atık) | 6990 | 6950 | 1360 | 1370 | 1510 |
| HT (kg 1.4-DB eşd./ ton atık) | -135 | -271 | -269 | -182 | 91,9 |
| Asidifikasyon (kg SO ₂ eşd./ ton atık) | 43,6 | 42,6 | 41,4 | 36,7 | 38,3 |
| Ötrofikasyon (kg PO ₄ ⁻³ eşd./ ton atık) | 37,9 | 37,8 | 9,13 | 9,89 | 9,98 |
| PO (kg C ₂ H ₄ / ton atık) | 1,63 | 1,57 | -0,0857 | 2,06 | 2,14 |
| AD: Abiyotik kaynakların tükenmesi; GWP100: 100 yıllık bir zaman dilimi için küresel ısınma potansiyeli; HT: İnsan için toksik etkiler; PO: Fotokimyasal oksidasyon | | | | | |

Fotokimyasal oksidasyon: S3, bu etki sınıfında da en iyi senaryodur. S1 ve S2 senaryolarının fotokimyasal oksidasyon etkisi tamamen metandan kaynaklanmaktadır. S4 ve S5’de ise NO₂ salınımları nedeniyle S1 ve S2’ye göre daha yüksek değerlere sahiptirler.

Burada, ISO 14042’ye uygun olarak bir duyarlık analizi yapılmış ve 3 farklı etki sınıfı (EcoIndicator’95, EcoIndicator’99 and EPS’00) yönteminin, sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar puan olarak logaritmik ölçekte Şekil 7.5’de verilmiştir. Bu şekle göre, her bir yöntem için senaryoların en iyiden en kötüye doğru sıralaması şu şekildedir:

- EcoIndicator’99: S3, S2, S1, S4, S5;
- EcoIndicator’95: S3, S4, S5, S2, S1;
- EPS’00: S3, S4, S5, S2, S1.

Yukarıdaki sıralamaya göre, S3 senaryosu her üç durumda da en iyi senaryo olarak dikkat çekmektedir. EPS’00 ve EI’95’de senaryolar için aynı sıralama söz konusu iken, EI’99’da S1, S2 ve S4, S5’in sıralamasında bir değişiklik olmuştur.



Şekil 7.5. Farklı etki sınıfı yöntemleri için duyarlık analizi sonuçları

7.2.3. Doğrusal olmayan optimizasyon yöntemi

6. Bölümde ayrıntıları verilen doğrusal olmayan optimizasyon modeli, Eskişehir’deki kentsel katı atıklar için uygulanmış, bu amaçla 4 farklı senaryo ele alınmış ve problem Lingo 9.0 optimizasyon yazılımı ile çözülmüştür.

Senaryo 1: Mevcut durum (kısmen geri dönüşüm ve vahşi depolama)

Senaryo 2: Geri dönüşüm, kompostlama ve düzenli depolama

Senaryo 3: Geri dönüşüm, yakma, düzenli depolama

Senaryo 4: Geri dönüşüm, kompostlama, yakma ve düzenli depolama

Çizelge 7.12’de elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu çizelgeye göre, en düşük yıllık maliyet, herhangi bir katı atık yönetim sistemi mevcut olmadığından, Senaryo 1’de bulunmuştur. Bu senaryoyu takiben en düşük maliyetler sırasıyla Senaryo 2, Senaryo 3 ve Senaryo 4 şeklindedir. Ayrıca, en yüksek fayda da yakmadan enerji eldesi nedeniyle Senaryo 3’de bulunmuştur.

Çizelge 7.12. Elde edilen sonuçlar

| | Senaryo 1 | Senaryo 2 | Senaryo 3 | Senaryo 5 |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| δ_1 (Ayırma tesisi) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| δ_2 (Kompost tesisi) | 0 | 1 | 0 | 1 |
| δ_4 (Insinerator) | 0 | 0 | 1 | 1 |
| δ_5 (Depolama sahası) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| α_1 (% kağıt) | 1,5 | 10 | 10 | 10 |
| α_2 (% plastik) | 0,84 | 5,6 | 5,6 | 5,6 |
| α_3 (% cam) | 0,38 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| α_4 (% metal) | 0,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| α_5 (% organik) | 0 | 60 | 60 | 60 |
| $\varphi_{K,S}$ | 1 | 0,9 | 0,38 | 0,65 |
| $\varphi_{K,N}$ | 0 | 0 | 0,5 | 0,35 |
| $\varphi_{K,L}$ | 0 | 0,1 | 0,12 | 0 |
| $\psi_{S,C}$ | 0 | 1 | 0 | 0,97 |
| $\psi_{S,N}$ | 0 | 0 | 0,77 | 0,03 |
| $\psi_{S,L}$ | 1 | 0 | 0,23 | 0 |
| $\sigma_{N,L}$ | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $\gamma_{C,L}$ | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Gelir (M\$/yıl) | 0,18 | 0,26 | 0,52 | 0,49 |
| Toplam maliyet (M\$/yıl) | 0,34 | 3,77 | 4,9 | 6,2 |

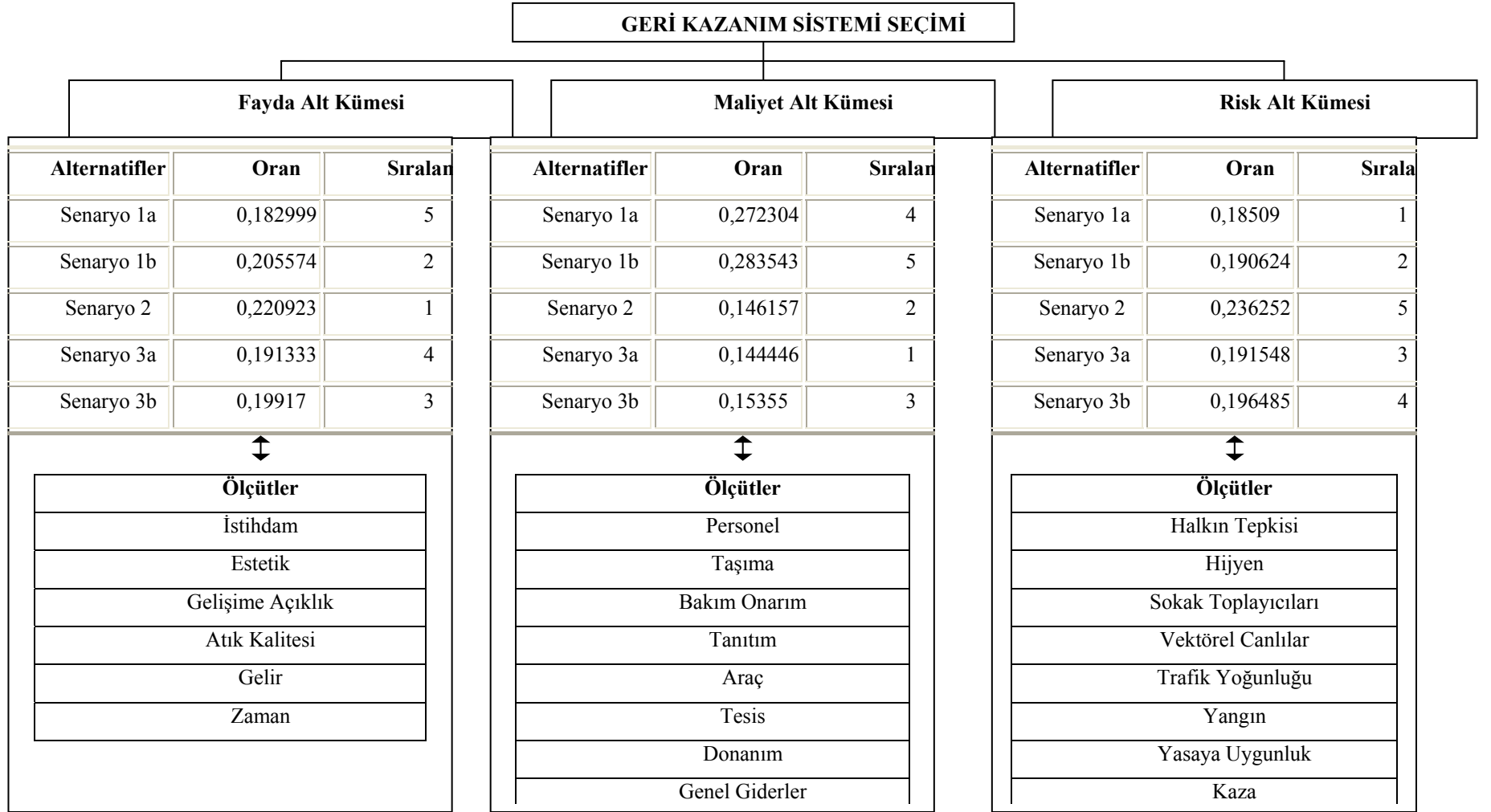
7.3. Geri Kazanım Sistemi ile İlgili Bulgular

7.3.1. ANP yöntemi

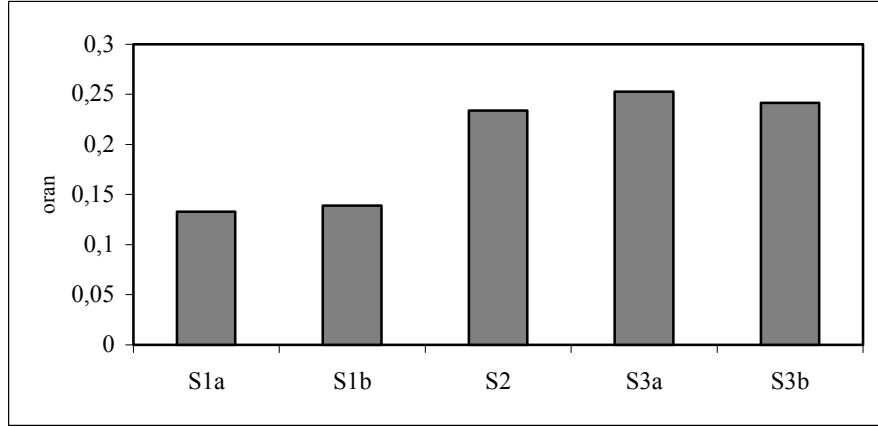
Geri kazanım sistemleri için 5 farklı senaryo belirlenmiştir. Bu senaryolar, Bölüm 6’da verilen fayda/fırsat, maliyet ve risk kümelerinde yer alan alt kümelerdeki ölçütler esas alınarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca ölçütler temelinde de kıyaslamalar yapılmıştır. Buna göre genel anlamda ANP akış diyagramı Şekil 7.6’da verilmiştir.

Alt kümelerde yapılan sıralamalarda fayda kümesinin olumlu; maliyet ve risk kümesinin ise olumsuz etkileri göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda fayda alt kümesindeki senaryolar sıralanırken doğru orantılı; maliyet ve risk alt kümelerindeki senaryolar sıralanırken ise ters orantılı bir sıralama yapılmıştır.

Super Decisions yazılımıyla oluşturulan BCR modeli, bütün olarak değerlendirildiğinde en uygun sistemin Senaryo 3a olduğu saptanmıştır (Şekil 7.7) Senaryo 3a: “% 8 kaynakta ayrı toplama (geri dönüşümü olan atıklar birlikte) + % 3,5 geri kazanım konteynerlerinde toplama + % 3,5 ayıklama tesisinde ayırma” üzerine kurulu bir sistemdir.



