

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR AMBALAJ ATIKLARI YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Nusret KÖSE, Deniz SUN, Merve TULUM, Ali Yücel TÜREGÜN*, Cansu YAMANER, Ömer KIRCA, Haldun SÜRAL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
nusretkose@gmail.com, dnzsun@gmail.com, merve.tulum@yahoo.com, turegun@metu.edu.tr, cansuyamaner@gmail.com,
kirca@metu.edu.tr, hsural@metu.edu.tr

Geliş Tarihi: 05.11.2014; Kabul Ediliş Tarihi: 22.05.2015

ÖZ

Çankaya Belediyesi ile birlikte yürütülen bu çalışmanın konusu, ambalaj atıkları yönetimi kapsamında çeşitli kararların alınmasında karar vericilere yardımcı olacak bir sistem geliştirmektir. Amaç, Çankaya'da ambalaj atıklarını ayrıştırma ve toplama maliyetlerini enazlarken toplanan ambalaj atığı miktarını ençoklamaktır. Bunun için ambalaj atıklarının ayrıştırılmasına ve toplanmasına yönelik dört farklı alternatif geliştirilmiştir. Alternatifleri değerlendirmek üzere Bahçelievler, Yukarı Bahçelievler ve Emek pilot bölge olarak seçilmiştir. Farklı toplama biçimlerine dayanan alternatifler için sisteme girecek potansiyel ambalaj atığı miktarlarının tahmininde deney tasarımı, bulanık sayı ve karışım tasarımı yöntemlerinden yararlanılmıştır. Her alternatif için en uygun toplama birimleri, bu birimlerin yerleri ve kapasiteleri belirlenmiştir. Toplama birimlerinin yerlerinin belirlenmesinde küme kapsama ve atama probleminden yararlanılırken, birimlerin kapasite tayinlerinde sisteme girecek tahmini ambalaj atığı miktarları kullanılmıştır. Sonunda, tüm alternatifler için yatırım ve işletim maliyetleri hesaplanmış, alternatifler toplam maliyet, getiri ve toplanan ambalaj atığının miktarındaki artış üzerinden kıyaslanmıştır. Bütün alternatiflerin mevcut sisteme göre oldukça etkin çözümler verdiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüştürülebilir atık yönetimi, ambalaj atıklarının toplanması ve ayrıştırılması, yönetim sistemi tasarımı

A RECYCLABLE PACKAGING WASTE MANAGEMENT SYSTEM DESIGN

ABSTRACT

The subject of this study, which is conducted with the collaboration of Çankaya Municipality, is to build a system helping the decision makers to make decisions about packaging waste management. The purpose is to maximize the amount of packaging waste while minimizing the cost of collection and decomposition of packaging waste. In order to achieve this purpose, four different alternatives are suggested for collection and decomposition of packaging waste. Bahçelievler, Yukarı Bahçelievler, and Emek are chosen as a pilot region to evaluate these alternatives. For all alternatives, experimental design, fuzzy number, and mixture design methods are used to forecast the potential packaging waste amounts to be collected. Plus, the most appropriate collection units and the locations and capacity of these units are determined. While set covering and assignment problems were used to determine the location of collection units, forecasted packaging waste amounts were used to set the capacity of these units. Besides, all investment and operational costs are calculated for each alternative and the alternatives are compared according to their total costs, profits, and the increase in the collected packaging waste amount. It is observed that all the alternatives result in better solutions compared to the current system.

Keywords: Recyclable waste management system, collection and decomposition of packaging waste, management system design

* İletişim yazarı

34. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda üçüncülük ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayım politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, Çankaya Belediyesi'nin geri dönüştürülebilir ambalaj atıklarının ayrıştırılması ve toplanması sürecinin yönetimi için gerekli kurulum, işletim ve mali kararların alınmasında karar vericilere yardımcı olacak bir ambalaj atıkları yönetim sistemi tasarlamaktır. Daha geniş anlamıyla, kağıt, plastik, cam ve metal gibi atıkların yönetiminde ve karar verme süreçlerinde belediyelerin kullanabileceği bir öneri geliştirmektir. Belediyeler her ne kadar atık yağ ve atık pil gibi geri dönüştürülebilir veya tekrar kullanılabilir atıkları toplamakla yükümlü olsalar da bunların toplanması ve tekrar kazanılması, sözü edilen ambalaj atıklarından daha farklı süreçlerle gerçekleştirildiği için birlikte ele alınmamış, çalışmanın kapsamı ambalaj atıkları ile sınırlandırılmıştır.

Makalenin ikinci bölümünde, ambalaj atıkları, geri dönüştürülebilir atıklar ve katı atıklarla ilgili literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, mevcut geri dönüştürülebilir ambalaj atıkları toplama sistemi analiz edilmiş ve tespit edilen problemin formülasyonu dördüncü bölümde yapılmıştır. Beşinci bölümde, problemin çözümü için geliştirilen yaklaşımlar anlatılmıştır. Altıncı bölümde, maliyet ve getiri analizi açıklanmış; yedinci bölümde uygulama planı ortaya konmuş ve son bölümde de sonuç ve beklentilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çankaya Bölgesi'nde oluşan toplam ambalaj atığı miktarlarının belirlenmesi ve yönetim sistemi geliştirilmesi için yapılan literatür araştırmasında, Avrupa ülkelerinde üretilen ambalaj atığı bileşenlerinin Türkiye'dekilerden farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Bu nedenle, literatür araştırmasında ağırlıklı olarak Türkiye'deki şehirler için yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Maalesef, Ankara için yapılmış ambalaj atığı yönetimiyle ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Demir vd. (2001), Yenimahalle Belediyesi için yapmış oldukları çalışmada, katı atıkların toplanması ve taşınması için bir sistem tasarlamıştır. Ayrıca, teknolojik yatırımların belirlenmesi, kapasite tayini, araç rotalama, kaynak planlaması ve mali değerlendirmeler yapılmış-

tir. Ancak, bu çalışmada geri dönüştürülebilir ambalaj atıkları dikkate alınmamıştır.

Metin, Eröztürk ve Neyim (2003), belediyelerle yapılan bir anket çalışmasıyla, geri dönüştürülebilir atık çeşitlerinin ve miktarlarının mevsimlere bağlı değişimiyle ilgili verileri tartışmıştır. Ayrıca, farklı toplama çeşitlerinin maliyetleri ve getirileri hakkında da aylık tahminler yapmıştır. Bunların arasında, Türkiye'de bir günde üretilen atık miktarı, geri dönüştürülebilir atıkların yüzdeleri, kişilerin geri dönüşüme katılım yüzdeleri ve toplanan geri dönüştürülebilir atıkların içerikleri gibi veriler toplu olarak yer almaktadır. Çalışmada, belirli bir zaman ufku gözetilmemiş ve nüfus artışı ve farklı toplama biçimleri gibi geri dönüşüme katılımı etkileyecek faktörler göz önünde bulundurulmamıştır.

Adenso-Díaz ve González-Torre (2005), ambalaj atıklarını geri dönüşüm kutularına atmak için yürünen mesafe ile geri dönüşüm alışkanlığı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Aydın vd. (2008), evsel atık toplama ağının tasarlanmasına ve geri dönüşüm sistemlerinin iyileştirilmesine odaklanmıştır. Geri dönüşüm araçlarının rotalanması ve ambalaj atıklarının ayrışması sürecinde önemli rol oynayan palet atölyesinin planlanması yapılmıştır. Ancak, bu çalışma konteyner yeri ve kapasitesi, maliyet analizi, sosyal getiriler, araç sayısı ve kapasitesi gibi konulara değinmemiştir. Ağdağ (2009), Denizli'de eski ve yeni katı atık sistemlerini karşılaştırmış, katı atıkların kırılımlarını işlemiş, kaynağında toplanılan geri dönüşüm atıklarının artması durumunda ortaya çıkabilecek getirileri ve zorlukları tartışmıştır.

Banar, Çokaygil ve Özkan (2009), Eskişehir için bir evsel katı atık yönetim stratejisini belirlemek için 'yaşam döngüsü değerlendirmesi' yöntemini kullanmıştır. Beş farklı alternatif senaryo geliştirilmiştir. İlki, mevcut sisteme ek bir depolama alanı ve bir ayrıştırma tesisi kurulmasıdır. Bu senaryoda, depolanan atık ve geri dönüşüm yüzdeleri mevcut sistemdeki kadar alınmıştır ve ayrıştırma tesisinde ayrıştırılan organik atıklar depolama alanına, diğer atıklar ise geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir. İkinci senaryoda, ilk senaryoya ek olarak %50 verimli bir kaynaktan ayırma sistemi kurulmuştur. Üçüncü senaryoda, ayrıştırılan organik atıkların belli bir yüzdesi depolama alanına, kalan yüzdesi ise kompost-

lama tesisine gönderilmektedir. Dördüncü senaryoda, geri dönüştürülemeyen tüm atıklar çöp yakma fırınlarına gönderilmektedir. Son senaryo için ise tüm evsel katı atıkların çöp yakma fırınlarına gönderildiği düşünülmüştür. Bu senaryoların küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon ve fotokimyasal ozon incelmeleri üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Bu makalede, katı atık yönetiminin çevresel etkileri işlenirken, katı atık yönetim sisteminin tasarımı ve sistemin ekonomik boyutu ele alınmamıştır.

Beliën, De Boeck ve Van Ackere (2014), araç rotalama problemlerine odaklanarak literatürdeki katı atık yönetim problemlerini incelemiş ve bu konuda henüz çalışılmamış konulara değinirken literatürdeki yönelimlerden de bahsetmiştir. Ghiani vd. (2014), katı atık yönetiminde stratejik ve taktiksel konular için yöneylem araştırması literatürünü incelemiş, geniş bir literatür taraması sunmuş ve farklı problemler arasındaki ilişkiyi tanımlamıştır.