Şekil 7.6. Optimum geri kazanım sistemi seçiminde ANP akış diyagramı ve sonuçları



Şekil 7.7. Optimum geri kazanım sistemi seçiminde ANP toplam sonuçları

7.3.2. ELECTRE III yöntemi

Geri kazanım sistemleri için belirlenmiş olan 5 alternatif, belirli ölçütler dikkate alınmak suretiyle karşılaştırılmış ve sıralamaları veren distilasyon işlemi Çizelge 7.13’de verilmiştir.

Çizelge 7.13. Uygunluk matrisi

| | S1a | S1b | S2 | S3a | S3b |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| S1a | 1 | 1 | 0.7 | 1 | 1 |
| S1b | 0.9 | 1 | 0.6 | 0.7 | 1 |
| S2 | 0.8 | 0.8 | 1 | 0.9 | 0.9 |
| S3a | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| S3b | 0.9 | 1 | 0.7 | 0.8 | 1 |

Elde edilen sonuçlara göre, en uygun sistemin Senaryo 3a olduğu saptanmıştır. Senaryo 3a; %8 kaynakta ayrı toplama (geri dönüşümü olan atıklar bir arada) + % 3,5 geri kazanım konteynerlerinde toplama + % 3,5 ayıklama tesisinde ayırma’nın söz konusu olduğu bir sistemdir.

Her ikisi de bir MCDM tekniği olan ANP ve ELECTRE ile gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 7.14’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.14. Geri kazanım senaryolarının ANP ve ELECTRE III sonuçlarının karşılaştırılması

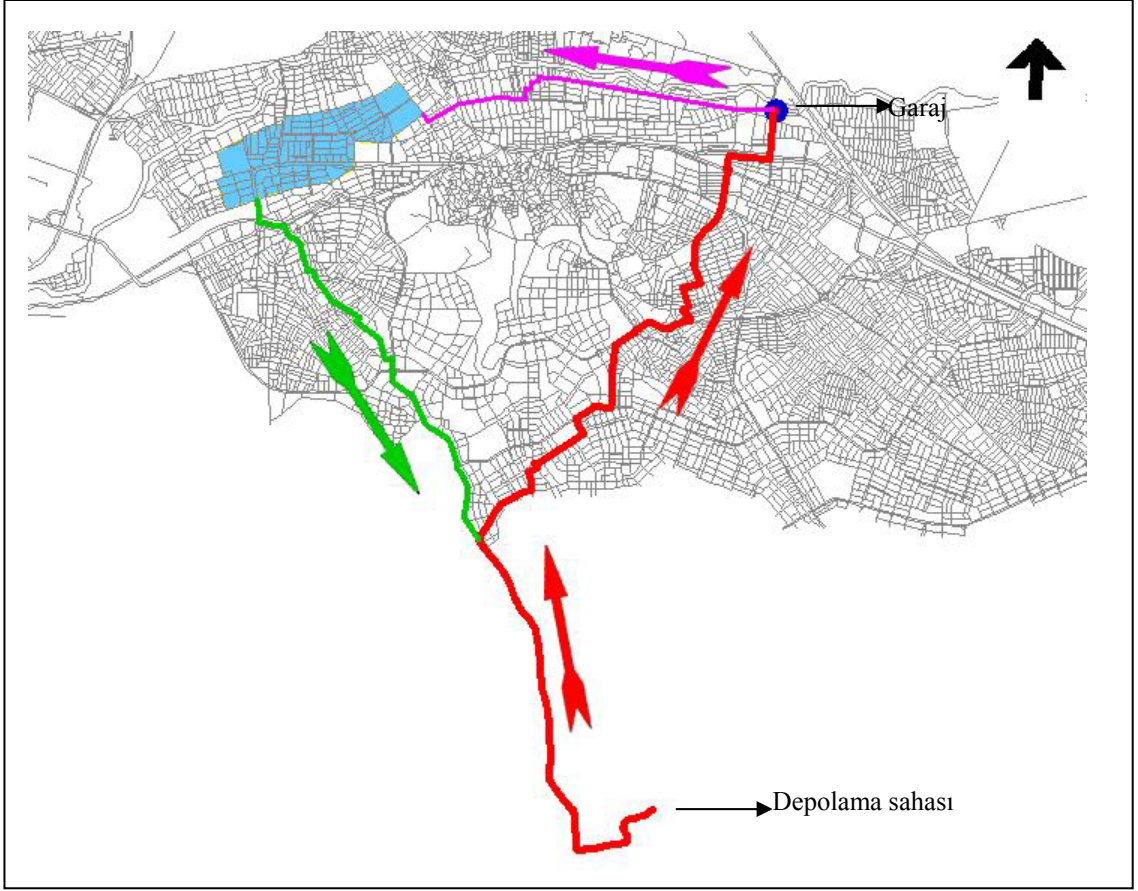
| ALTERNATİFLER | ANP (sıralama) | ELECTRE III (sıralama) |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Senaryo 1a | 5 | 2 |
| Senaryo 1b | 4 | 3 |
| Senaryo 2 | 3 | 2 |
| Senaryo 3a | 1 | 1 |
| Senaryo 3b | 2 | 3 |

Çizelge 7.14'den de görüldüğü üzere her iki yöntemde de Senaryo 3a en uygun yöntem olarak bulunmuş, ancak, diğer senaryoların sıralamasında değişiklikler gözlenmiştir. ANP'de bileşenler arasındaki ilişkiler ve yönler bir serim şeklinde ifade edilir. Bu yapı sayesinde, doğrudan ilişkilendirilmemiş bileşenler arasında olabilecek dolaylı etkileşimler ve geri bildirimler de dikkate alınmaktadır. ELECTRE'de ise, bu yapı söz konusu değildir, ancak ölçütler için tercih/kayıtsızlık/veto eşik değerleri söz konusudur. Sıralamadaki farklılık, her iki yöntem arasındaki bu temel farklılardan kaynaklanmaktadır.

7.4. Kentsel Katı Atık Toplama-Taşıma Sistemi ile İlgili Bulgular

7.4.1. Mevcut atık toplama bölgeleri temel alınarak gerçekleştirilen çalışma sonuçları

Gerekli yazılımlar kullanılarak mevcut durumu değerlendirmek amacıyla, atık toplama rotaları oluşturulmuştur. Şekil 7.8'de Odunpazarı Belediyesi'ndeki bir bölge için örnek rota gösterilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla mevcut sistem karşılaştırılmış ve Çizelge 7.15'de verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 7.16'da Tepebaşı ve Odunpazarı Belediyeleri için haftalık toplam mesafeler verilmiştir.



Şekil 7.8. O6 bölgesi için atık toplama rotası

Çizelge 7.15. Mevcut durum ve çalışma sonuçlarının karşılaştırması

| Bölge kodu | Mevcut durum (km) | Çalışmanın sonuçları (km) | Bölge kodu | Mevcut durum (km) | Çalışmanın sonuçları (km) |
|--|-------------------|---------------------------|--|-------------------|---------------------------|
| TB için MSW gündüz toplama programı | | | TB için MSW gece toplama programı | | |
| T1a | 98 | 81,2 | T1a | 72 | 56,8 |
| T1b | 105 | 81,5 | T1b | 79 | 52,2 |
| T2 | 99 | 58,8 | T2 | 74 | 55,5 |
| T3a | 70 | 63,6 | T3 | 57 | 49,6 |
| T3b | 75 | 69,7 | T4 | 60 | 58,4 |
| T3c | 82 | 64,7 | T5 | 58 | 48,5 |
| T4a | 79 | 68,6 | T6 | 63 | 59,2 |
| T4b | 125 | 57,1 | T7 | 58 | 52,2 |
| T4c | 81 | 69,9 | T8 | 47 | 38,9 |
| T5 | 89 | 84,9 | T9 | 139 | 61,8 |
| T6 | 125 | 105,7 | T10 | 82 | 70 |
| T7 | 135 | 129,8 | T11a | 70 | 61,9 |
| T8 | 91 | 80,6 | T11b | 53 | 47,6 |
| OB için Pazartesi, Çarşamba, Cuma MSW toplama programı | | | OB için Salı, Perşembe, Cumartesi MSW toplama programı | | |
| O1a | 98 | 93,4 | O1a | 59 | 55,3 |
| O1b | 68 | 63,1 | O1b | 73 | 52,2 |
| O2a | 45 | 36 | O1c | 67 | 62,8 |
| O2b | 37 | 35,6 | O1d | 58 | 41,3 |
| O3 | 62 | 56,5 | O2 | 78 | 70,3 |
| O4a | 71 | 63,9 | O3a | 50 | 48,3 |
| O4b | 82 | 78,2 | O3b | 40 | 38,8 |
| O5 | 43 | 37,6 | O4a | 59 | 56 |
| O6 | 55 | 49,8 | O4b | 63 | 57,9 |
| O7 | 35 | 32,3 | O5a | 111 | 105 |
| O8a | 45 | 41,3 | O5b | 116 | 115 |
| O8b | ---* | 30,9 | O6 | ---* | 41,8 |
| OB için MSW gece toplama programı | | | | | |
| O1a | 37 | 34,8 | O7 | 45 | 36 |
| O1b | 49 | 39,2 | O8 | 58 | 54,4 |
| O2 | 55 | 44 | O9 | 58 | 53,8 |
| O3 | 56 | 34,8 | O10 | 51 | 44 |
| O4 | 45 | 42,4 | O11 | 62 | 58,7 |
| O5 | 36 | 34 | O12a | 55 | 52,8 |
| O6 | 61 | 53,1 | O12b | 55 | 53,7 |
| * Bu veriler elde edilememiştir. | | | | | |

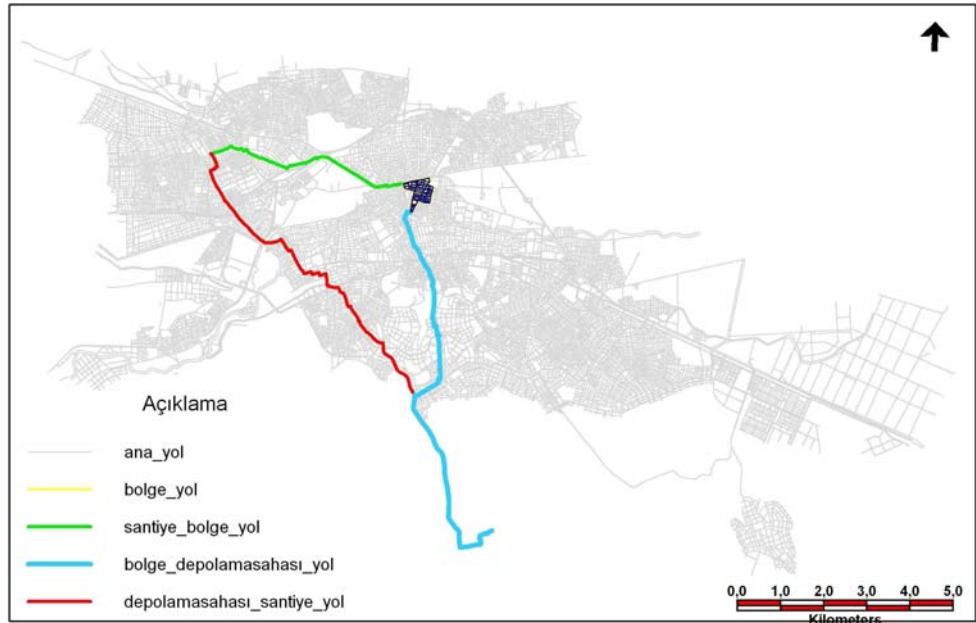
Çizelge 7.16. Tepebaşı ve Odunpazarı Belediyeleri için haftalık atık toplama mesafeleri

| Belediye | Mevcut durum (km) | Çalışmanın sonuçları (km) | % azalma |
|------------|-------------------|---------------------------|----------|
| Tepebaşı | 12996 | 10372 | 20,2 |
| Odunpazarı | 8583 | 7904 | 7,9 |

Çizelge 7.16'dan da görüldüğü üzere, Tepebaşı Bölgesi depolama sahasına daha uzak olduğu için mesafelerdeki azalma daha fazla bulunmuştur.

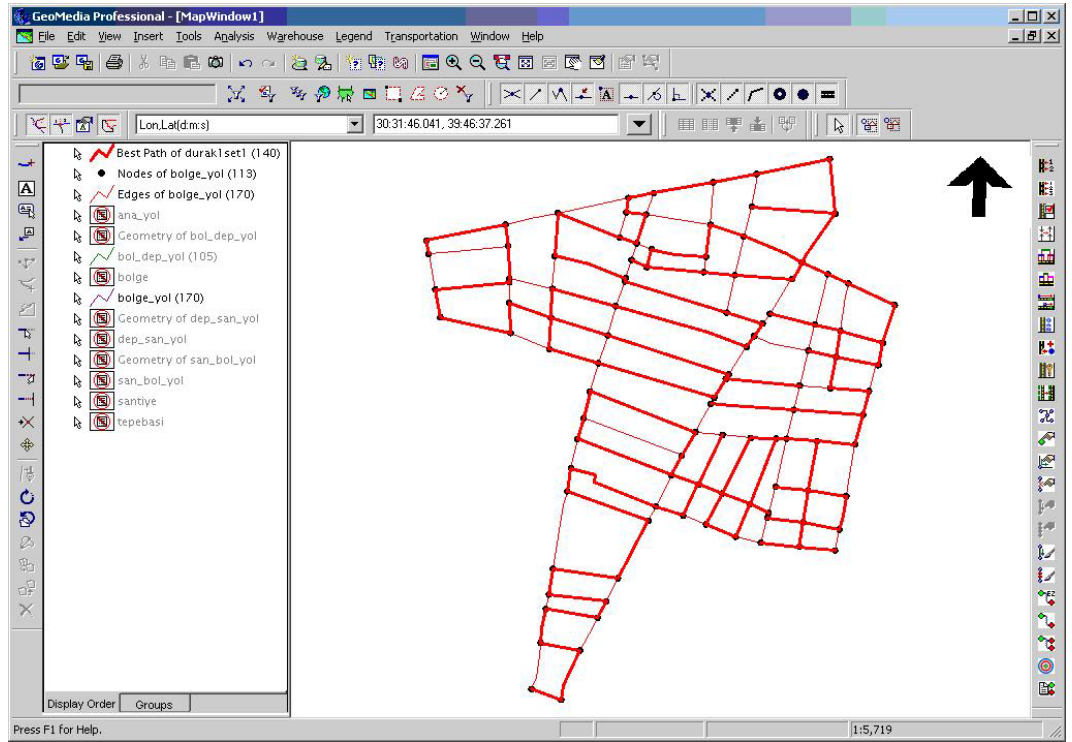
7.4.2. Kentsel katı atık toplama/taşıma rotalarının matematiksek modelleme ve CBS sonuçları

Şekil 6.22'de gösterilen ağ yapısı kullanılarak öncelikle atık toplama araçlarının bulunduğu garajdan bölgeye, bölgeden depolama sahasına ve son olarak da depolama sahasından garaja olmak üzere üç aşamalı olarak en kısa yollar Transportation Manager yazılımında bulunan "Easy Path" komutuyla oluşturulmuştur (Şekil 7.9). Söz konusu yollar için toplam katedilen mesafeler Çizelge 7.17'de verilmiştir.



Şekil 7.9. Atık toplama aracının garaj, bölge ve depolama sahası arasındaki rotası

Daha sonra bölgenin yolları ayrı bir sınıf olarak ele alınmış ve bölgedeki düğümler, durak noktası (stop point) olarak yazılıma verilmiş ve rota, yazılımdaki “Best Path” komutu kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 7.10). Buradaki amaç, Hamilton turlu problemlere benzer şekilde düğümleri dolaşmak için geçilecek en kısa yolun belirlenmesidir. Bu nedenle, şekilde de görüldüğü üzere, araç her düğümden geçmesine karşın her yoldan geçmemektedir. Bunun için yolların orta noktasına düğümler ilave edilmiştir. Ancak bu durumda da düğüm noktalarının fazlalaşması nedeniyle yazılımın hızı çok yavaşlamış, bazı yollarda aracın yolun ortasındaki düğüm noktasına uğrayıp tekrar geri dönmesi, bir başka deyişle yolun tamamından geçmesi mümkün olamamıştır. Bölge içerisinde toplam 9099 m yol katedilmiştir. Ayrıca, söz konusu çözüm, yolların çift yönlü olduğu durum için geçerlidir. Çünkü, seçilen bölgede çok fazla tek yönlü yol olması nedeniyle, yazılım söz konusu problemi çözememektedir.

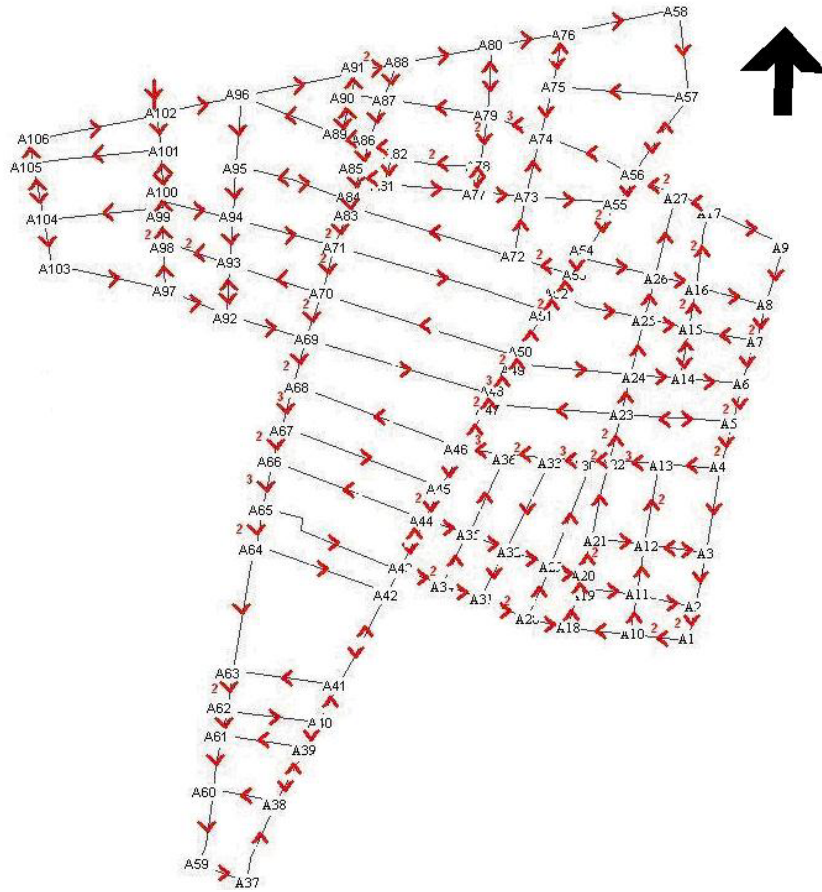


Şekil 7.10. Transportation Manager yazılımı ile elde edilen rota

Çizelge 7.17. Transportation Manager yazılımı kullanılarak Tepebaşı Belediyesi gece programı Bölge 8 için elde edilen mesafeler

| | Mesafe (m) |
|----------------------------------|------------|
| Garajdan bölgeye geliş | 5028,9 |
| Bölgeden depolama sahasına gidiş | 9936,7 |
| Depolama sahasından garaja gidiş | 13435,8 |
| Bölge | 9099 |
| Toplam | 37500 |

6. Bölümde açıklanan modelde, söz konusu bölge için yolların tek yönlü olup olmama durumuna göre iki farklı çözüm geliştirilmiştir. Tek yönlü yolların dikkate alındığı durumda elde edilen Lingo yazılımı çıktısı Çizelge 7.18’de ve rota Şekil 7.11’de, tek yönlü yol olmadığı düşünüldüğü durumda elde edilen Lingo yazılımı çıktısı Çizelge 7.19’da ve rota Şekil 7.12’de verilmiştir.



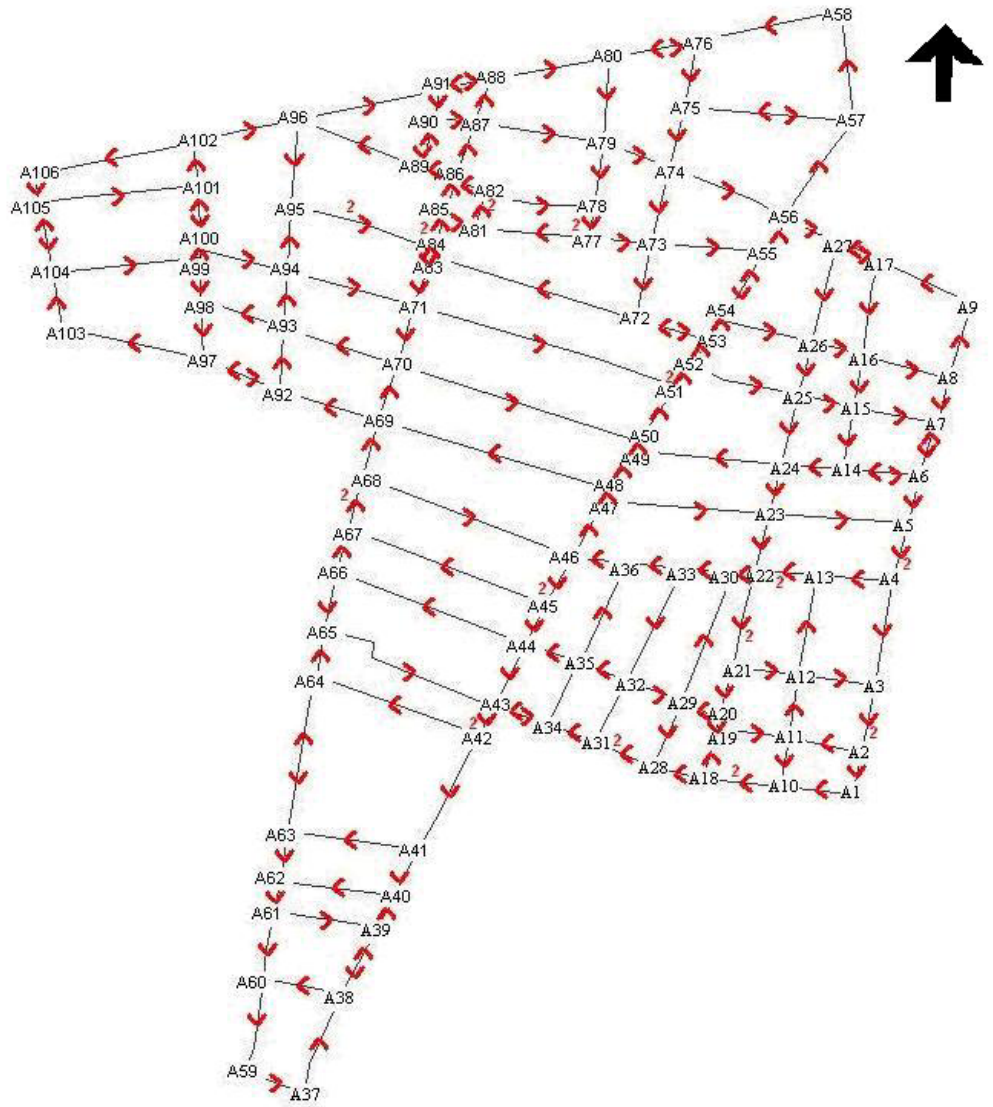
Şekil 7.11. Tek yönlü yolların dikkate alındığı durumda elde edilen çözüm