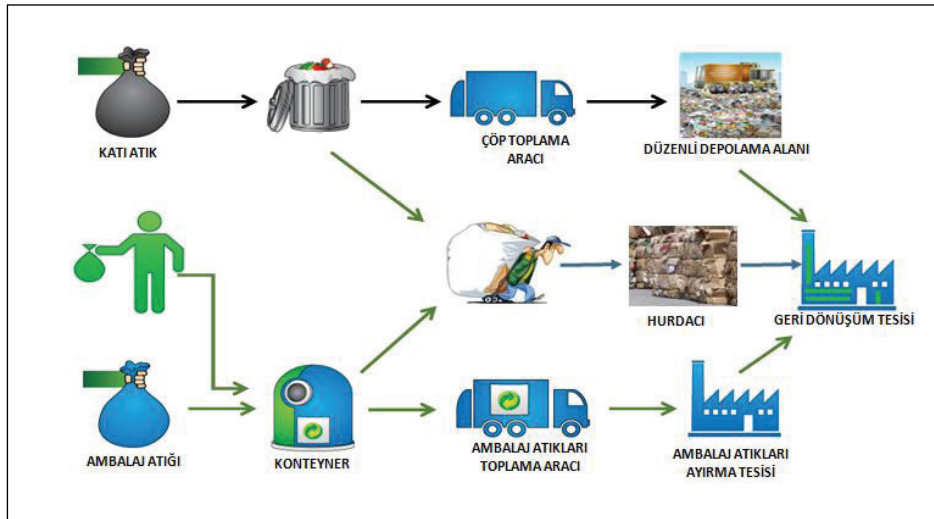
Geri dönüştürülebilir ambalaj atıklarının sistem tasarımı için yaptığımız literatür araştırmaları sonucunda, yukarıda bahsedildiği gibi, sistemin bütününe ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. MEVCUT GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR AMBALAJ ATIKLARI TOPLAMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

Çankaya Belediyesi, nüfus ve sosyo-ekonomik gelişim açısından Türkiye'nin önde gelen ilçe belediyelerinin

den biridir. Çankaya'da çok sayıda işyeri ve haneyle birlikte birçok AVM, resmi ve askeri kurum bulunmaktadır. Belediye, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2011 yılında yayımladığı "Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" uyarınca, kaynağında ayrıştırılmış ambalaj atıklarını ayrı toplayıp/toplatıp geri dönüşümünü sağlamakla yükümlüdür. Oysa, Çankaya ilçesi sakinlerinin eğitim durumu ve bilinç düzeyine kıyasla yetersiz ve verimsiz toplanan ambalaj atıkları, hem belediye hizmetlerinden memnuniyeti azaltırken hem de çevreye ve ekonomiye büyük ölçüde zarar vermektedir.

Ambalaj atıkları iki şekilde sisteme girmektedir. İlk olarak, kaynağında ayrıştırılan ambalaj atıkları geri dönüşüm konteynerlerine atılır ve bunlar, lisanslı toplama ve ayrıştırma firmasının araçları ile toplanarak ayrıştırma tesisine gönderilmektedir. Burada, farklı türlerdeki ambalaj atıkları (kâğıt, plastik, cam ve metal) gruplanarak ikincil hammaddeye dönüştürülmek üzere geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir. İkinci olarak, ambalaj atıkları çöp konteynerlerine diğer evsel atıklar ile birlikte atılmaktadır. Biriken atıklar, belediyenin çöp toplama aracı ile toplanarak düzenli depolama alanlarına götürülmektedir. Düzenli depolama alanlarında geri dönüştürülebilir atıklar diğer atıklardan ayrılarak geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir. Ancak, bu süreçte bazı geri dönüştürülebilir atıkların yapısı kısmen bozulduğu için bu atıklardan elde edilen verim, kaynağında ayrıştırmaya göre çok daha düşük olarak gerçekleşir. Sistemin diğer bir bileşeni olan sokak toplayıcıları ise iki durumda da



Şekil 1. Mevcut Sistemde Ambalaj Atıklarının Sistemdeki Hareketi

ortaya çıkmaktadır ve hem geri dönüşüm konteynerlerinden hem de çöp konteynerlerinden topladıkları ambalaj atıklarını yasadışı olarak hurdacılar satmaktadır. Hurdacılar da aldıkları ambalaj atıklarını geri dönüşüm tesislerine yollayarak atıkların geri dönüşümünü tamamlamaktadırlar. Ambalaj atıklarının sistemdeki ilerleyişi Şekil 1'de verilmiştir. Sistemin temel unsurları, bunların sorumlulukları ve fonksiyonları ve ilgili terminoloji ise aşağıda tartışılmıştır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı: “Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği”nin hazırlanmasında ve paydaşların sistem içindeki aktivitelerinin denetiminden sorumludur.

Piyasaya Sürenler: Ambalaj atıklarının üreticileri, yönetmelik gereğince, ürettikleri miktarın belli bir oranını “kırleten öder” prensibiyle geri toplamak ya da toplatmakla yükümlüdür. 2014 yılı için bu oran %42’dir ve her yıl ortalama %2 oranında artmaktadır.

Yetkilendirilmiş Kuruluş (ÇEVKO - Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı): Piyasaya sürenler, ambalaj atıklarını toplama yükümlülüklerini Bakanlık tarafından yetkilendirilmiş başka bir kuruluşa devredebildikleri için yükümlülüklerini ÇEVKO aracılığıyla gerçekleştirmektedir. ÇEVKO, piyasaya sürenlerden elde ettiği gelire, belediye ile

işbirliği içinde bilinçlendirme çalışmaları yapmakta ve konteynerleri sağlamaktadır.

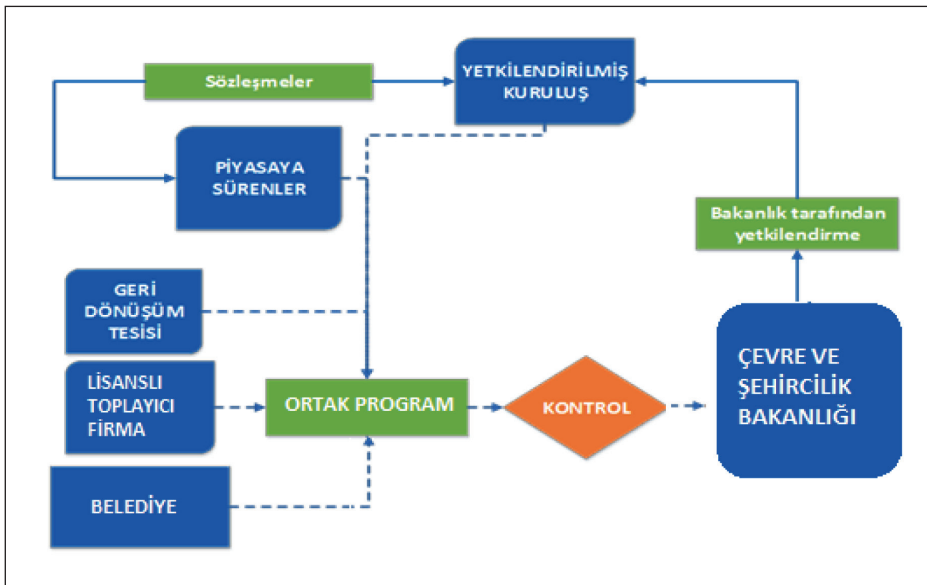
Çankaya Belediyesi: Belediye, kaynağında ayrıştırılmış ambalaj atıklarını ya kendi toplayarak ya da lisanslı firmalar ile anlaşarak toplattırılması ile yükümlüdür.

Lisanslı Toplama ve Ayrıştırma Tesisleri (SİMAT): İlçe sınırları içindeki geri dönüşüm faaliyetlerini yürütmekle görevlendirilmiş SİMAT’ın faaliyetleri belediye tarafından denetlenmektedir. Hizmet bedeli, topladığı miktara göre ÇEVKO tarafından karşılanmaktadır.

Geri Dönüşüm Tesisleri (GDT): Toplanan ambalaj atıklarını geri dönüştürerek, ikincil hammadde olarak ekonomiye katılmasını sağlar.

Sokak Toplayıcıları: Sistemde önemli bir bileşen olan sokak toplayıcıları, belediyenin geri dönüşüm faaliyetlerine doğrudan etki ettiği için sistemin bir paydaşı olarak değerlendirilmiştir. Kurumsal paydaşlar arasındaki ilişkiler Şekil 2’de özetlenmiştir.

Çankaya Sakinleri: Belediye sınırları içerisinde ikamet eden kişiler, kurulacak olan sistemden etkileneneği ve sistemi etkileyeceği için sistemin bir diğer paydaşı olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Kurumsal Paydaşlar Arasındaki İlişkiler

İlde Yaşayan Diğer Yurttaşlar ve Turistler: Çankaya Belediyesi, birçok özel ve resmi kuruma ev sahipliği yaptığı için gün içinde diğer ilçelerden çok sayıda kişiyi ağırlamaktadır. Bu sebeple, bu kişiler de sisteme bir şekilde dahil olacağı için paydaş olarak belirlenmiştir.

Çankaya Belediyesi Ambalaj Atıkları Toplama Sistemi'nde gerçekleştirilen çeşitli incelemeler ve analizler sonucunda dört önemli problem belirtisi gözlemlenmiştir. İlk olarak, ilçe sakinlerinin ambalaj atıklarının biriktirildiği geri dönüşüm konteynerlerine ulaşılabilirliğinin çok düşük olduğu saptanmış, konteynerlere yürüme mesafesi uzadıkça sistemin performansının düştüğü gözlemlenmiştir. İkinci olarak, toplama faaliyetlerinden sorumlu lisanslı firma SİMAT'ın, ambalaj atıkları toplama araçları incelendiğinde, araçların doluluk oranlarının çok düşük seviyelerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, sistemin verimliliğini etkileyen önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Üçüncü olarak, gerçekleştirdiğimiz anket çalışmalarının yardımıyla, ilçe sakinlerinin geri dönüşüm faaliyetleri ile ilgili yeterince bilgilendirilmediği, ÇEVKO ve belediyenin birlikte yürüttüğü bilinçlendirme çalışmalarının yetersizliği nedeniyle gerek ekonomik getirisi, gerekse çevresel açıdan faydalarının ilçe sakinleri tarafından bilinmediği saptanmıştır¹. Ayrıca, geri dönüşüm konteynerlerinin doluluğu nedeniyle ambalaj atıklarının bir kısmının konteynerlerden etrafa yayıldığı gözlemlenmiştir. Son olarak, bölgede yaklaşık 8000 sokak toplayıcısının bulunduğu tahmin edilmektedir ve bunların varlığının sistemi önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Belediyenin toplayıcılara uyguladığı sınırlı yaptırımlar ve toplayıcıların bu işten önemli ölçüde gelir elde etmeleri, sokak toplayıcılarının sayısının her geçen gün daha da artmasına yol açmaktadır.