Çizelge 7.18. Tek yönlü yolların dikkate alındığı durumda elde edilen Lingo yazılımı çıktısı

| Global optimum çözüm | | | | | |
|----------------------|------------------------------|-----------|-------------|------------------------------|-----------|
| Toplam mesafe: | | 13483.50 | | | |
| Toplam iterasyon: | | 16042 | | | |
| Ayrıtlar | Ayrıttan aracın geçiş sayısı | Mesafe, m | Ayrıtlar | Ayrıttan aracın geçiş sayısı | Mesafe, m |
| x(1, 103) | 1.000000 | 50.00000 | x(58, 76) | 1.000000 | 123.0000 |
| x(2, 11) | 2.000000 | 52.50000 | x(59, 58) | 1.000000 | 80.20000 |
| x(3, 2) | 2.000000 | 31.50000 | x(60, 38) | 1.000000 | 46.30000 |
| x(4, 3) | 1.000000 | 50.20000 | x(61, 60) | 1.000000 | 69.60000 |
| x(4, 13) | 1.000000 | 56.50000 | x(61, 108) | 1.000000 | 50.00000 |
| x(5, 4) | 1.000000 | 77.30000 | x(62, 61) | 1.000000 | 50.00000 |
| x(5, 14) | 1.000000 | 56.10000 | x(62, 63) | 1.000000 | 21.90000 |
| x(6, 5) | 2.000000 | 44.90000 | x(63, 41) | 3.000000 | 84.50000 |
| x(6, 24) | 1.000000 | 102.0000 | x(64, 63) | 2.000000 | 37.70000 |
| x(7, 6) | 2.000000 | 35.80000 | x(65, 43) | 1.000000 | 126.3000 |
| x(8, 7) | 1.000000 | 41.00000 | x(65, 64) | 1.000000 | 115.9000 |
| x(8, 16) | 1.000000 | 63.20000 | x(66, 44) | 1.000000 | 145.1000 |
| x(9, 8) | 2.000000 | 33.40000 | x(66, 65) | 2.000000 | 34.00000 |
| x(10, 9) | 1.000000 | 57.90000 | x(67, 66) | 3.000000 | 44.10000 |
| x(11, 12) | 1.000000 | 36.20000 | x(68, 46) | 1.000000 | 154.1000 |
| x(11, 19) | 1.000000 | 56.80000 | x(68, 67) | 2.000000 | 32.00000 |
| x(12, 3) | 1.000000 | 54.00000 | x(69, 68) | 3.000000 | 40.10000 |
| x(12, 13) | 1.000000 | 47.20000 | x(70, 49) | 1.000000 | 177.1000 |
| x(13, 4) | 1.000000 | 56.50000 | x(70, 69) | 2.000000 | 43.00000 |
| x(13, 14) | 2.000000 | 73.90000 | x(71, 70) | 2.000000 | 43.00000 |
| x(14, 23) | 3.000000 | 45.10000 | x(71, 94) | 1.000000 | 87.90000 |
| x(15, 7) | 1.000000 | 56.60000 | x(72, 52) | 1.000000 | 201.0000 |
| x(15, 16) | 1.000000 | 46.40000 | x(72, 71) | 2.000000 | 44.50000 |
| x(16, 15) | 1.000000 | 46.40000 | x(73, 74) | 1.000000 | 56.30000 |
| x(16, 17) | 2.000000 | 38.80000 | x(73, 84) | 1.000000 | 156.0000 |
| x(17, 9) | 1.000000 | 64.80000 | x(74, 56) | 1.000000 | 84.60000 |
| x(17, 18) | 2.000000 | 70.60000 | x(74, 75) | 1.000000 | 58.00000 |
| x(18, 10) | 1.000000 | 74.70000 | x(75, 80) | 3.000000 | 51.80000 |
| x(18, 28) | 1.000000 | 33.50000 | x(76, 75) | 1.000000 | 45.20000 |
| x(19, 20) | 2.000000 | 37.40000 | x(76, 77) | 1.000000 | 48.30000 |
| x(20, 12) | 1.000000 | 53.20000 | x(77, 59) | 1.000000 | 109.3000 |
| x(20, 21) | 1.000000 | 7.400000 | x(77, 76) | 1.000000 | 48.30000 |
| x(21, 22) | 2.000000 | 39.80000 | x(78, 74) | 1.000000 | 45.90000 |
| x(22, 13) | 1.000000 | 48.20000 | x(78, 79) | 1.000000 | 22.60000 |
| x(22, 23) | 1.000000 | 71.80000 | x(79, 78) | 1.000000 | 22.60000 |
| x(23, 24) | 2.000000 | 43.70000 | x(79, 83) | 2.000000 | 81.10000 |
| x(23, 31) | 2.000000 | 14.80000 | x(80, 79) | 2.000000 | 47.80000 |
| x(24, 6) | 1.000000 | 102.0000 | x(80, 81) | 1.000000 | 62.20000 |
| x(24, 25) | 1.000000 | 36.90000 | x(80, 88) | 1.000000 | 95.60000 |
| x(24, 48) | 1.000000 | 121.8000 | x(81, 77) | 1.000000 | 64.50000 |
| x(25, 15) | 1.000000 | 45.00000 | x(81, 80) | 1.000000 | 62.20000 |
| x(25, 26) | 1.000000 | 52.80000 | x(82, 78) | 1.000000 | 83.60000 |
| x(26, 16) | 1.000000 | 41.30000 | x(82, 86) | 1.000000 | 24.40000 |
| x(26, 27) | 1.000000 | 39.10000 | x(83, 82) | 1.000000 | 27.40000 |
| x(27, 17) | 1.000000 | 38.40000 | x(83, 87) | 1.000000 | 23.30000 |
| x(27, 28) | 1.000000 | 76.20000 | x(84, 72) | 2.000000 | 38.80000 |
| x(28, 57) | 2.000000 | 41.10000 | x(85, 84) | 1.000000 | 4.900000 |
| x(29, 19) | 1.000000 | 37.70000 | x(85, 96) | 1.000000 | 109.2000 |

Çizelge 7.18 (Devam). Tek yönlü yolların dikkate alındığı durumda elde edilen Lingo yazılımı çıktısı

| Ayrıtlar | Ayrıttan aracın geçiş sayısı | Mesafe, m | Ayrıtlar | Ayrıttan aracın geçiş sayısı | Mesafe, m |
|------------|------------------------------|-----------|--------------|------------------------------|-----------|
| x(29, 30) | 1.000000 | 52.10000 | x(57, 56) | 1.000000 | 28.50000 |
| x(30, 21) | 1.000000 | 30.30000 | x(57, 58) | 1.000000 | 87.00000 |
| x(30, 31) | 1.000000 | 103.1000 | x(57, 75) | 1.000000 | 93.70000 |
| x(31, 34) | 3.000000 | 37.60000 | x(58, 57) | 1.000000 | 87.00000 |
| x(32, 29) | 2.000000 | 46.90000 | x(86, 82) | 1.000000 | 24.40000 |
| x(33, 30) | 1.000000 | 43.30000 | x(86, 85) | 1.000000 | 27.70000 |
| x(33, 32) | 1.000000 | 50.90000 | x(87, 86) | 1.000000 | 25.50000 |
| x(34, 33) | 1.000000 | 91.30000 | x(87, 90) | 1.000000 | 26.40000 |
| x(34, 37) | 2.000000 | 41.40000 | x(88, 87) | 1.000000 | 44.30000 |
| x(35, 32) | 1.000000 | 36.00000 | x(88, 91) | 1.000000 | 29.20000 |
| x(35, 36) | 1.000000 | 51.50000 | x(89, 81) | 1.000000 | 89.00000 |
| x(36, 33) | 1.000000 | 36.70000 | x(89, 88) | 1.000000 | 33.30000 |
| x(36, 37) | 1.000000 | 80.20000 | x(90, 91) | 1.000000 | 37.70000 |
| x(37, 47) | 3.000000 | 39.70000 | x(90, 97) | 1.000000 | 97.00000 |
| x(38, 39) | 1.000000 | 77.80000 | x(91, 90) | 1.000000 | 37.70000 |
| x(39, 40) | 1.000000 | 40.10000 | x(91, 92) | 1.000000 | 21.30000 |
| x(39, 61) | 1.000000 | 58.60000 | x(92, 89) | 2.000000 | 37.40000 |
| x(40, 39) | 1.000000 | 40.10000 | x(93, 70) | 1.000000 | 74.90000 |
| x(40, 62) | 2.000000 | 76.80000 | x(93, 94) | 1.000000 | 46.50000 |
| x(41, 40) | 2.000000 | 27.40000 | x(94, 93) | 1.000000 | 46.50000 |
| x(41, 42) | 1.000000 | 37.70000 | x(94, 99) | 2.000000 | 64.50000 |
| x(42, 43) | 1.000000 | 95.30000 | x(95, 72) | 1.000000 | 95.90000 |
| x(42, 64) | 1.000000 | 96.40000 | x(95, 94) | 1.000000 | 42.00000 |
| x(43, 42) | 1.000000 | 95.30000 | x(96, 85) | 1.000000 | 109.2000 |
| x(43, 44) | 1.000000 | 23.60000 | x(96, 95) | 1.000000 | 48.30000 |
| x(44, 35) | 2.000000 | 42.10000 | x(97, 92) | 1.000000 | 105.3000 |
| x(44, 45) | 1.000000 | 51.30000 | x(97, 96) | 1.000000 | 63.00000 |
| x(45, 36) | 1.000000 | 42.00000 | x(98, 93) | 1.000000 | 61.30000 |
| x(45, 44) | 1.000000 | 51.30000 | x(98, 99) | 1.000000 | 44.20000 |
| x(45, 67) | 1.000000 | 147.9000 | x(99, 98) | 1.000000 | 44.20000 |
| x(46, 45) | 2.000000 | 32.50000 | x(99, 100) | 2.000000 | 30.00000 |
| x(47, 46) | 1.000000 | 40.00000 | x(100, 101) | 1.000000 | 5.500000 |
| x(47, 48) | 1.000000 | 46.80000 | x(100, 105) | 1.000000 | 108.9000 |
| x(47, 69) | 1.000000 | 165.4000 | x(101, 95) | 1.000000 | 65.00000 |
| x(48, 49) | 2.000000 | 10.20000 | x(101, 102) | 1.000000 | 47.60000 |
| x(49, 50) | 3.000000 | 32.40000 | x(102, 101) | 1.000000 | 47.60000 |
| x(50, 25) | 1.000000 | 108.7000 | x(102, 106) | 1.000000 | 116.9000 |
| x(50, 51) | 2.000000 | 7.800000 | x(103, 97) | 1.000000 | 78.70000 |
| x(51, 52) | 1.000000 | 48.10000 | x(103, 102) | 1.000000 | 31.80000 |
| x(51, 71) | 1.000000 | 186.1000 | x(104, 98) | 1.000000 | 105.4000 |
| x(52, 53) | 2.000000 | 19.30000 | x(105, 104) | 1.000000 | 41.60000 |
| x(53, 26) | 1.000000 | 82.70000 | x(105, 106) | 1.000000 | 52.60000 |
| x(53, 54) | 1.000000 | 22.20000 | x(106, 105) | 1.000000 | 52.60000 |
| x(54, 73) | 2.000000 | 55.00000 | x(106, 107) | 1.000000 | 20.00000 |
| x(55, 27) | 1.000000 | 67.70000 | x(107, 103) | 1.000000 | 118.6000 |
| x(55, 54) | 1.000000 | 17.80000 | x(108, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| x(56, 55) | 2.000000 | 60.40000 | | | |



Şekil 7.12. Tek yönlü yolların dikkate alınmadığı durumda elde edilen çözüm

Çizelge 7.19. Tek yönlü yolların dikkate alınmadığı durumda elde edilen Lingo yazılımı çıktısı

| Global optimum çözüm | | | | | |
|----------------------|------------------------------|-----------|-------------|------------------------------|-----------|
| Toplam mesafe: | | 11975.20 | | | |
| Toplam iterasyon: | | 4109708 | | | |
| Ayrıtlar | Ayrıttan aracın geçiş sayısı | Mesafe, m | Ayrıtlar | Ayrıttan aracın geçiş sayısı | Mesafe, m |
| x(1, 103) | 1.000000 | 50.00000 | x(55, 56) | 1.000000 | 60.40000 |
| x(2, 11) | 1.000000 | 52.50000 | x(56, 55) | 1.000000 | 60.40000 |
| x(3, 2) | 1.000000 | 31.50000 | x(56, 57) | 1.000000 | 28.50000 |
| x(3, 4) | 1.000000 | 50.20000 | x(57, 58) | 1.000000 | 87.00000 |
| x(4, 3) | 1.000000 | 50.20000 | x(57, 75) | 1.000000 | 93.70000 |
| x(4, 13) | 1.000000 | 56.50000 | x(58, 59) | 1.000000 | 80.20000 |
| x(5, 4) | 1.000000 | 77.30000 | x(58, 76) | 1.000000 | 123.0000 |
| x(5, 6) | 1.000000 | 44.90000 | x(59, 77) | 1.000000 | 109.3000 |
| x(6, 5) | 1.000000 | 44.90000 | x(60, 38) | 1.000000 | 46.30000 |
| x(6, 7) | 1.000000 | 35.80000 | x(61, 60) | 1.000000 | 69.60000 |
| x(7, 8) | 1.000000 | 41.00000 | x(61, 108) | 1.000000 | 50.00000 |
| x(7, 15) | 1.000000 | 56.60000 | x(62, 61) | 1.000000 | 50.00000 |
| x(8, 9) | 2.000000 | 33.40000 | x(62, 63) | 1.000000 | 21.90000 |
| x(9, 10) | 1.000000 | 57.90000 | x(63, 41) | 1.000000 | 84.50000 |
| x(9, 17) | 1.000000 | 64.80000 | x(63, 62) | 1.000000 | 21.90000 |
| x(10, 18) | 1.000000 | 74.70000 | x(64, 42) | 1.000000 | 96.40000 |
| x(11, 12) | 1.000000 | 36.20000 | x(64, 63) | 1.000000 | 37.70000 |
| x(11, 19) | 1.000000 | 56.80000 | x(65, 64) | 2.000000 | 115.9000 |
| x(12, 3) | 1.000000 | 54.00000 | x(66, 44) | 1.000000 | 145.1000 |
| x(12, 20) | 1.000000 | 53.20000 | x(66, 65) | 1.000000 | 34.00000 |
| x(13, 12) | 1.000000 | 47.20000 | x(67, 66) | 2.000000 | 44.10000 |
| x(13, 22) | 1.000000 | 48.20000 | x(68, 67) | 1.000000 | 32.00000 |
| x(14, 5) | 1.000000 | 56.10000 | x(68, 69) | 1.000000 | 40.10000 |
| x(14, 13) | 1.000000 | 73.90000 | x(69, 47) | 1.000000 | 165.4000 |
| x(15, 7) | 1.000000 | 56.60000 | x(69, 68) | 1.000000 | 40.10000 |
| x(15, 25) | 1.000000 | 45.00000 | x(70, 69) | 1.000000 | 43.00000 |
| x(16, 8) | 1.000000 | 63.20000 | x(70, 93) | 1.000000 | 74.90000 |
| x(16, 15) | 1.000000 | 46.40000 | x(71, 51) | 1.000000 | 186.1000 |
| x(17, 16) | 1.000000 | 38.80000 | x(71, 70) | 1.000000 | 43.00000 |
| x(17, 18) | 1.000000 | 70.60000 | x(72, 52) | 1.000000 | 201.0000 |
| x(18, 28) | 2.000000 | 33.50000 | x(72, 71) | 1.000000 | 44.50000 |
| x(19, 11) | 1.000000 | 56.80000 | x(73, 54) | 1.000000 | 55.00000 |
| x(19, 29) | 1.000000 | 37.70000 | x(73, 74) | 1.000000 | 56.30000 |
| x(20, 19) | 1.000000 | 37.40000 | x(74, 56) | 1.000000 | 84.60000 |
| x(20, 21) | 1.000000 | 7.400000 | x(74, 78) | 1.000000 | 45.90000 |
| x(21, 20) | 1.000000 | 7.400000 | x(75, 74) | 1.000000 | 58.00000 |
| x(21, 30) | 1.000000 | 30.30000 | x(75, 80) | 1.000000 | 51.80000 |
| x(22, 21) | 1.000000 | 39.80000 | x(76, 58) | 1.000000 | 123.0000 |
| x(22, 23) | 1.000000 | 71.80000 | x(76, 75) | 1.000000 | 45.20000 |
| x(23, 14) | 2.000000 | 45.10000 | x(77, 76) | 1.000000 | 48.30000 |
| x(23, 22) | 1.000000 | 71.80000 | x(77, 81) | 1.000000 | 64.50000 |
| x(24, 6) | 1.000000 | 102.0000 | x(78, 79) | 1.000000 | 22.60000 |
| x(24, 23) | 1.000000 | 43.70000 | x(78, 82) | 1.000000 | 83.60000 |
| x(25, 24) | 1.000000 | 36.90000 | x(79, 78) | 1.000000 | 22.60000 |
| x(25, 50) | 1.000000 | 108.7000 | x(79, 83) | 1.000000 | 81.10000 |
| x(26, 16) | 1.000000 | 41.30000 | x(80, 79) | 1.000000 | 47.80000 |
| x(26, 25) | 1.000000 | 52.80000 | x(80, 88) | 1.000000 | 95.60000 |
| x(27, 17) | 1.000000 | 38.40000 | x(81, 77) | 1.000000 | 64.50000 |
| x(27, 26) | 1.000000 | 39.10000 | x(81, 80) | 1.000000 | 62.20000 |

Çizelge 7.19. (Devam) Tek yönlü yolların dikkate alınmadığı durumda elde edilen Lingo yazılımı çıktısı

| Ayrıtlar | Ayrıttan aracın geçiş sayısı | Mesafe, m | Ayrıtlar | Ayrıttan aracın geçiş sayısı | Mesafe, m |
|------------|------------------------------|-----------|--------------|------------------------------|-----------|
| x(82, 83) | 1.000000 | 27.40000 | x(53, 26) | 1.000000 | 82.70000 |
| x(82, 86) | 1.000000 | 24.40000 | x(53, 54) | 1.000000 | 22.20000 |
| x(28, 27) | 1.000000 | 76.20000 | x(54, 55) | 1.000000 | 17.80000 |
| x(28, 57) | 1.000000 | 41.10000 | x(54, 73) | 1.000000 | 55.00000 |
| x(29, 30) | 1.000000 | 52.10000 | x(55, 27) | 1.000000 | 67.70000 |
| x(29, 32) | 1.000000 | 46.90000 | x(83, 82) | 1.000000 | 27.40000 |
| x(30, 31) | 1.000000 | 103.1000 | x(83, 87) | 1.000000 | 23.30000 |
| x(30, 33) | 1.000000 | 43.30000 | x(84, 72) | 1.000000 | 38.80000 |
| x(31, 23) | 1.000000 | 14.80000 | x(84, 73) | 1.000000 | 156.0000 |
| x(31, 34) | 1.000000 | 37.60000 | x(85, 84) | 2.000000 | 4.900000 |
| x(32, 29) | 1.000000 | 46.90000 | x(85, 96) | 1.000000 | 109.2000 |
| x(32, 35) | 1.000000 | 36.00000 | x(86, 85) | 2.000000 | 27.70000 |
| x(33, 32) | 1.000000 | 50.90000 | x(87, 86) | 1.000000 | 25.50000 |
| x(33, 34) | 1.000000 | 91.30000 | x(87, 90) | 1.000000 | 26.40000 |
| x(34, 31) | 1.000000 | 37.60000 | x(88, 87) | 1.000000 | 44.30000 |
| x(34, 37) | 1.000000 | 41.40000 | x(88, 91) | 1.000000 | 29.20000 |
| x(35, 36) | 1.000000 | 51.50000 | x(89, 81) | 1.000000 | 89.00000 |
| x(35, 44) | 1.000000 | 42.10000 | x(89, 88) | 1.000000 | 33.30000 |
| x(36, 33) | 1.000000 | 36.70000 | x(90, 91) | 1.000000 | 37.70000 |
| x(36, 37) | 1.000000 | 80.20000 | x(90, 97) | 1.000000 | 97.00000 |
| x(37, 47) | 2.000000 | 39.70000 | x(91, 90) | 1.000000 | 37.70000 |
| x(38, 39) | 1.000000 | 77.80000 | x(91, 92) | 1.000000 | 21.30000 |
| x(39, 40) | 1.000000 | 40.10000 | x(92, 89) | 2.000000 | 37.40000 |
| x(39, 61) | 1.000000 | 58.60000 | x(93, 94) | 1.000000 | 46.50000 |
| x(40, 39) | 1.000000 | 40.10000 | x(93, 98) | 1.000000 | 61.30000 |
| x(40, 62) | 1.000000 | 76.80000 | x(94, 71) | 1.000000 | 87.90000 |
| x(41, 40) | 1.000000 | 27.40000 | x(94, 99) | 1.000000 | 64.50000 |
| x(41, 42) | 1.000000 | 37.70000 | x(95, 72) | 1.000000 | 95.90000 |
| x(42, 41) | 1.000000 | 37.70000 | x(95, 94) | 1.000000 | 42.00000 |
| x(42, 43) | 1.000000 | 95.30000 | x(96, 85) | 1.000000 | 109.2000 |
| x(43, 44) | 1.000000 | 23.60000 | x(96, 95) | 1.000000 | 48.30000 |
| x(43, 65) | 1.000000 | 126.3000 | x(97, 92) | 1.000000 | 105.3000 |
| x(44, 35) | 1.000000 | 42.10000 | x(97, 96) | 1.000000 | 63.00000 |
| x(44, 43) | 1.000000 | 23.60000 | x(98, 93) | 1.000000 | 61.30000 |
| x(44, 45) | 1.000000 | 51.30000 | x(98, 104) | 1.000000 | 105.4000 |
| x(45, 36) | 1.000000 | 42.00000 | x(99, 98) | 1.000000 | 44.20000 |
| x(45, 67) | 1.000000 | 147.9000 | x(99, 100) | 1.000000 | 30.00000 |
| x(46, 45) | 1.000000 | 32.50000 | x(100, 99) | 1.000000 | 30.00000 |
| x(46, 68) | 1.000000 | 154.1000 | x(100, 105) | 1.000000 | 108.9000 |
| x(47, 46) | 2.000000 | 40.00000 | x(101, 95) | 1.000000 | 65.00000 |
| x(47, 48) | 1.000000 | 46.80000 | x(101, 100) | 1.000000 | 5.500000 |
| x(48, 24) | 1.000000 | 121.8000 | x(102, 101) | 2.000000 | 47.60000 |
| x(48, 49) | 1.000000 | 10.20000 | x(103, 97) | 1.000000 | 78.70000 |
| x(49, 48) | 1.000000 | 10.20000 | x(103, 102) | 1.000000 | 31.80000 |
| x(49, 70) | 1.000000 | 177.1000 | x(104, 105) | 1.000000 | 41.60000 |
| x(50, 49) | 1.000000 | 32.40000 | x(105, 106) | 2.000000 | 52.60000 |
| x(50, 51) | 1.000000 | 7.800000 | x(106, 102) | 1.000000 | 116.9000 |
| x(51, 50) | 1.000000 | 7.800000 | x(106, 107) | 1.000000 | 20.00000 |
| x(51, 52) | 1.000000 | 48.10000 | x(107, 103) | 1.000000 | 118.6000 |
| x(52, 53) | 2.000000 | 19.30000 | x(108, 1) | 1.000000 | 0.000000 |