Çalışma kapsamında yürütülen literatür araştırmaları

ve örnek alınabilecek uygulamaların incelenmesiyle, farklı toplama biçiminin geliştirilmesi gündeme gelmiş; uyguladığımız anketler ve mevcut durumun detaylı bir şekilde incelenmesi sonucunda, ilçe sakinlerinin sisteme ulaşılabilirliğini gözetten bir çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir.

4. PROBLEM FORMÜLASYONU

Mevcut sistem için daha önce üçüncü bölümde tartışılan dört temel problem belirtisi saptanmıştır: Konteynerlere ulaşılabilirliğin düşük olması, toplayıcı firmanın ambalaj atıklarının sadece %14'ünü toplaması, toplama araçlarının doluluk oranlarının düşük olması ve sokak toplayıcılarının konteynerlerden atıkları alması. Tablo 1'de, seçilmiş bölgelerdeki (bölgenin yüz ölçümünü konteyner sayısına bölerek) konteynerlerin kapsama alanları hesaplanmıştır. Tablo 1'e, göre kapsama alanlarının Gaziosmanpaşa'da çok küçükken İşçi Blokları'nda çok büyük çıkması, konteynerlerin kapsama alanları gözetilmeksizin yerleştirildiğini göstermektedir. Bunun da konteynerlere ulaşılabilirliği olumsuz yönde etkilediği söylenebilir.

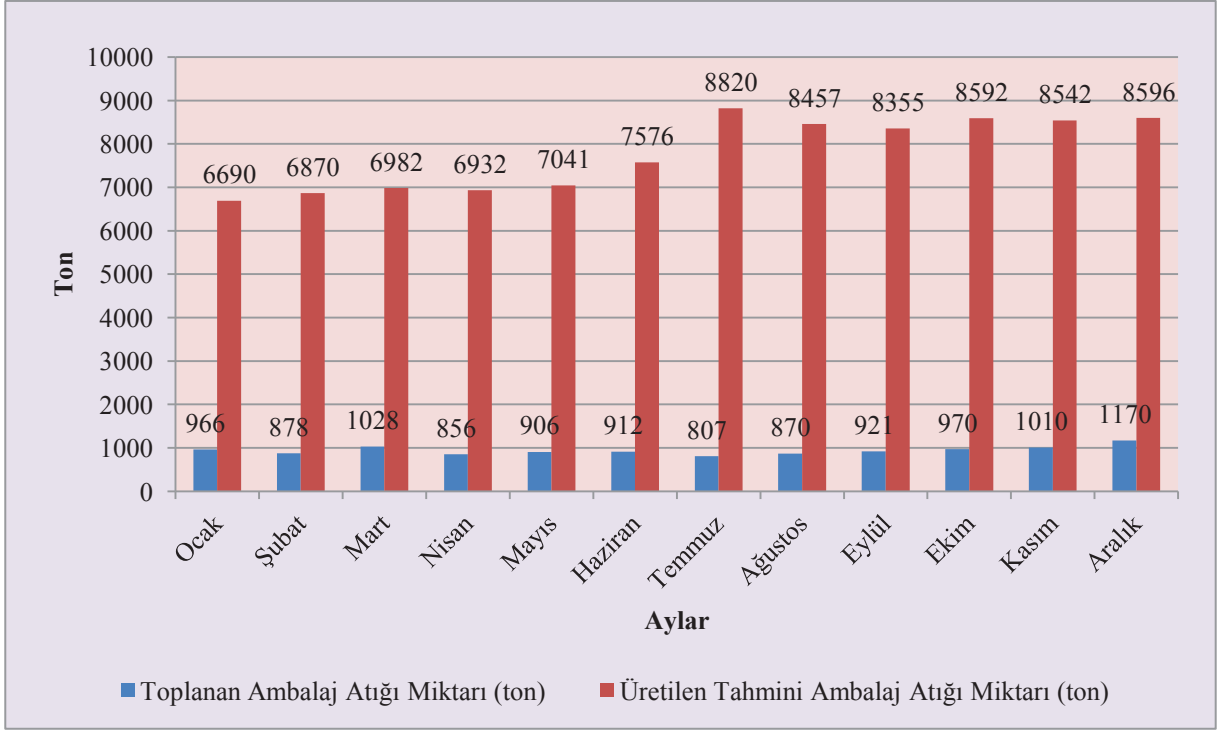
Şekil 3'te, 2012 yılına ait toplanan ve tahmini olarak üretilen ambalaj atığı miktarı gösterilmiştir. Buna göre toplayıcı firma, oluşan ambalaj atıklarının sadece çok küçük bir kısmını toplayabilmektedir.

Bölgelerde konteynerle toplanan ambalaj atığı miktarlarına, bölgelere atanmış araçlara ve bu araçların rotalarına bakıldığında, araç kapasitelerinin etkin kullanılmadığı anlaşılmıştır. Şekil 4'te, bazı kurumlara ve bölgelere atanmış araçların doluluk oranı gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi, Emek için görevlendirilmiş araç %59 doluluk oranıyla en yüksek değeri alırken, Balgat için görevlendirilmiş araç %15'lik oranla en düşük değere sahiptir.

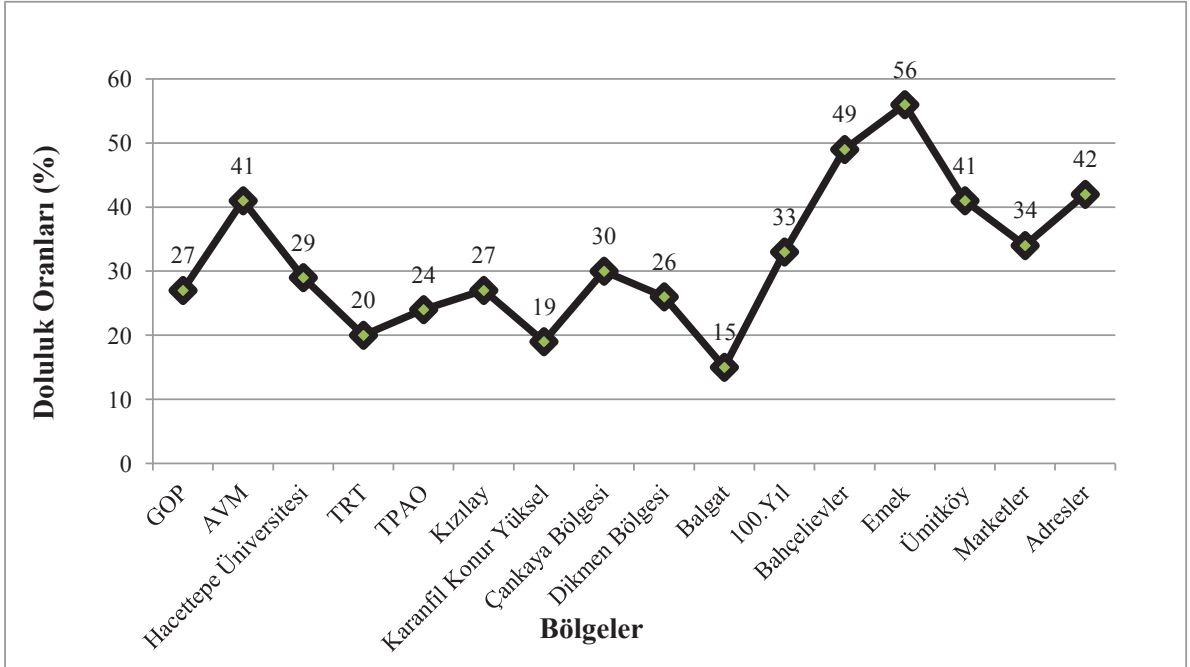
Tablo 1. Seçilmiş Bölgelerin Alanı, Konteyner Sayısı ve Kapsama Alanları

	Alan (m ²)	Konteyner Sayısı	Kapsanan Alan (m ²)
Çankaya	108.347.400	799	135.604
Gaziosmanpaşa	487.000	38	12.816
İşçi Blokları	1.667.300	1	1.667.300

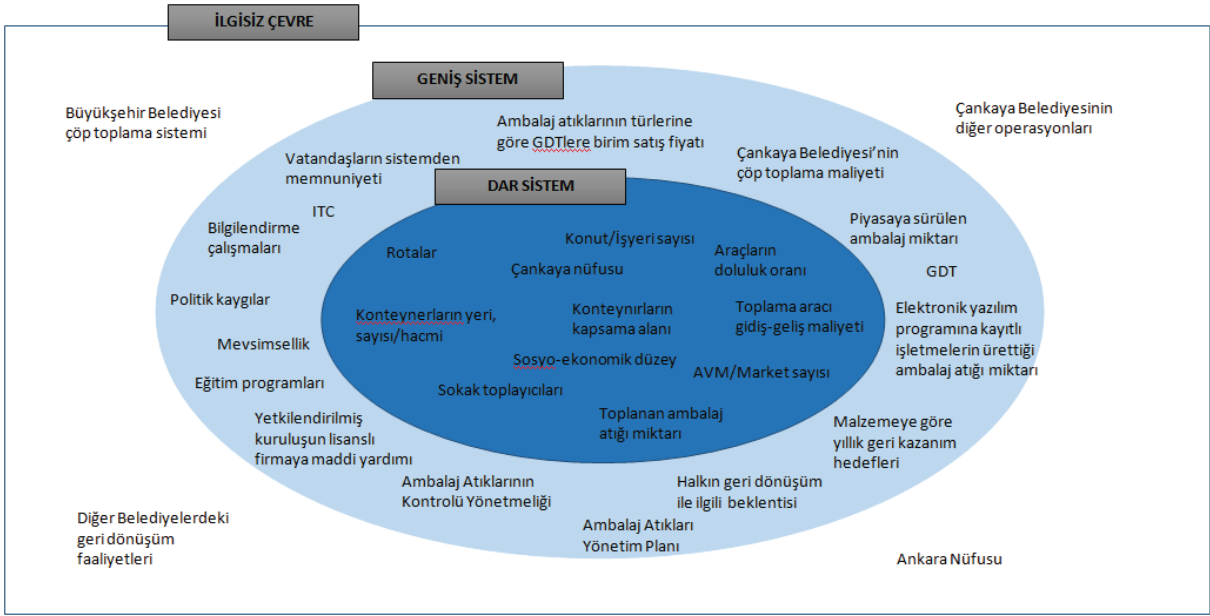
¹ Bu izlenimler 100. Yıl, Bahçelievler, Emek, Dikmen, Yukarı Bahçelievler semtlerinde Şubat-Mart 2014'te yapılan çeşitli görüşmelerde edinilmiştir.



Şekil 3. 2012 Yılı Toplanan ve Üretilen Tahmini Ambalaj Atığı Miktarları



Şekil 4. Bazı Kurum ve Bölgelere Atanmış Araçların Doluluk Oranı (%)



Şekil 5. Ambalaj Atıkları Yönetim Sisteminin Temel Aldığı Sistem Hiyerarşisi

Şekil 5'te, ambalaj atıkları yönetim sisteminin temel alacağı sistem hiyerarşisi gösterilmiştir. Sistemin karar vericisi, Çankaya Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü'dür. Çalışmada, ambalaj atıklarının kaynağında ayrıştırılması ve Çankaya İlçesi temel alındığı için konteyner sayısı ve hacmi, araç rotaları, konteynerlerin kapsama alanları gibi kontrol edilebilir girdiler dar sistemde incelenmiştir. Kontrol edilebilir girdilerin yanı sıra, sosyo-ekonomik düzey, sokak toplayıcıları, AVM/market sayısı, maliyetler, konut/işyeri sayısı, Çankaya nüfusu gibi karar vericinin kontrolünde olmayan girdiler de dar sistemde incelenmiştir. Dar sisteme kontrol edilemeyen girdileri sunan unsurlar, geniş sisteme dahil edilmiştir. Her ne kadar geri dönüştürülebilir ambalaj atıkları toplama sistemiyle ilişkisi bulunmasına rağmen, bu çalışma için çok da önemli girdiler sunmayan Ankara nüfusu, diğer belediyelerdeki geri dönüşüm çalışmaları, büyükşehir belediyesinin çöp toplama sistemi ve Çankaya Belediyesi'nin diğer operasyonları gibi girdiler ilgisiz çevreye dahil edilmiştir. Yönetmelikler ve bütçe, bu sistemdeki en önemli iki kısıttır.

Bu belirtiler ve tanımlanan sistem hiyerarşisi ışığında, problem, işletim maliyetleri ve vatandaş memnuniyetini gözetirken toplanan ambalaj atığı miktarını

artırabilecek etkili ve etkin bir ambalaj atıkları yönetim sisteminin tasarlanması olarak belirlenmiştir. Yönetim sistemiyle, toplama sıklığına, gerekli kaynak miktarına, kaynak kapasitesine ve toplama biçimine karar verilecektir. Bu kararları verirken, üretilen ambalaj atığı miktarına göre toplanan ambalaj atığı miktarındaki iyileşme, birim toplama maliyetindeki iyileşme, konteyner kapsama alanlarındaki iyileşme ve araçların doluluk oranındaki iyileşme, karar kriterleri olarak belirlenmiştir. Değerlendirme için de toplanan/üretilen ambalaj atığı oranı, birim toplama maliyetindeki düşüş, konteyner kapsama alanlarındaki azalış ve araç doluluk oranlarındaki artış gibi metrikler performans ölçütleri olarak tanımlanmıştır.

Sokak toplayıcılarının bu çalışmadaki zorlayıcı unsurlardan biri olduğu söylenebilir. Hem kesin sayıları hem de topladıkları ambalaj atığı miktarı bilinmemektedir. Bunun yanı sıra, işlemlerin yol açtığı kirlilik, vatandaş memnuniyetini hayli düşürmektedir. Çalışmadaki bir diğer zorluk ise sistemde oldukça farklı amaçlara sahip birçok paydaşın yer almasıdır. Bu paydaş ilişkilerini anlayıp ortaya çıkarmak ve sistemle ilgili verilerin sağlıklı bir şekilde derlenip toplanamaması çalışmayı zorlaştıran önemli unsurlardır.

5. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Dördüncü bölümde formüle edilen problemin çözümü için geliştirilen yaklaşım altı adımda tartışılmıştır.

5.1 Pilot Bölgenin Belirlenmesi

Pilot bölge olarak Emek, Bahçelievler ve Yukarı Bahçelievler seçilmiştir. Bunun başlıca dört nedeni vardır. İlk olarak, pilot bölgedeki sokakların düzeninin ve apartmanlardaki daire sayısına ilişkin verilerin/bilgilerin sağlayacağı kolaylıklardır. Örneğin sokakların düzeni, bölgeyi sokak bazlı alt bölgelere ayırmada, her apartmana düşen daire sayısının ortalamaya yakın olması ise alt bölgelerin nüfuslarının hesaplanmasında yardımcı olmuştur. İkinci olarak, bu bölgede oluşan katı atık miktarıyla ilgili veriler diğer bölgelere göre daha düzenli bir şekilde tutulduğundan, bölgede oluşan toplam katı atık miktarı daha sağlıklı belirlenebilmiştir. Üçüncü olarak, bölgenin sosyo-ekonomik düzeyi yüksek olduğu için oluşacak ambalaj atığı miktarları da yüksek olacaktır. Böylece, hedeflenen sisteme yakın bir yapı üzerinde çalışılmış olacaktır. Son olarak, bölgedeki hane sayısının yoğunluğu ve büyük alışveriş merkezlerinin bulunmamasının, haneden çıkan ambalaj atıklarına ağırlık veren çalışmamız için uygun olduğu düşünülmüştür.

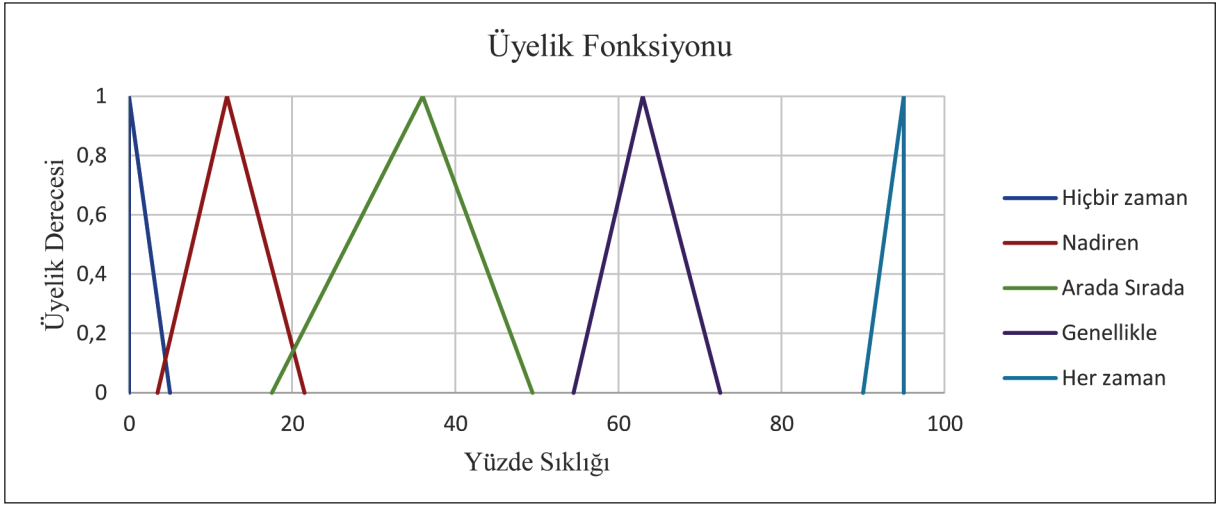
5.2 Ambalaj Atığı Toplama Alternatifleri

Ambalaj atıkları yönetim sistemi için dört farklı ambalaj atığı toplama alternatifi geliştirilmiştir: Merkez yerlerden konteynerle toplama (Merkezden toplama), her sokaktan konteynerle toplama (Sokaktan toplama), her apartman ya da siteden aparat ve poşetle toplama (Apartmandan toplama) ve poşetle kapıdan toplama (Kapıdan toplama)'dır. Bu çerçevede, ilçe sakinlerinin geri dönüşüme katılma oranları sisteme farklı ulaşılabilirlik düzeylerine göre belirlenmiştir. Her alternatif için, 2015'le başlayan beş yıllık bir planlama ufkunda, potansiyel ambalaj atığı miktarlarının tahmin edilmesi, son iki toplama alternatifi için potansiyel konteyner yerlerinin saptanması ve kapasite gereksinimleri göz önünde bulundurularak gerekli kaynak planlamasının yapılması gerekmiştir.

5.3 Alternatifler İçin Ambalaj Atığı Tahmini

Kapasite tayini ve kaynak planlamasına yönelik sisteme geri dönecek ambalaj atığı miktarının her alternatif için tahmin edilmesi gereklidir. Hane halkının ambalaj atıklarını ayırma davranışı, bu tahmindeki en önemli değişkenlerden biridir. Hane halkının farklı alternatifler için nasıl davranış göstereceğini anlamak amacıyla, 260 kişinin katıldığı kapsamlı bir anket çalışması yapılmıştır. Katılımcıların farklı toplama alternatifleri için ne sıklıkla ambalaj atıklarını ayıracaklarını öğrenmek en önemli sorulardan biridir. Bunun için, katılımcıların ne sıklıkta ambalaj atıklarını ayıracaklarını gözlemleyerek sürekli ölçmek yerine, ayırma sıklıklarını belirten beş zaman zarfıyla (her zaman, ara sıra, bazen, nadiren ve hiçbir zaman) hazırlanan bir soru sorulmuştur. Hane halkının davranışının yanı sıra, evsel atıktaki ambalaj atığı yüzdesi, aylık evsel katı atık miktarı ve zaman zarflarının yüzde karşılıkları değişkenler olarak belirlenmiştir. Güvenilir bir tahmin yapabilmek için deney tasarımı tekniğinden faydalanılmıştır. Bağımlı değişken, her alternatif için sisteme dahil olacak ambalaj atığı miktarı olarak belirlenirken, aylık evsel katı atık miktarı, evsel katı atık miktarındaki ambalaj atığı yüzdesi, her alternatif için belirli bir zaman zarfını seçen kişi yüzdesi ve her zaman zarfının yüzde karşılığı faktör olarak belirlenmiştir.