Çizelge 7.21. Geri kazanım merkezlerinin toplama rotalarının mesafeleri

| Rota no | Mesafeler (km) |
|----------------|-----------------------|
| RO1 | 31,4 |
| RO2 | 38,1 |
| RT1 | 27,2 |
| RT2 | 24,9 |

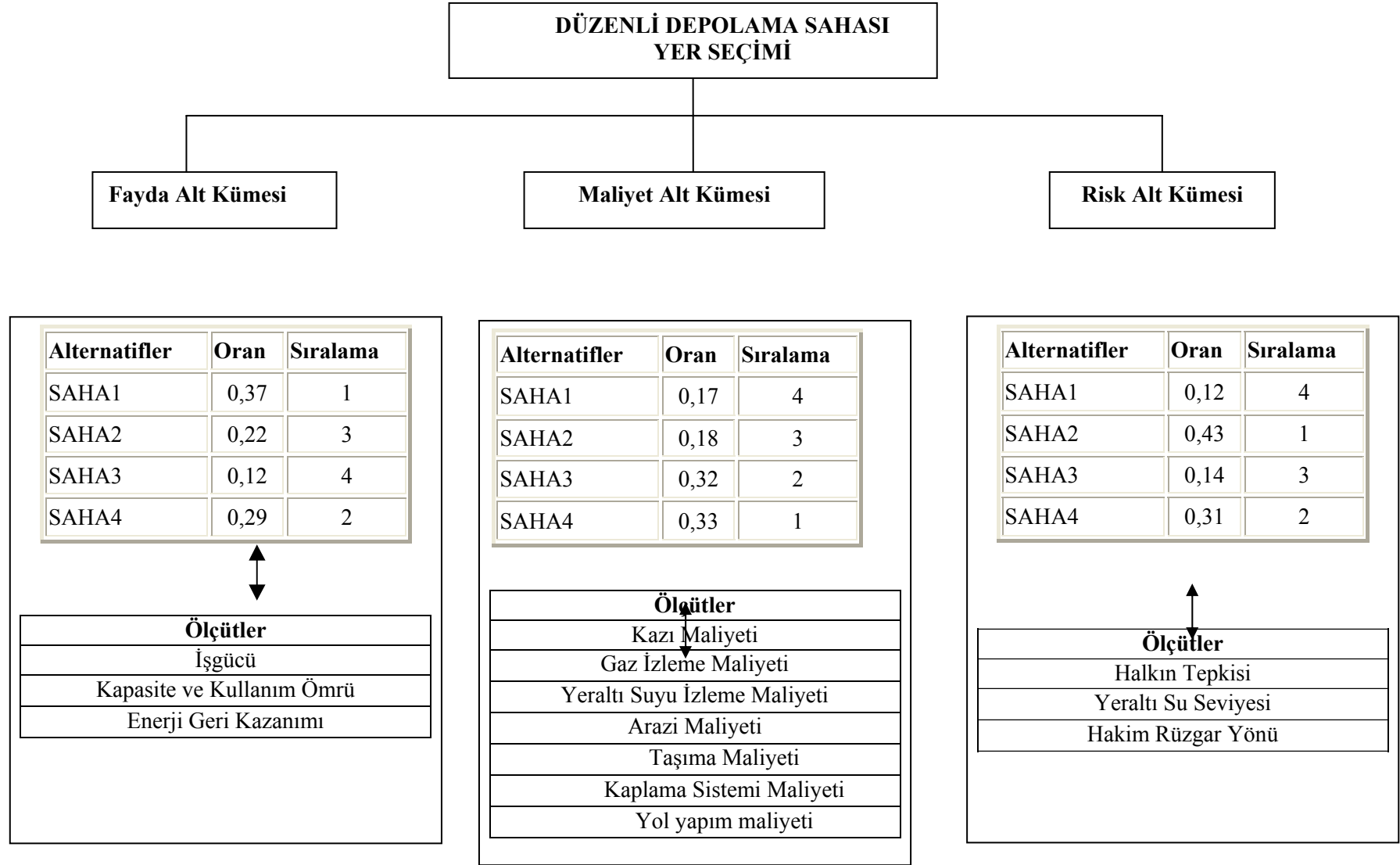
7.5. Depolama Sahası Yer Seçimi Çalışmalarından Elde Edilen Sonuçlar

Yer seçimi çalışmalarında öncelikle coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama tekniklerinden yararlanılmış ve daha sonra elde edilen alternatif sahalar ELECTRE III ve ANP yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

7.5.1. ANP çalışmalarından elde edilen sonuçlar

Çalışmada analitik serim sürecinin uygulanabilmesi amacıyla Super Decision yazılımı kullanılmış ve BOCR Analizi yapılmıştır. Bu analizde, alternatif depolama sahalarının her biri fayda, maliyet ve riskleri açısından değerlendirilmiş, fırsatlar kümesi ise faydalar adı altında birlikte incelenmiştir (Şekil 7.14).

Şekildeki kriterlere göre Super Decision yazılımı kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda alternatif sahaların uygunluk sırası Çizelge 7.22.'de gösterildiği gibi olmuştur.



Şekil 7.14. Alternatif depolama sahalarının yer seçiminde ANP'nin akış diyagramı ve sonuçları

Çizelge 7.22. Alternatif sahaların BCR modeline göre uygunluk sıralaması

| ALTERNATİFLER | ANP (%uygunluk) | UYGUNLUK SIRASI |
|---------------|-----------------|-----------------|
| SAHA 1 | 22 | 3 |
| SAHA 2 | 24 | 2 |
| SAHA 3 | 21 | 4 |
| SAHA 4 | 33 | 1 |

7.5.2. ELECTRE III çalışmalarından elde edilen sonuçlar

Düzenli depolama sahası olarak belirlenen 4 alternatif, belirli ölçütler dikkate alınmak suretiyle karşılaştırılmış ve sıralamaları veren distilasyon işlemi Çizelge 7.23’de verilmiştir.

Her ikisi de bir MCDM tekniği olan ANP ve ELECTRE ile gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 7.24’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.23. Uygunluk matrisi

| | S1 | S2 | S3 | S4 |
|----|-----|-----|-----|-----|
| S1 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,7 |
| S2 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| S3 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,5 |
| S4 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |

Çizelge 7.24. Alternatif sahaların ANP ve ELECTRE III sonuçlarının karşılaştırılması

| ALTERNATİFLER | ANP (sıralama) | ELECTRE III (sıralama) |
|---------------|----------------|------------------------|
| Saha 1 | 3 | 2 |
| Saha 2 | 2 | 2 |
| Saha 3 | 4 | 3 |
| Saha 4 | 1 | 1 |

Elde edilen sonuçlara göre, en uygun sahanın Saha 4 (Çavlum sahası) olduğu saptanmıştır. Çizelge 7.24'den de görüldüğü üzere her iki yöntemde de Saha 4 en uygun saha olarak bulunmuş, ancak, diğer sahaların sıralamasında değişiklikler gözlenmiştir. ANP'de bileşenler arasındaki ilişkiler ve yönler bir serim şeklinde ifade edilir. Bu yapı sayesinde, doğrudan ilişkilendirilmemiş bileşenler arasında olabilecek dolaylı etkileşimler ve geri bildirimler de dikkate alınmaktadır. ELECTRE'de ise, bu yapı söz konusu değildir, ancak ölçütler için tercih/kayıtsızlık/veto eşik değerleri söz konusudur. Sıralamadaki farklılık, her iki yöntem arasındaki bu temel farklılardan kaynaklanmaktadır.

8. SONUÇ

Sürdürülebilir atık yönetimi planlaması teknik, çevresel, ekonomik, sosyal ve politik faktörleri içeren karmaşık ve disiplinlerarası bir problemdir. Bir kentte atıklarla ilgili bir uygulama yapılacağı zaman öncelikle konuya yönetsel bir yaklaşımla bakılmalıdır. Bunun için de, tüm dünyada kabul görmüş atık yönetim sistemi hiyerarşisinin takip edilmesi gereklidir. Bu kapsamda, öncelikle atık oluşumunun en aza indirilmesi ve oluşan atıkların mümkün olduğunca geri kazanılması tercih edilmelidir. Bu amaçla, ambalaj atıklarının yeniden kullanılması veya tekrar hammaddeyle birlikte üretime sokulması, organik atıkların kompostlanarak toprak iyileştiricisi bir ürün elde edilmesi veya atıkların yakılarak enerji elde edilmesi sağlanmalıdır. Nitekim günümüzde artık, depolama temelli yaklaşımdan, kaynakta azaltma ve geri kazanım temelli bir yaklaşıma doğru gidilmektedir. Özellikle toprağı kısıtlı olan, Avrupa Birliğı (AB) üyesi ülkeler, hem ulusal geri kazanım ve geri dönüşüm hedeflerini yükseltmekte, hem de depolama sahasına gönderilecek, biyolojik olarak bozunabilen atıklarını en aza indirmeye çalışmaktadırlar.

Kentsel katı atık yönetim sistemleri, depolamadan kirlilik önlemeye doğru gittikçe yönetsel açıdan daha karmaşık bir hal almaya başlamıştır. Birçok ülkede ulusal temelde belirlenen geri kazanım hedeflerine ulaşmak için stratejiler oluşturulmakta ve bu süreçte, kentsel katı atıkların miktar ve bileşimleri ile ilgili ayrıntılı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak katı atıkların bileşimi sosyo-ekonomik, mevsimsel, coğrafik vb. koşullara bağılı olarak değişmekte ve bu da tüm değişkenlerin etkisinin eş zamanlı olarak dikkate alınmasını zorlaştırmaktadır.

Bu noktadan hareketle, bu tez çalışmasında bir kentte katı atık yönetim sistemi kurulurken olması gereken tüm adımlar farklı teknikler kullanılarak ele alınmıştır. Öncelikle Eskişehir'deki kentsel katı atıkların fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmış ve bu analiz sonuçlarına göre belirlenen atık yönetim sistemi senaryoları farklı tekniklerle değerlendirilmiştir. Bunu takiben kentte uygulanacak geri kazanım sisteminin nasıl olması gerektiğı belirlenmiştir. Daha sonra belediyeler için büyük önem arz eden atık toplama ve taşıma rotaları ile ilgili

çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Son olarak da, farklı teknikler kullanılarak katı atık düzenli depolama sahası yer seçimi yapılmıştır.