Evsel katı atık miktarı günden güne arttığı için aylık atığın en yüksek seviyeye ulaştığı Temmuz 2012 verisi kullanılmış ve bu verinin $\pm \%10$ 'luk sapması düşünülerek evsel katı atık miktarı için üç seviye belirlenmiştir. Evsel katı atıktaki ambalaj atığı yüzdesi için ise $\%20$, $\%22,5$ ve $\%25$ gibi üç oran belirlenmiştir. Ankette zaman zarfları kullanıldığı için sonuçları sayısal değerlere çevirmek için küçük çaplı ikinci bir anket daha yapılmıştır. İkinci ankette 'sürekli ölçek' kullanılmış ve katılımcılara, zaman zarflarının sıklık olarak 0 ile 100 arasında nereye denk geldiği sorulmuştur. Bu sayede, zaman zarfları üçgen bulanık sayı olarak ifade edilebilmiştir. 'Her zaman' ve 'hiçbir zaman' zarfları için iki seviye (en yüksek ve en düşük noktalar) belirlenirken, diğer zaman zarfları için üç seviye (en düşük, en yüksek ve üçgenin tepe noktası) belirlenmiştir. Anket sonuçlarına dayalı üyelik fonksiyonu Şekil 6'da belirtildiği gibi oluşmuştur.



Şekil 6. Üyelik Fonksiyonu

Noktalar aşağıdaki gibi temsil edilmiştir.

Hiçbir zaman = [0; 5], Nadiren = [3,5; 12; 21,5], Arada sırada = [17,5; 36; 49,5], Genellikle = [54,5; 63; 72,5] ve Her zaman = [90; 95]

Anket sonuçlarındaki değişkenliği dahil edebilmek için karışık tasarımdan faydalanılmıştır. Bunun sebebi, bir alternatif için belirli bir zaman zarfının yüzdesi azaldığında geri kalanlardan en az birinin artması gerekmektedir. Bir başka deyişle, her alternatif için bütün zaman zarflarının toplamı bire eşit olmalıdır. Beş ayrı zaman zarfı için üst ve alt sınırlar girilmiştir. Katılımcılarının çoğuna internet üzerinden ulaşıldığı için kitlenin yüksek sosyo-ekonomik ve yüksek sosyo-kültürel seviyeye ait oldukları varsayılmıştır. Bu sebeple, 'hiçbir zaman', 'nadiren' ve 'arada sırada' zaman zarfları için anket sonuçları alt sınır olarak kullanılırken, 'her zaman' ve 'genellikle' zaman zarfları için anket sonuçları üst sınır olarak kullanılmıştır. Minitab (Minitab Ltd., 2014, ver.

17) yardımıyla her faktör için 101 seviye belirlenmiştir. Her alternatif için sisteme dahil olacak ambalaj atığı miktarı hesaplanmıştır.

Evsel katı atık miktarı için üç, evsel katı atıktaki ambalaj atığı yüzdesi için üç, her zaman ve hiçbir zaman zarfları için iki, diğer zaman zarfları için üç ve anketteki yüzdelerin değişimi için 101 seviye kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. MATLAB (MathWorks, 2014, ver. 8.3) yardımıyla her alternatif için $101 \times 3^5 \times 2^2$ hesap yapılmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken bir yıl içinde aylık ambalaj atığı miktarının sabit kalacağı varsayılmıştır. Her alternatif için ortalama, standart sapma, en yüksek ve en düşük değerler hesaplanmıştır. Sonuçlar, Tablo 2'de verilmiştir.

2012 yılı verileri kullanılarak tahminler oluşturulduktan sonra bu tahminler, Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) Ankara için nüfus artışı verileri baz alınarak

Tablo 2. Alternatifler İçin Birikecek Ambalaj Atığı Değerlerinin Ortalaması, Standart Sapması, En Yüksek ve En Düşük Değerleri

Toplama Biçimi	Merkezden Toplama	Sokaktan Toplama	Apartmandan Toplama	Kapıdan Toplama
Ortalama	266.690	403.900	494.550	536.260
Standart Sapma	41.551	53.187	62.376	67.150
En Yüksek Değer	391.400	545.560	640.190	681.090
En Düşük Değer	169.080	288.440	37.193	412.310

Tablo 3. Pilot Bölge İçin Aylık Ambalaj Atığı Miktarı Tahmini (ton)

Toplama Biçimi	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Merkezden Toplama	276	281	286	291	295	300
Sokaktan Toplama	419	426	433	440	447	454
Apartmandan Toplama	513	521	530	539	548	556
Kapıdan Toplama	556	565	575	585	594	603

Tablo 4. Çankaya İçin Aylık Ambalaj Atığı Miktarı Tahmini (ton)

Toplama Biçimi	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Merkezden Toplama	4.106	4.178	4.249	4.319	4.389	4.458
Sokaktan Toplama	6.219	6.327	6.435	6.541	6.647	6.752
Apartmandan Toplama	7.615	7.747	7.879	8.009	8.139	8.268
Kapıdan Toplama	8.257	8.400	8.543	8.685	8.825	8.964

2019 yılına kadar genişletilmiştir. Evsel katı atık miktarının nüfusla doğru orantılı olduğu, literatür araştırmalarıyla desteklendiği için pilot bölgede ve Çankaya’da 2014-2019 yılları arasında sisteme girecek ambalaj atığı miktarları toplama biçimlerine bağlı olarak tahmin edilmiştir. Sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir. Buna göre, pilot bölge için 2019’da 300 - 603 ton, Çankaya için 4.458 - 8.964 ton atık miktarı öngörülmektedir. Sisteme girecek ambalaj atığının merkezden toplamada en az, kapıdan toplamada en fazla olacağı tahmin edilmiştir.

5.4 Potansiyel Konteyner Yerlerinin Belirlenmesi

Konteyner kullanımı yalnızca merkezden ve sokaktan toplama yöntemlerinde gerektiğinden, potansiyel konteyner yerlerinin belirlenmesi yalnızca bu iki alternatif için yapılmıştır.

Merkezden Toplama: Potansiyel konteyner yerlerinin belirlenmesinde merkezlerden kenarlara olan uzaklık 100 metre olacak şekilde, pilot bölge, 49 alt bölgeye ayrılmıştır. İkinci adımda, hangi alt bölgelere konteyner yerleştirileceğine karar vermek için bir *küme örtme modeli* oluşturulmuştur. Modelde, konteyner yerleştirilen en yakın alt bölgeye ulaşmak için gidilebilecek maksimum mesafe gözetilirken, en az sayıda konteyner kullanılarak ağırlıklı yürüme mesafesinin en aza indirilmesi amaçlan-

mıştır. Alt bölgelerin ağırlıkları ise bu bölgelerin nüfusu baz alınarak belirlenmiştir. Bu nedenle, konteynerler yerleştirilirken kalabalık alt bölgeler diğer alt bölgelere kıyasla öncelik kazanmaktadır.

Alt bölgelerin nüfusları TÜİK’ten alınan Aralık 2013 verilerine dayanarak hesaplanmıştır. Buna göre Emek, Bahçelievler ve Yukarı Bahçelievler bölgesinin toplam nüfusu 54.600, daire sayısı ise 19.861 olarak bulunmuştur. Toplam nüfus, daire sayısına bölündüğünde elde edilen 2,75 değeri, bir dairede yaşayan ortalama kişi sayısını vermektedir. Daire başına düşen ortalama kişi sayısı ve alt bölgelerdeki hane sayısı kullanılarak alt bölgelerin nüfusu hesaplanmıştır. Modelin detayları aşağıda verilmiştir.

Varsayımlar

- Her apartmanda 8 daire vardır.
- Daire başına düşen kişi sayısı 2,75’tir.
- Konteynerler alt bölgelerin merkezlerine yerleştirilir.
- İki alt bölge arasındaki uzaklık, bölgelerin merkezleri arasındaki uzaklıktır.

Parametreler

h_{ij} : i ve j alt bölgeleri arasındaki yürüme mesafesi (metre)

- k : Konteyner sayısı
 b : En yakın konteynere ulaşmak için gereken en uzun yürüme mesafesi (metre)
 p_j : j , alt bölgesinin nüfusu

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ ve } j \text{ alt bölgeleri arasındaki uzaklık } (h_{ij}), b' \text{ den kısa veya eşitse} \\ 0 & \text{Değ ilse} \end{cases}$$

Karar Değ işkenleri

$$x_i = \begin{cases} 1 & i \text{ alt bölgesine konteyner yerleştirilirse} \\ 0 & \text{Değ ilse} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ alt bölgesi konteyner yerleştirilen } j \text{ alt bölgesine atanmış ise} \\ 0 & \text{Değ ilse} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{49} \sum_{j=1}^{49} h_{ij} \times y_{ij} \times p_i \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^{49} a_{ij} y_{ij} \geq 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{49} x_i \leq k \quad (3)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \forall i \ \& \ j \quad (4)$$

$$y_{ij} = (0, 1) \quad \forall i \ \& \ j \quad (5)$$

$$x_j = (0, 1) \quad \forall j \quad (6)$$

Modelin amaç fonksiyonu (1), nüfus ağırlıklı toplam yürüme mesafesini enazlar. Kısıt (2), her alt bölgenin b 'den kısa veya eşit uzaklıkta konteynere sahip en az bir alt bölgeye atanmasını sağlar. Kısıt (3), eldeki konteynerlerden daha fazla konteyner kullanılmamasını

sağlar. Kısıt (4), bir alt bölgenin sadece konteynere sahip bir alt bölgeye atanmasını sağlar. Kısıt (5) ve (6), küme kısıtlarıdır.

Model çıktılarını birbiriyle ve mevcut durumla kıyaslamak için performans ölçütü olarak "ortalama yürüme mesafesi" seçilmiştir. "Ortalama yürüme mesafesi", amaç fonksiyonun değ erinin bölgenin toplam nüfusuna oranıyla bulunmuştur. Matematiksel model, GAMS (GAMS Development Corporation, 2014) yardımıyla geliştirilmiş ve CPLEX (IBM, 2014) ile çözülmüştür. Çözümler, en yakın konteynere ulaşmak için gidilebilecek en uzun mesafenin (b) farklı seviyeleri için tekrarlanmıştır. Bu seviyeler 250, 300, 400, 600, 800 ve 1500 metre olarak belirlenmiş ve her seviye için tüm bölgeyi kapsamak için gerekli (en az) konteyner sayısı elde edilmiştir. Farklı yürüme mesafeleri için gereken en az konteyner sayısı ve ortalama yürüme mesafesi Tablo 5'te verilmiştir.

Beklenildiğ i gibi, en yakın konteynere ulaşmak için gidilebilecek en uzun yürüme mesafesi arttıkça, tüm bölgeyi kapsayabilmek için gerekli olan en az konteyner sayısı azalmaktadır. Diğ er bir deyiş le, bölge sakinleri daha fazla yürümeye gönüllü olduklarında ortalama yürüme mesafesi artarken, gerekli konteyner sayısı azalmaktadır.