Tezde, bir yıl boyunca yapılan katı atık analizlerine göre Eskişehir'in kentsel katı atıklarının bileşimi %67 yiyecek atığı, %10 kağıt-karton, %5,6 plastik, %2,5 cam, %1,3 metal, %4 kül ve %9,6 diğer atıklar olarak bulunmuştur. Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde, atık bileşiminin mevsimsel değişiminden ziyade, sosyo-ekonomik yapıya göre farklılaşması dikkat çekmektedir. Özellikle ambalaj atığı miktarının, yüksek gelir seviyesine sahip bölgelerde fazla olduğu görülmektedir. Yapılan ısı değer analizi sonuçlarına göre atığın ısı değeri ortalama 12,7 MJ/kg olarak bulunmakla birlikte bu değer, ambalaj atıklarının olmadığı durumda çok daha düşük miktarda olacağı göz ardı edilmemelidir. Yapılan ağır metal ve besi elementleri analizlerine göre ise, genel olarak değerler düşük miktarlarda olmasına karşın özellikle Zn, Ca, Mg ve K'un yiyecekler içinde de fazla miktarda olmasından dolayı, daha yüksek değerlerde çıkmaları beklenen bir sonuç olmuştur.

Kentsel katı atık yönetim sisteminin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar 3 farklı şekilde yapılmıştır. yaşam döngüsü analizi ile yapılan çalışmalarda 3 farklı etki sınıfı (EcoIndicator'95, EcoIndicator'99 and EPS'00) kullanılarak oluşturulan senaryolar değerlendirilmiş ve her üç yöntemde de **S3 (%15 geri kazanım + %77 kompostlama + %8 düzenli depolama)** senaryosunun en çevresel senaryo olduğu görülmüştür. Çevresel ölçütlerin yanı sıra teknik, ekonomik ve sosyal/politik ölçütlerin de dikkate alındığı ELECTRE III yönteminde de yine aynı senaryo ilk sırada yer almaktadır. Teknik gereksinimleri sağlayarak, maliyetlerin en aza indirilmesini amaçlayan doğrusal olmayan matematiksel modelleme çalışma sonuçlarına göre, kompost içeren senaryo en düşük maliyete sahipken, en yüksek fayda da enerji eldesi nedeniyle yakma içeren senaryoda bulunmuştur. Ancak, bir atık yönetim sistemi planlanırken ekonomik ölçütlerin yanı sıra çevresel, teknik ve sosyal ölçütlerin de göz önüne alınması gerektiği unutulmamalıdır.

Tezin bir sonraki aşamasında, belirlenen atık yönetim sistemi senaryosuna göre, geri kazanım sisteminin nasıl kurulması gerektiği ile ilgili senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar çok ölçütlü karar verme tekniklerinden ELECTRE

III ve Analitik Serim Süreci (ANP) ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, geri kazanılabilir atıkların başlangıçta evlerde karışık olarak toplanması gerektiği, bunun yanı sıra geri kazanım merkezlerinin oluşturulması ve takiben atıkların ayırma tesislerinde de ayrılması gerektiği görülmüştür.

Kentsel katı atık toplama ve taşıma işlemleri ekonomik olarak belediyelerin görev ve sorumlulukları arasında özellikle maliyet açısından en büyük paya sahiptir. Bu nedenle atıklar toplanırken hem ekonomik, hem çevresel, hem de zaman açısından en kısa mesafenin katedilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada matematiksel modelleme ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yöntemleri kullanılarak rotalar oluşturulmuş ve mevcut atık toplama rotalarının mesafelerinde azalmalar sağlanabileceği görülmüştür.

Katı atıkların nihai bertaraf metodu olarak kullanılan düzenli depolama sahalarının kurulmasında en önemli aşamalardan birisi yer seçimidir. Bu çalışmalar yapılırken, teknik, ekonomik, yasal, birçok ölçütün göz önüne alınması gerekmektedir. Bunun yanı sıra tüm dünyada yaygın olarak bilinen NIMBY (not in my back yard, benim arka bahçemde değil) sendromu nedeniyle de sahanın yakınında yaşayan halkın tepkisi çok önemlidir. Bu çalışmada, Eskişehir için uygun olabilecek depolama sahası belirlenirken öncelikle uzaktan algılama ve CBS'den yararlanarak potansiyel sahaslar belirlenmiş ve daha sonra bu sahaslar çok ölçütlü karar verme tekniklerinden ELECTRE III ve Analitik Serim Süreci (ANP) ile değerlendirilmiştir. Buna göre Eskişehir katı atık düzenli depolama sahası için Çavlum sahasının uygun olabileceği belirlenmiştir.

Sonuç olarak bu tezde, AB'ne uyum sürecinde pek çok yasal düzenleme ve uygulamanın gündemde olduğu ülkemiz için, katı atıklarla ilgili bütüncül yönetsel yaklaşımın içerildiği bir model ortaya konulmuştur. Çünkü kentsel katı atıklar bir şekilde toplanıp, gelişigüzel depolanarak yönetilemezler. Üretimlerinden bertaraflarına kadar her aşamada farklı disiplinlerin ve farklı tekniklerin birlikte uygulanması gereklidir. Bu anlamda şu anda ülkemizde uygulanmaya çalışıldığı gibi düzenli depolama temelli bir yaklaşım yeterli olmayacaktır. Konu, teknik, çevresel, ekonomik, sosyal ve politik yönlerin birlikte ele alınmasını gerektiren karmaşık bir yönetim sistemidir.

KAYNAKLAR

- Abou Najm M. ve El-Fadel M. (2004), "Computer-based interface for an integrated solid waste optimization model", *Environ. Model. Softw.*, **19**, 1151-1164.
- Abu Qdais, H.A., Hamoda, M.F. ve Newham, J. (1997), "Analysis of Residential Solid Waste at Generation Sites", *Waste Manage. Res.*, **15**, 395-406.
- Acar, I.P., Sipahioğlu, A., Özkan, A. ve Banar, M. (2006), "Eskişehir İçin ELECTRE III Yöntemiyle Sürdürülebilir Katı Atık Yönetim Sistemi Seçimi", *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 26. Ulusal Kongresi Özet Kitabı*, Kocaeli, 639-642.
- Amponsah, S.K. ve Salhi, S. (2004), "The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries", *Waste Manage.*, **24**, 711-721.
- Ayday, C., (2005a), *Uzaktan Algılama Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Ayday, C. (2005b), *Coğrafi Bilgi Sistemleri Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Banar, M. ve Özkan, A. (2007), "Characterization of the Municipal Solid Waste in Eskişehir City of Turkey", *Env. Eng. Sci.*, basımda.
- Banar, M., Köse, B.M., Özkan, A. ve Poyraz Acar, I. (2007), "Choosing a municipal landfill site by analytic network process", *Environ. Geol.*, **52**, 747-751.
- Banar M., (2006), *ÇEV 421 Katı Atık Yönetimi Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Banar, M., Özkan, A., Malkoç, S., Çokaygil, Z. ve Özkan, K. (2006), *Laboratuvar Ölçekli Bir İnsineratörde İşletme Koşullarının Performans ve Atık Giderme Verimliliği Üzerine Etkisi*, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Raporu. No: 020235, Eskişehir.
- Banar, M. ve Özkan, A. (2005), "Kampus Katı Atıklarının Karakterizasyonu ve Geri Kazanımı: Anadolu Üniversitesi Örneği", *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **6 (2)**, 225-234.

- Banar, M., Şahin, A., Malkoç, S. ve Vardar, Ç. (2003), *Anadolu Üniversitesi Yunusemre ve İki Eylül Kampüsleri Atıklarının Karakterizasyonu ve Değerlendirilebilirlik Seçeneklerinin İncelenmesi*, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Raporu. No: 990228, Eskişehir.
- Bauman, H. ve Tillman, A. (2004), *The Hitch Hiker's Guide to LCA*, Studentlitteratur AB, Sweden.
- Bishop, P.L. (2000), *Pollution Prevention: Fundamentals and Practice*, McGraw-Hill, Singapore.
- Bjorklund, A., Dalemo, M. ve Sonesson, U. (1999), "Evaluating a municipal waste management plan using ORWARE", *J. Clean. Prod.*, **7**, 271-280.
- Bovea, M.D. ve Powell J.C. (2006), "Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management", *J. Environ. Eng.*, **79**,115-132.
- Burnley, S. (2007), "A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom", *Waste Manage.*, **27**, 1274–1285.
- Burnley, S.J., Ellis, J.C., Flowerdew, R., Poll, A.J. ve Prosser, H. (2007), "Assessing the composition of municipal solid waste in Wales", *Resour. Conserv. Recy.*, **49(3)**, 264-283.
- Chang, YH ve Chang N. (1998), "Optimization analysis for the development of short term solid waste management strategies using presorting process prior to incinerators", *Resour. Conserv. Recy.*, **24**, 7-32.
- Chang, N. ve Davila, E. (2007), "Municipal solid waste characterizations and management strategies for the Lower Rio Grande Valley, Texas", *Waste Manage.*, basımda.
- Chang, N., B., Lu, H.,Y. ve Wei, Y.,L (1997), "GIS technology for the vehicle routing and scheduling in solid waste collection systems", *J. Environ. Eng.*, **123**, 901-910.
- Chang, N. ve Wang, SF. (1997), "A fuzzy goal programming approach for the optimal planning of metropolitan solid waste management systems", *Eur. J. Oper. Res.*, **99**, 303-321.
- Chapleau, L., Ferland, J., Lapalme, G. ve Rousseau, J. (1984), "A parallel insert method for the capacitated arc routing problem", *Oper. Res. Lett.*, **3(6)**, 95-99.

- Charnpratheep, K., Zhou, Q. ve Garner, B. (1997), "Preliminary Landfill Site Screening Using Fuzzy Geographical Information Systems", *Waste Manage. Res.*, **15**, 197-215.
- Christofides, N. (1973), "The optimal traversal of a graph", *Omega 1*, **6**, 719-732.
- Costi, P., Minciardi, R., Robba, M., Rovatti, M. ve Sacile, R. (2004), "An environmentally sustainable decision model for urban solid waste management", *Waste Manage.*, **24**, 277-295.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2007), *Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği*, Resmi Gazete, No: 25538.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2005), *Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*, Resmi Gazete, No: 25755.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (1991), *Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*, Resmi Gazete, No:20814.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2000), *Evsel Katı Atıkların Toplanması ve Taşınmasında ve Tehlikeli Atıkların Taşınması için Uygun Teknolojiler Raporu*, Ankara.
- Çokaygil, Z., Özkan, A. ve Banar, M. (2006), "Evaluation of the MSW Management Scenarios by the Means of LCA: A Case Study on Eskişehir", *International Conference on Infrastructure Development and the Environment (ICIDEN-ABUJA 2006) Özet Kitabı*, Abuja/Nijerya, 73.
- Çokaygil, Z. (2005), *Atık Yönetimi Planlamasında Yaşam Döngüsü Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Daskalopoulos, E., Badr, O. ve Probert, S. (1998), "An integrated approach to municipal solid waste management", *Resour. Conserv. Recy.*, **24**, 33-50.
- Daşdemir, İ. ve Güngöe, E. (2004), "Çok Boyutlu Karar Verme Metotları ve Ormancılıkta Uygulama Alanları", *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, **I-II**, 1-19.
- DHV Consultants, (2006), *Katı Atık Yakma Tesisleri İçin Teknolojiler ve Yer Seçimi Raporu*, Hollanda.
- Dror, M. (2000), *Arc Routing: Theory, Solutions and Applications*, Kluwer Academic Publishers, USA.