Duyarlılık analizi amacıyla model, farklı seviyeler için her defasında konteyner sayısı bir artırılarak tekrar çözülmüş ve bunlar için ortalama yürüme mesafeleri elde edilmiştir. Böylece, Şekil 7'de görülen takas eğrisi elde edilmiştir. Şekil 7 en yakın konteynere olan farklı en uzun yürüme mesafesi seviyelerinde, konteyner sayısı ile ortalama yürüme mesafesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafikte görülebileceğ i gibi, eklenen her ekstra

Tablo 5. Her Seviye İçin Gerekli En Az Konteyner Sayısı ve Ortalama Yürüme Mesafesi

Seviyeler (m)	Gerekli En Az Konteyner Sayısı	Ortalama Yürüme Mesafesi (m)
250	30	132
300	19	179
400	11	250
600	5	371
800	3	452
1500	1	776

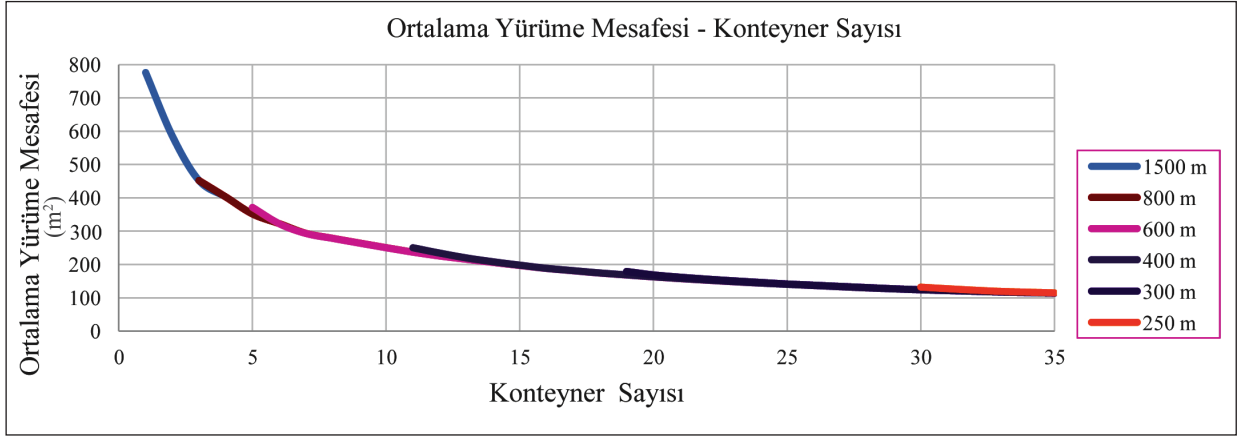
konteyner, ortalama yürüme mesafesini azaltmaktadır. Konteyner sayısının belli bir noktadan sonraki artışlarında ise ortalama yürüme mesafesindeki iyileşme (yani mesafenin kısalması) oldukça yavaşlamaktadır.

En yakın konteynere ulaşmak için kişilerin yürüebileceği en uzun mesafe bilindiğinde, modeldeki 'b' parametresi değiştirilerek uygun konteyner yerlerinin bulunması mümkün olmaktadır. Adenso-Díaz ve González-Torre (2005), bu mesafeyi yürüyerek katedecekler için yaklaşık 540 m, arabayla gidecekler için ise 680 m ve 2,64 km arasında değiştiğini belirtmiştir. Bu nedenle, modeldeki 'b' değeri için üst sınır 540 m olarak düşünülmüş ve Ankara sakinleri geri dönüşüm alışkanlığını

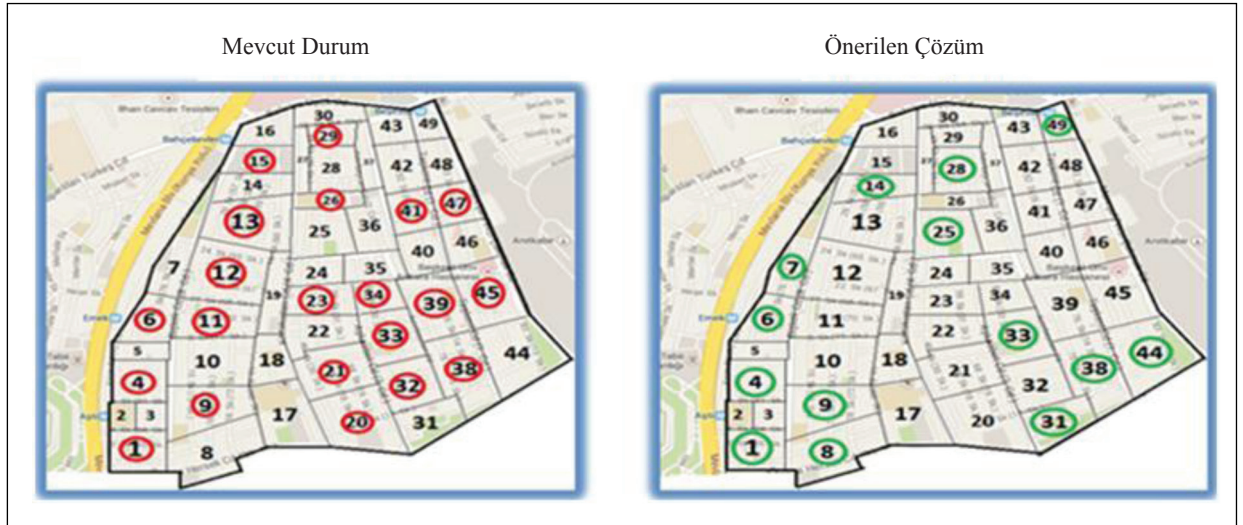
daha yeni kazanmaya başladığı için daha kısa bir mesafe olan 400 m olarak kabul edilmiştir.

Mevcut durumda, pilot bölgede yerleştirilmiş konteyner sayısı 21'dir. Mevcut sistem ile modelden elde edilen çıktılar karşılaştırmak için model, 21 konteyner kısıtı ile çözülmüştür ve Şekil 8'de, 21 konteynerli mevcut durum ve aynı konteyner sayısı ile elde edilen modelin çıktısı gösterilmiştir. Konteynerler, Şekil 8'de "önerilen çözüm"de olduğu gibi yerleştirildiğinde, ortalama yürüme mesafesi 265 metreden 158 metreye düşürülmüş ve 107 metrelik bir kısalma sağlanmıştır.

Sokaktan Toplama: Bu alternatif için potansiyel



Şekil 7. Ortalama Yürüme Mesafesi - Konteyner Sayısı



Şekil 8. 21 Konteynerli Mevcut Durum ve Önerilen Çözüm

konteyner yerlerinin belirlenmesi için bazı ön kabuller oluşturulmuştur. Örneğin konteynerlerin yerleştirileceği sokakların uzunluğu en az 100 metre olarak belirlenmiş ve en uzun yürüme mesafesinin 150 metreye kadar düşürülebilmesi amacıyla en çok 300 metrede bir konteyner yerleştirilmesi uygun bulunmuştur. Aynı zamanda, otobüs durakları, metro istasyonları, okullar, alışveriş yerleri ve kamu binalarının önlerine ve sokakların kesişim noktalarına konteyner yerleştirmede öncelik verilmiştir. Bu faktörler gözetildiğinde, sokaktan toplama yöntemi için 98 uygun sokak belirlenmiş ve her birine birer konteyner yerleştirilmesine karar verilmiştir.

5.5 Konteyner, Aparat ve Poşet Sayısının Saptanması

Alternatifler için kaynağında ayrıştırılmış ambalaj atıklarının toplanacağı konteyner, aparat ve poşetlerin sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereksinimler, her alternatif için şu şekilde hesaplanmıştır.

Merkezden Toplama: Bu alternatif için gereken konteyner sayısı, nüfus ağırlıklı küme örtme probleminin belirlenen en uzun yürüme mesafesine (400 metre) göre çözülmesiyle elde edilmiştir. Söz konusu alternatif ve mevcut durum arasında kıyaslama yapabilmek amacıyla bölgede 21 konteynerin kullanılması uygun görülmüştür.

Sokaktan Toplama: Bu alternatifte her sokağa bir konteyner konulacağı için bölgede yer alan toplam sokak sayısı, kullanılacak konteyner sayısını verir. Bu nedenle, 98 konteynerin kullanılması uygun görülmüştür.

Apartmentandan Toplama: Her apartmana ambalaj atıklarının toplanacağı bir aparatın yerleştirilmesi gerektiği için bölgedeki toplam apartman sayısı olan 2.458, gereken aparat sayısını verir. Ek olarak, her aparata takılacak poşet sayısı belirlenmelidir. Kullanılacak günlük poşet sayısı, tahmini günlük ambalaj atığı miktarının poşet hacmine bölünmesiyle bulunur.

Kapıdan Toplama: Kapıdan toplamada kullanılacak tek kaynak, poşet olarak belirlenmiştir. Poşet sayısı, apartmentandan toplama yönteminde olduğu gibi hesaplanmaktadır.

5.6 Araç ve Günlük Sefer Sayısının Saptanması

Yapılan hesaplamalarda, bir aracın çalışma saatleri içinde en fazla iki sefer yapabileceği kabul edilmiştir.

Aynı zamanda, araçların ambalaj atıklarını 0,22 oranıyla sıkıştırarak topladıkları göz önünde bulundurulmuştur. Diğer bir deyişle, konteynerde 1 m³ hacimdeki ambalaj atığı, toplama aracında sıkıştırılarak 0,22 m³ hacmine düşürülmektedir.

Merkezden Toplama ve Sokaktan Toplama: Bu alternatif için kullanılacak konteynerlerin hacmi 6 m³, sokaktan toplama alternatifinde ise 1,83 m³ olarak seçilmiştir. Her iki alternatif için de aşağıda gösterilen şekilde hesaplanan konteynerlerin günlük doluluk oranı, araç ve sefer sayılarının bulunmasında kullanılmıştır. Bu oran, şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\frac{\text{(Günlük tahmini ambalaj atığı miktarı, m}^3\text{)}}{\text{(Konteyner kapasitesi, m}^3\text{)} \times \text{(Konteyner sayısı)}}$$

Örneğin doluluk oranı 2,3 çıktığında, konteynerler günde 2,3 defa dolmaktadır. Bu nedenle, konteynerlerde biriken ambalaj atığının toplanması için en az 3 sefer gerekmektedir. Ayrıca, her araç günde en fazla 2 sefer yapabileceği için, 3 sefer için 2 araç gerekmektedir.

Apartmentandan Toplama ve Kapıdan Toplama: Her iki alternatif için de araç ve sefer sayısının saptanmasında, gün içinde bir apartmana yapılması gereken maksimum sefer sayısı kullanılmıştır. Bu sayı, şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\frac{\text{Toplam apartman sayısı}}{\text{Bir araç doluncaya kadar uğrayacağı apartman sayısı}}$$

Öte yandan, bir araç doluncaya kadar uğrayacağı apartman sayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$\frac{\text{(Araç kapasitesi, m}^3\text{)} \times \text{(Toplam apartman sayısı)}}{\text{(Günlük toplam ambalaj atığı miktarı, m}^3\text{)} \times \text{(Sıkıştırma oranı)}}$$

6. MALİYET-GETİRİ ANALİZİ

Bütün alternatifler için sisteme geri dönecek ambalaj atığı miktarları belirlendikten sonra, alternatifler için gereken kaynakların türü ve miktarı beşinci bölümde belirlenmiştir. Buna göre, her alternatif için gerekli maliyet kalemleri tanımlanarak yıllık maliyetler belirlenmiştir. Hesaplamalar, en büyük maliyet kalemini oluşturan

toplama araçlarının beş yıllık kullanım ömrü olduğu varsayılarak yapılmıştır. Ayrıca, iyimser, kötümser ve ılımlı maliyet-getiri analizleri yapılmıştır. Sistemin getirisi, toplanan ambalaj atığının piyasa değeri olarak belirlenmiş ve sonuç olarak her alternatifin değerlendirildiği maliyet-getiri eğrileri oluşturulmuştur.

6.1 Maliyetlerin Hesaplanması

Ambalaj atığı toplama maliyetleri, yatırım maliyetleri ve işletim maliyetleri olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Araç ve konteyner/aparat maliyetleri, yatırım maliyeti kalemleri iken; sürücü maliyeti, yardımcı maliyeti, yakıt, araç bakım ve sigorta maliyeti ve poşet maliyeti işletim maliyeti kalemleri olarak belirlenmiştir.

Maliyet hesapları, 2015'ten başlayarak beş yıllık planlama ufku kapsamında gerçekleştirilmiştir. Her alternatif için araç ve konteyner/aparat maliyetlerinin beş yıllık planlama ufkunun başında, işletim maliyetlerinin ise beş yıl boyunca her ayın sonunda gerçekleştirildiği (ödendiği) düşünülmüştür. Ayrıca, planlama ufkunun sonunda, bir aracın satın alma maliyetinin %20'si oranındaki amortisman bedelinin sisteme geri döneceği kabul edilmiştir.

Bütün alternatifler için ilk yılın başında ödenecek toplam yatırım maliyetinin yanı sıra, planlama ufku boyunca her ayın sonunda ödenecek toplam işletim maliyetleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Son ay gerçekleşecek toplam işletim maliyetinden sisteme geri dönecek amortisman bedeli çıkarılacaktır.

Merkezden Toplama ve Sokaktan Toplama:

Yatırım maliyetleri = (toplam araç sayısı)*(araç satın alma maliyeti) + (toplam konteyner sayısı)*(konteyner satın alma maliyeti)

İşletim maliyetleri = (sürücü maliyeti + yardımcı maliyeti) * (toplam araç sayısı) + (yakıt maliyeti/km) * (bir aracın tek seferde aldığı yol, km) * (günlük sefer sayısı) * (30 gün/ ay)

Apartmandan Toplama:

Yatırım maliyetleri = (toplam araç sayısı) * (araç satın alma maliyeti) + (toplam aparat sayısı) * (aparat satın alma maliyeti)

İşletim maliyetleri = (sürücü maliyeti + yardımcı

maliyeti) * (toplam araç sayısı) + (yakıt maliyeti/km) * (bir aracın tek seferde aldığı yol, km) * (günlük sefer sayısı) * (30 gün/ ay) + (günlük poşet sayısı) * (poşet satın alma maliyeti) * (30 gün/ ay)

Kapıdan Toplama:

Yatırım maliyetleri = (toplam araç sayısı) * (araç satın alma maliyeti)

İşletim maliyetleri = (sürücü maliyeti + yardımcı maliyeti) * (toplam araç sayısı) + (yakıt maliyeti/km) * (bir aracın tek seferde aldığı yol, km) * (günlük sefer sayısı) * (30 gün/ ay) + (günlük poşet sayısı) * (poşet satın alma maliyeti) * (30 gün/ ay)

Ayrıca, aylık reel faiz oranıyla maliyetlerin ilk yılın başındaki değerleri hesaplandıktan sonra bu değerler toplanmış ve beş yıllık ambalaj atığı toplama maliyetleri her alternatif için bulunmuştur.

Yukarıda belirtilen maliyet kalemlerinin hesaplanmasında aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

- Aylık reel faiz oranı %1,9 olarak kabul edilmiştir.
- 6 m³ ve 1,83 m³ hacimli konteynerlerin satın alma maliyetleri, sırasıyla 4.500 TL ve 1.500 TL'dir.
- Her toplama yöntemi için 15 m³ hacimli sıkıştırırmalı aracın satın alma maliyeti, 175.000 TL'dir.
- 0,09 m³ hacimli poşetlerin satın alma maliyeti 0,2 TL'dir.
- Aparat satın alma maliyeti 40 TL'dir.
- Aylık toplam sürücü ve yardımcı maliyeti 5.800 TL'dir.
- Araçların yakıt ve bakım maliyeti kilometre başına 2 TL'dir.
- Bir aracın tek seferde aldığı yol, merkezden ve sokaktan toplama için 70 ve 75 km iken hem apartmandan hem de kapıdan toplama için 95 km'dir.

Ambalaj atıkları tahmini için yapılan ankete katılanların, gerçekte sürdürdükleri ambalaj atığı ayrıştırma davranış biçimlerinden daha iyimser bir bakışla anketteki sorulara cevap verdikleri kabul edilmiştir. Bu nedenle, hesaplanan tahmini ambalaj atığı miktarları için %60, %70, %80, %90 ve %100 olmak üzere beş farklı seviye belirlenmiştir.

Sonuç olarak, yukarıda anlatılan maliyet hesaplama yöntemleri ve sıralanan parametreler kullanılarak her

alternatif için oluşturulan senaryolar için beş yıllık toplam maliyetleri çıkarılmıştır. Ek olarak, pilot bölgede, 21 konteyner ve günde 1 sefer yapan 1 araç ile faaliyet gösteren mevcut sistemin de beş yıllık toplam maliyetleri hesaplanmıştır.

6.2 Getirilerin Hesaplanması

Geri Dönüşüm yetkilileri ile yapılan görüşmeler ışığında, geri dönüştürülebilir ambalaj atıklarının piyasa değerleri öğrenilmiştir (Ahmet Serkan Sepin, Mart 2014)². Farklı türdeki ambalaj atıklarının piyasa değerleri belirlendikten sonra ambalaj atığı bileşen oranları incelenmiştir. Metin, Eröztürk ve Neyim'e (2003) göre, ambalaj atığı içeriği Türkiye'de illere göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada, atıklar, hanelerden ve işyerinden olmak üzere iki kanaldan sisteme girer. Hane halkı nüfusunun yoğun olduğu Bakırköy ilçesi için ambalaj atığı içeriği incelenmiş ve üç yıllık verilerin ortalaması alınarak hesaplanan ambalaj atığı bileşenlerinin oranları hesaplanmıştır. Hane halkının yoğun olduğu pilot bölge için de Bakırköy ilçesinde belirlenen oranlar kullanılmıştır. Bu oranlar ve piyasa değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Ambalaj Atığı Bileşen Oranları ve Piyasa Değerleri

	Piyasa Değeri (TL/ton)	Bileşen Oranları (%)
Kâğıt	300	38
Plastik	650	17
PET	2150	4
Metal	550	7
Alüminyum	2250	2
Cam	90	32

Yukarıda yer alan tablodaki değerler kullanılarak bir ton ambalaj atığının piyasa değeri 423 TL olarak bulunmuştur. Her toplama yöntemi için beş farklı seviyede belirlenen tahmini ambalaj atığı miktarlarının beş yıl boyunca her ay için piyasa değerleri bulunmuş ve bu değerlerin ilk yılın başındaki karşılıkları, maliyet analizinde olduğu gibi, aylık reel faiz oranı yardımıyla saptanmıştır. Aynı işlem, mevcut sistemin getirisini bulmak için de kullanılmıştır.

6.3 Sonuçların Analizi

Her alternatif ve mevcut sistem için farklı seviyeler kullanılarak ve beş yıllık planlama ufku üzerinde ambalaj atığı toplama maliyeti ve toplanacak olan ambalaj atığının getirisi hesaplanmıştır. Farklı alternatifler ve mevcut sistem arasında kıyaslama yapabilmek için birim maliyet başına elde edilen getiriye gösteren getiri/maliyet oranı kullanılmıştır. Tablo 7'de maliyet ve getiri sonuçlarıyla birlikte getiri/maliyet oranları gösterilmiştir.

Tablo 7'de görüldüğü gibi, ilk dört seviyenin her biri için merkezden toplama alternatifi en yüksek getiri/maliyet oranına sahip olduğu için diğer toplama alternatiflerinden daha iyi bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, önerilen toplama alternatifleriyle karşılaştırıldığında mevcut sistemin en düşük orana sahip olması, sistemin ambalaj atıkları toplama sürecindeki yetersizliğine ilişkin tartışmalarımızı desteklemektedir. Öte yandan, diğer seviyelerin aksine, %60 seviyesinde en yüksek orana sahip alternatif, sokaktan toplamadır.