- EEA, (1997), *Life Cycle Assessment (LCA) A guide to approaches, experiences and information sources*, Environmental Issues Series, **6**, United Kingdom.
- Emel, G., Taşkın, C., Dinç, E. (2003), “Yönsüz Çinli Postacı Problemi: Polis Devriye Araçları İçin Bir Uygulama”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **3** (1), 121-140.
- Emery, A., Griffiths, A., ve Williams, K. (2003), “An in depth study of the effects of socio-economic conditions on household waste recycling practices”, *Waste Manage. Res.*, **21**, 180-190.
- Eskişehir Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, (2001), *Eskişehir İli Çevre Durum Raporu*, Eskişehir.
- Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, (2003), *Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Dökümanları*, Eskişehir.
- Eskişehir Milli Eğitim Müdürlüğü, (2007), *2006-2007 Öğretim Yılında Eskişehir'deki Öğrenci ve Öğretmen Durumu*, Strateji Geliştirme Bürosu, Eskişehir.
- Erken, B. ve Güngör, A. (2004), “Evsel Katı Atık Toplama Araçlarının Rotalanması: Denizli İlinde bir Pilot Çalışma”, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 15-18.
- European Communities, (1999), Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste, Official Journal of the European Communities.
- Fiorucci, P., Minciardi, R., Robba, M. ve Sacile, R. (2003), “Solid waste management in urban areas development and application of a decision support system”, *Resour. Conserv. Recy.*, **37**, 301-328.
- Gelders, L. ve Cattrysse, D. (1991), “Public waste collection: a case study”, *Belg. J. Oper. Res. Stat. Comput. Sci.*, **31**, 5-15.
- Gidakos, E., Havas, G. ve Ntzamilis, P. (2006), “Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete”, *Waste Manage.*, **26**, 668-679.
- Goedkoop, M., Oele, M. ve Effting, S. (2004), *SimaPro Database Manual Methods library*, PRé Consultants, Netherlands.

- Golden, B., Dearmon, J. ve Baker, E. (1983), “Computational experiments with algorithms for a class of routing problems”, *Comput. Oper. Res.*, **10**, 47-59.
- Gottinger, H.W. (1988), “A computational model for solid waste management with application”, *Eur. J. Oper. Res.*, **35**, 350-364.
- Güllü, G. (2006), *Depolama Sahalarının Mali Analizi*, Katı Atıkların Düzenli Depolanması ve Vahşi Depolama Sahalarının Rehabilitasyonu Eğitimi, İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme San.ve Tic. A.Ş. (İSTAÇ), İstanbul.
- Haastrup, P., Maniezzo, V., Mattarelli, M., Mazzeo Rinaldi, F., Mendes, I. ve Parruccini, M. (1998), “A decision support system for urban waste management”, *Eur. J. Oper. Res.*, **109**, 330-341.
- Hauschild, M. ve Wenzel, H. (1998), *Environmental Assessment of Products*, Volume 2: Scientific background, Chapman&Hall, UK.
- Hokkanen, J. ve Salminen, P. (1997), “Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis”, *Eur. J. Oper. Res.*, **98**, 19-36.
- http-1, (2007), <http://www.cevreorman.gov.tr>
- http-2, (2007), <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr>
- http-3, (2007), <http://www.cevko.org.tr/sss.aspx>
- http-4, (2006), www.docuart.com.tr/cbs.htm
- http-5, (2006), www.abdn.ac.uk
- http-6, (2005), www.odunpazari.bel.tr
- http-7, (2007), www.wikipedia.org
- http-8, (2007), <http://www.anadolu.edu.tr>
- http-9, (2007), <http://www.ogu.edu.tr>
- http-10, (2007), <http://www.khgm.gov.tr/envanter/yolmas.htm>
- Igoni, A.H., Ayotamuno, M.J., Ogaji, S.O.T. ve Probert, S.D. (2007), “Municipal solid-waste in Port Harcourt, Nigeria”, *Appl. Energ.*, **84**, 664–670.
- İpekoğlu, N. (1990), *Katı Atıkların Kompostlaştırılması, Katı Atık Tanımı, Toplanması ve Uzaklaştırılması Kurs Notları*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

- Isa, M., Asaari, F., Ramli, N. ve Ahmad, S. (2005), "Solid waste collection and recycling in Nibong Tebal, Penang, Malaysia: a case study", *Waste Manage. Res.*, **23**, 565-570.
- Kaya, Y. (2005), *Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinden Topsis ve Electre Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Seminer Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.
- Köse, B.M. ve Yılmaz, G. (2003), *Eskişehir İli Alternatif Katı Atık Düzenli Depolama Sahaları Yer Seçimi*, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- Kulaç, A. (2006), *Eskişehir Tepebaşı Belediyesi İçin Katı Atık Yönetim Sistemi Seçiminde Analitik Serim Süreci (ANP) Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kulcar, T. (1996), "Optimizing solid waste collection in Brussels", *Eur. J. Oper. Res.*, **91**, 71-77.
- Leao, S., Bishop, I. ve Evans, D. (2001), "Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modelling in a GIS environment", *Resour. Conserv. Recy.*, **33**, 289-313.
- Levine, S.C. (1996), *Sanitary Landfill Design and Siting Criteria*, Transportation, Water and Urban Development Department The World Bank, Infrastructure Notes.
- Lingo Kullanım Kılavuzu (Lingo's User Manual), (2004), Lindo Systems Inc., USA.
- Manoliadis, O.G. ve Sachpazis, K.I. (2001), "Geotechnical Aspects of a Landfill Site Selection Study in North Evia-Greece", *EJGE*.
- Mcfadden, C. ve Whitehead, S. (2003), "Locating a Landfill Site in Macoupin County Using GIS", *Geography at Guelph*.
- Metin, E., Eröztürk, A. ve Neyim, C. (2003), "Solid waste management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey", *Waste Manage.*, **23**, 425-432.
- Mohee, R. (2002), "Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius", *Resour. Conserv. Recy.*, **36**, 33-43.

- Mongeon, J. ve Webb, M. (2002), *Locating a Municipal Waste Landfill Site in Cottonwood-Minnesota*, Geography at Guelph.
- Mourao, M. (2000), "Lower-bounding and heuristic methods for collection vehicle routing problem", *Eur. J. Oper. Res.*, **121**, 420-434.
- Murad, M. ve Siwar, C. (2007), "Waste management and recycling practices of the urban poor: a case study in Kuala Lumpur city, Malaysia", *Waste Manage. Res.*, **25**, 3-13.
- Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H. ve Bräysy, O. (2006), "Improved route planning and scheduling of waste collection and transport", *Expert Syst. Appl.*, **30**, 223-232.
- Ojeda-Benitez, S., Armijo De Vega, C. ve Rami'Rez-Barreto, M.E. (2003), "Characterization and quantification of municipal solid wastes in a Mexican city", *Resour. Conserv. Recy.*, **39**, 211-222.
- Özkan, A. ve Banar, M. (2007), "Electre III Yöntemi Kullanılarak En Uygun Geri Kazanım Sisteminin Belirlenmesi", *Ulusal Çevre Sempozyumu Bildiri Özetleri Kitabı*, Mersin, 119.
- Özkan, A., Altan, M., Banar, M. ve Ayday, C. (2006), "Optimization of Solid Waste Collection and Transportation Routes by using GIS", *WSEAS Trans. Environ. Dev.*, **10 (2)**, 1322-1327.
- Özkan, A., Altan, M., Banar, M. ve Ayday, C. (2005a), "Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Tıbbi Atık Toplama Rotalarının Belirlenmesi", *III.Ulusal Katı Atık Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, 359-366.
- Özkan, A., Altan, M., Banar, M. ve Ayday, C. (2005b), "Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Katı Atık Depolama Sahasında Kirlilik Dağılımının İncelenmesi", *III.Ulusal Katı Atık Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, 1-9.
- Pearce, D.W. ve I. Brisson, (Ed. R.E. Hester ve R.M. Harrison), (1995), *The Economics of Waste Management, Waste Treatment and Disposal*, The Royal Society of Chemistry, UK.
- Pearn, W. (1989), "Approximate solutions for the capacitated arc routing problem", *Comput. Oper. Res.*, **16(6)**, 589-600.
- Powell, J. (1996), "The evaluation of waste management option", *Waste Manage. Res.*, **14(6)**, 515-526.

- Rogers, M. ve Bruen, M., (2000), "Using ELECTRE III to Choose Route For Dublin Port Motorway", *J. Transp. Eng.*, 313-323.
- Ronen, R., Kellerman, A. ve Lapidot, M. (1983), "Improvement of a solid waste collection system: the case of Givatayim-Israel", *Appl. Geogr.*, **3(2)**, 133-144.
- Saaty T. L. (1994), *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*, RWS Publications, Pittsburgh, PA, USA.
- Schrage, L. (2005), *Optimization Modelling with LINGO*, Lindo Systems Inc., USA.
- Sellers, M. (2002), "Landfill Site Selection in Ramsey County-Minnesota", *Geography at Guelph*.
- Sesören, A. (1999), *Uzaktan Algılamada Temel Kavramlar*, Mart Matbaacılık, İstanbul.
- Sha'ato, R., Aboho, S.Y., Oketunde, F.O., Eneji, I.S., Unazi, G. ve Agwa, S. (2007), "Survey of solid waste generation and composition in a rapidly growing urban area in Central Nigeria", *Waste Manage.*, **27(3)**, 352-358.
- Sharma, M. ve Mcbean, E. (2007), "A methodology for solid waste characterization based on diminishing marginal returns", *Waste Manage.*, **27**, 337-344.
- Shaw, P.J., Lyas, J.K. ve Hudson, M.D. (2006), "Quantitative analysis of recyclable materials composition: Tools to support decision making in curbside recycling", *Resour. Conserv. Recy.*, **48**, 263-279.
- Shih, L. ve Chang, H., A (2001), "Routing and Scheduling System for Infectious Waste Collection", *Environ. Model. Assess.*, **6**, 261-269
- Siddiqui, M.Z., Everett, J.W. ve Vieux, B.E. (1996), "Landfill Siting Using Geographic Information Systems: A Demonstration", *J. Environ. Eng.*, **122 (6)**, 515-523.
- Şahin, A. (2002), *Eskişehir Evsel Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Farklı Analiz Teknikleriyle Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Şahin, A. (1999), *Eskişehir Evsel Katı Atıklarından Havalı Kompostlaştırma Yöntemi ile Kompost Eldesi*, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- Tabasaran, O. (1990), *Kompostlamanın Tarifî ve İşlemi, Katı Atık Tanımı, Toplanması ve Uzaklaştırılması Kurs Notları*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Tam, C.M., Tong, T.K.L. ve Lau, C.T. (2003), "ELECTRE III in evaluating performance of construction plants: case study on concrete vibrators", *Constr. Innovat.*, **3**, 45-61.
- Tanskanen, J., ve Melanen, M. (1999), "Modelling separation strategies of municipal solid waste in Finland", *Waste Manage. Res.*, **17**, 80-92.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. ve Vigil, S. (1993), *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Teixeira, J., Antunes, A.P. ve Sousa, J.P. (2004), "Recyclable Waste Collection Planning-a case study", *Eur. J. Oper. Res.*, **158(3)**, 543-554.
- Tınmaz, E. ve Demir, İ. (2006), "Research on solid waste management system: To improve existing situation in Çorlu Town of Turkey", *Waste Manage.*, **26**, 307-314.
- Tung, D.V. ve Pınnoi, A. (2000), "Vehicle Routing-Scheduling for Waste Collection in Hanoi", *Eur. J. Oper. Res.*, **125**, 449-468.
- Turoğlu, H. (2000), *Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları*, Acar Matbaacılık, İstanbul.
- Türk Standartları Enstitüsü, (2003a), TS EN ISO 14041: *Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Amaç ve Kapsam Tarifî ile Envanter Analizi*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, (2003b), TS EN ISO 14042: *Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi*, Ankara.
- Ulusoy, G. (1985), "The fleet size and mix problem for capacitated arc routing", *Eur. J. Oper. Res.*, **22**, 329-337.

Vatalis, K. ve Manoliadis, O. (2002), "A two-level multicriteria DSS for Landfill Site Selection Using GIS: Case Study in Western Macedonia, Greece", *J. Geogr. Inf. Decis. Anal.*, **6(1)**, 49-56.