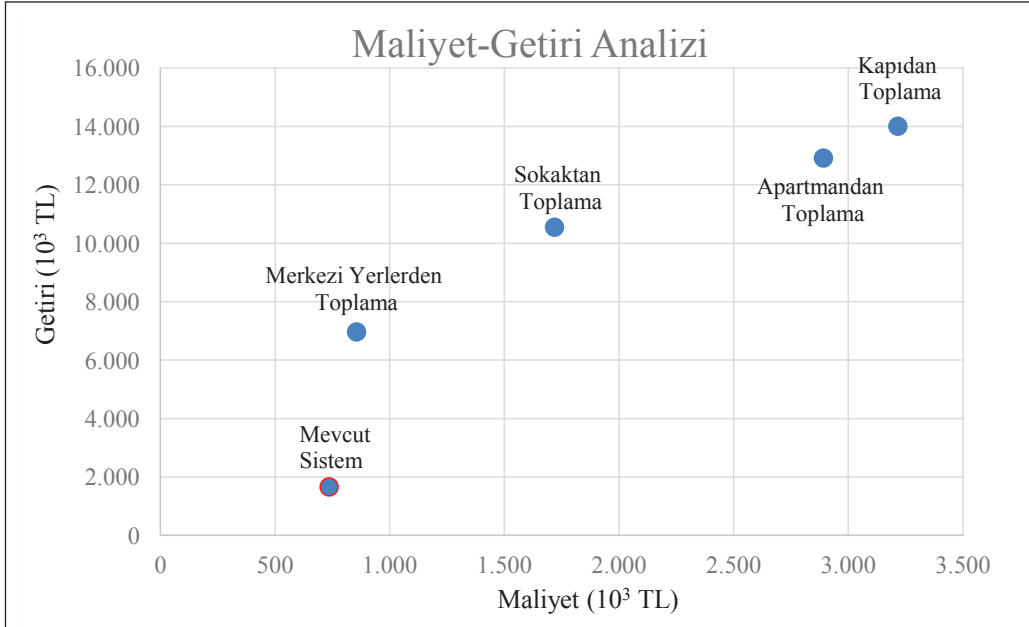
Buna ek olarak, %100 seviyesi baz alınarak farklı alternatifler ve mevcut sistem için maliyet-getiri Pareto eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 9). Şekil 9 incelendiğinde, hiçbir alternatif diğerine baskın değildir. Kapıdan toplama en fazla maliyet gerektirirken, toplanan ambalaj atığı miktarını arttırmaktadır. Merkezden toplama ise en düşük maliyetle yapılabilir. Alternatiflerin uygulanabilirliği ve ilk yatırım maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, mevcut sistemden geçişin en kolay olduğu merkezden ve sokaktan toplama alternatifleri öne çıkmaktadır. Ancak, Çankaya Belediye'sinin (karar verici) öncelikli amacı toplanan ambalaj atığı miktarlarını arttırmak olduğunda, bu alternatifin maliyetini karşılayabildiği sürece apartmandan ve kapıdan toplama alternatifleri daha uygun görülmektedir.

Son olarak, mevcut sistemde toplanan ambalaj atığının bütün ambalaj atığına oranı %12 civarındadır. Bu oran, toplayıcı firmanın ağırlıklı olarak büyük marketlerden ve kamu kurumlarından atık toplaması, hanelerden atık toplamayı ihmal etmesinden kaynaklanmaktadır. Oysa, geliştirilen alternatifler için toplama birimlerine ulaşılabilirlik arttıkça, %39'dan %82'ye kadar değişen toplama yüzdeleri elde edilmiştir (Tablo 8).

² Ahmet Serkan Sepin ile 2014 yılı Mart ayında yapılan yüz yüze görüşmede bu bilgiler alınmıştır.

Tablo 7. Seviyelere Göre Toplama Yöntemlerinin Maliyet, Getiri ve Getiri/Maliyet Oranları

Seviye (%)	Toplama Yöntemi	Maliyet (10 ³ TL)	Getiri (10 ³ TL)	Getiri/Maliyet
100	Mevcut Sistem	736	1.654	2,2
	Merkezden Toplama	854	6.967	8,2
	Sokaktan Toplama	1.717	10.552	6,1
	Apartmandan Toplama	2.890	12.920	4,5
	Kapıdan Toplama	3.215	14.010	4,4
90	Merkezden Toplama	823	6.270	7,6
	Sokaktan Toplama	1.718	9.497	5,5
	Apartmandan Toplama	2.794	11.628	4,2
	Kapıdan Toplama	2.768	12.609	4,6
80	Merkezden Toplama	803	5.574	6,9
	Sokaktan Toplama	1.718	8.442	4,9
	Apartmandan Toplama	2.546	10.336	4,1
	Kapıdan Toplama	2.663	11.208	4,2
70	Merkezden Toplama	803	4.877	6,1
	Sokaktan Toplama	1.678	7.386	4,4
	Apartmandan Toplama	2.414	9.044	3,7
	Kapıdan Toplama	2.372	9.807	4,1
60	Merkezden Toplama	803	4.180	5,2
	Sokaktan Toplama	1.059	6.331	6,0
	Apartmandan Toplama	2.318	7.752	3,3
	Kapıdan Toplama	2.267	8.406	3,7



Şekil 9. Alternatifler İçin Maliyet-Getiri Analizi

Tablo 8. Toplama Yöntemlerine ve Mevcut Duruma Göre Toplanan Ambalaj Atığı Yüzdeleri

Toplama Yöntemi	Toplanan Ambalaj Atığı (%)
Mevcut Sistem	12
Merkezden Toplama	39
Sokaktan Toplama	61
Apartmandan Toplama	76
Kapıdan Toplama	82

7. UYGULAMA PLANI

Çankaya bölgesinin nüfus yoğunluğu fazla olduğu için ambalaj atığı toplama sisteminin uygulanmasında, öncelikle, hane halkının nüfus yoğunluğu, sosyo-ekonomik seviyesi, özel ve kamu işyeri sayısı, eğitim seviyesi ve coğrafi konumları gibi özellikler gözeticilerle ilçe, bölgelere bölünmeli ve bu bölgelerdeki çalışmalara teker teker başlanmalıdır. Uygulamadan önce düşünülmesi gereken önemli bir nokta da bölge halkının çevresel ve ekonomik kazanç için yapılacak aktivitelerle ilgili kapsamlı bir şekilde bilgilendirilmesidir. Uygulamaya okullar ve kamu kuruluşlarından başlanmalıdır. İlçe sakinleri çeşitli oyunlar ve bilgilendirici seminerler yoluyla hem uygulamadan hem de bunun çevresel ve ekonomik kazançlarından haberdar edilmelidir. Ambalaj atığı olarak tanımlanan kağıt, plastik, metal ve cam ambalajlar, kullanılacak toplama birimlerinin üzerinde açıkça belirtilerek toplanan atıkların doğru şekilde ayrıştırıldığından emin olunmalıdır. Uygulamaya başlarken, toplama planının saatleri bütün binalara asılmalı, apartman görevlileri ve yöneticileri planla ilgili düzenli olarak bilgilendirilmelidir.

Uygulamaya başlanacak ilk bölge, pilot çalışmalarının yapıldığı Bahçelievler, Yukarı Bahçelievler ve Emek olarak seçilebilir. Sistemin işleyişi ile ilgili gerçek ve güncel veriler toplanıp değerlendirildikten sonra, diğer bölgelerde de önerilen sistem uygulamaya geçilmelidir.

Uygulamanın sağlıklı gelişimi için kontrol ve denetleme oldukça önemlidir. Bu nedenle, bir araç ve konteyner takip sistemi kurulmalı, düzenli olarak toplanan atıkların türlerine göre bölge bazlı ölçümler yapılmalı ve kurulan sisteme ait verilerin ve sonuçların periyodik olarak analizi ve değerlendirilmesi yapılmalı, bölgeler için belirlenen toplanacak ambalaj atığı hedeflerinin takibi ve değerlendirilmesi yapılmalıdır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ambalaj atıkları yönetim sistemi tasarımı kapsamında, Çankaya Belediyesi için dört farklı alternatif geliştirilmiştir. İlçe sakinlerinin toplama birimlerine farklı ulaşılabilirlik düzeylerine göre geri dönüşüme katılma oranları ve bu alternatiflerin maliyetleri karşılaştırılarak belediye için bir yönetim sistemi önerisi oluşturulmuştur. Uygulamaya geçildiğinde, sistemin sağlıklı çalışması için kontrol ve denetimin yanında, veriler sistemli olarak toplanmalı ve sonuçları analiz edilerek güncellenmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya verdikleri destek için Çankaya Belediyesine ve çalışmada kullanılan anketlerin hazırlanması ve değerlendirilmesindeki katkıları için Prof. Dr. Gülser Köksal'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. Adenso-Diaz, P. L., González-Torre, B. 2005. "Influence of Distance on the Motivation and Frequency of Household Recycling," Waste Management, vol. 25 (1), p. 15-23.
2. Ağdağ, O. N. 2009. "Comparison of Old and New Municipal Solid Waste Management Systems in Denizli, Turkey" Waste Management, vol. 29 (1), p. 456-464.
3. Aydın, H., Başoğlu, D., Demirel, M., Güleç, A., Palaoglu, E., Şimşek, A., Yetiş Kara, B. 2008. "Evsel Atık Toplama Ağı Tasarımı ve Geri Kazanım Süreçlerinin İyileştirilmesi," Endüstri Mühendisliği, vol. 19 (3), p. 2-16.
4. Banar, M., Çokaygil, Z., Özkan, A. 2009. "Life Cycle Assessment of Solid Waste Management Options for Eskişehir, Turkey," Waste Management, vol. 29 (1), p. 54-62.
5. Beliën, J., De Boeck, L., Van Ackere, J. 2014. "Municipal Solid Waste Collection and Management Problems: A Literature Review," Transportation Science, vol. 48 (1), p. 78-102.
6. Demir, E., Gültekin, D., Sandıkçoğlu, S., Şayhan, A., Yeşil-dağ, M., Kirca, Ö., Süral, H. 2001. "Yenimahalle Belediyesi Katı Atık Toplama ve Taşıma Sistemi Tasarımı," Endüstri Mühendisliği, vol. 12 (3-4), p. 52-64.
7. GAMS Development Corporation. 2014. GAMS, [Software Package], GAMS Development Corporation, 1217 Potomac Street, NW Washington, DC 20007, USA.
8. Ghiani, G., Laganà, D., Manni, E., Musmanno, R., Vigo, D. 2014. "Operations Research in Solid Waste Management: A Survey of Strategic and Tactical Issues," Computers and Operations Research, vol. 44, p. 22-32.
9. IBM. 2014. CPLEX, [Optimization Package], IBM Corporation, 1 New Orchard Road Armonk, New York 10504-1722 USA.
10. Math Works. 2014. "MATLAB ver 8.3, [Software Package]," The MathWorks Inc., 24 Prime Park Way, Natick, MA, 01760-1500, USA.
11. Metin, E., Eröztürk, A., Neyim, C. 2003. "Solid Waste Management Practices and Review of Recovery and Recycling Operations in Turkey," Waste Management, vol. 23 (5), p. 425-432.
12. Minitab Ltd. 2014. Minitab ver 17, [Software Package], Brandon Court Unit E1-E2 Progress Way Coventry CV3 2TE UK.