

Katı atık toplama sıklığının toplama-taşıma maliyetine etkisi

Mert Kolukısaoglu¹, Kadriye Elif Maçın¹, İbrahim Demir^{1*}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Özet

Küresel ölçekte 2010 yılında toplamda 1,3 milyar ton katı atık üretilmiştir. Mevcut durumda bu katı atıkların %84'ü toplanmakta ve %15'i geri dönüştürülebilmektedir. Bir entegre katı atık yönetim sistemi içerisinde maliyeti en yüksek kalemi atıkların toplanması ve taşınması oluşturmaktadır ve maliyetleri toplam atık yönetimi içerisinde %80'e kadar ulaşabilmektedir. Türkiye'de atıkların toplanması ilçe belediyeleri tarafından yapılmakta veya yaptırılmaktadır. Yakıt giderleri, taşıt amortismanı ve personel giderleri atık toplamanın başlıca işletme maliyet bileşenleridir. Toplanan atık miktarı, atığın fiziksel özellikleri, toplama araçlarının tipleri, kapasiteleri ve yerleşim yeri ile aktarma merkezi arasındaki mesafe maliyeti etkileyen diğer parametrelerdir. Bu çalışmada katı atık toplama sıklığının toplama-taşıma maliyetine etkisini belirleyebilmek adına gerçek koşullara uygun senaryo geliştirilmiş, aktarmalı ve aktarmasız taşıma durumları için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Senaryonun gerçekçi olması için araç hacmi, atık yoğunluğu, atık miktarı, yerleşim yeri ve aktarma merkezi mesafesi gibi parametreler; literatür taraması sonrasında, özel sektör ve yerel yönetimlerde yetkili kişilerden alınan bilgilerle oluşturulmuştur. Çalışmada toplam proje ömrü 30 yıl olarak kabul edilmiş olup, 6 yılda 1 ihalenin yenilenmesi öngörülmüştür. 8 m³ kasalı toplama araçlarının kullandığı, 100 ton/gün atık üretimi olduğu ve aktarma merkezinin yerleşim yerine 10 km uzaklıkta bulunduğu kabulüyle aktarmalı ve aktarmasız taşıma için toplama ve taşıma maliyetleri hesaplanmış, toplama sıklığının günde birden haftada bire düşürülmesi durumunda yaşanacak değişimler incelenmiştir. Bertaraf tesisinin yerleşim yerinden 30 km mesafede olduğu durumlarda taşıma sıklığının günde birden, haftada bire düşürülmesi toplama ve taşıma maliyetlerini neredeyse %30 oranında düşürdüğü belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktarma merkezi, atık toplama sıklığı, maliyet, taşıma, toplama.

The effect of solid waste collection frequency on collection – transportation cost

Abstract

In 2010, 1.3 billion tons of solid waste was produced on a global scale. 84% of these solid wastes were collected and 15% were recycled. In an integrated solid waste management system, the highest cost is the collection and transportation of wastes, and their ratio can reach up to 80% of total waste management cost. Major components of waste collection operational cost are fuel cost, truck amortization and personnel cost. The amount of waste collected, the physical characteristics of the waste, types of collection trucks, truck capacities and the distance between the city and the transfer station are other parameters affecting the cost. In this study, in order to determine the effect of solid waste collection frequency on total collection and transportation cost, a realistic scenario was developed and cost analysis was carried out for both collection of waste with and without transfer station cases. Parameters such as truck volume, waste density, waste amount, distance between city and transfer station were determined after the literature review was done and informations were taken from the authorized persons in the private sector and local governments to achieve realistic conditions in scenario. During this study, the total project life is estimated to be 30 years, and the renewal of 6 years for 1 tender is foreseen. The necessary calculations have been made for the scenario where the production of waste is 100 tons/day and they are collected by 8 m³ trucks and the transfer station is located 10 km away from the city. Collection and transportation costs were calculated for two scenarios. First scenario includes transfer station while second is not. In the following calculations, collection frequency was reduced from once per day to once per week. When waste collection frequency is decreased from everyday to once a week, where the disposal facility is located 30 km away from the city, it has been found that total collection and transportation cost reduced the almost 30 %.

Keywords: transfer station, waste collection frequency, collection, transportation

* Sorumlu yazar (Corresponding author): İbrahim Demir, idemir@itu.edu.tr

1. Giriş

Atıklar, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Fiziksel hallerine göre sınıflandırıldıklarında katı, sıvı veya gaz olarak; kaynağına göre sınıflandırıldıklarında kentsel, ticari, kurumsal, zirai, endüstriyel olarak; emniyet düzeyine göre sınıflandırıldıklarında ise tehlikeli, tehlikesiz ve inert sınıflarına ayrılmaktadırlar. Belediye atıkları bir başka deyişle evsel katı atıklar tüm atık grupları içerisinde %10'luk kısmı oluşturmaktadır, kalan kısım tarım ve madencilik atıkları, enerji santralleri atıkları, endüstriyel atıklar, arıtma tesisi çamurları, inşaat ve yıkıntı atıklarından oluşmaktadır [1].

Evsel atıkları oluşturan temel bileşenler; organik atıklar ve ambalaj atıklarıdır. Ambalaj atıkları içerisinde kâğıt, karton, plastik, cam, metal ve türevleri bulunmaktadır. Avrupa Birliği'nde yılda 475 kg/kişi, Amerika Birleşik Devletleri'nde ise yıllık ortalama 730 kg/kişi civarında atık üretilmektedir. Konu, küresel ölçekte ele alındığında ise 2010 yılında toplamda 1,3 milyar ton katı atık üretilmiştir [2]. Yine küresel olarak evsel katı atıkların %84'ü toplanmakta ve %15'i ise geri dönüştürülebilmektedir. Ancak toplanan evsel katı atıkların büyük çoğunluğu vahşi depolamaya veya düzenli depolamaya gönderilmektedir. Bu durumla en sık düşük gelirli ülkelerde karşılaşmaktadır. Yüksek gelirli ülkelerde geri dönüşüm oranı %22 iken, bu oran düşük gelirli ülkelerde %1 olmaktadır. Evsel katı atıkların düzenli depolamadan ziyade geri kazanılması için en verimli yöntemlerden biri kompostlaştırmadır. Gelişmiş ülkelerde kompostlaştırma oranı ortalama %11 iken, düşük gelirli ülkelerde %2'de kalmaktadır [2].

Atık toplama genel olarak; katı atıkların önceden belirlenmiş noktalarda biriktirilmesi ve bu noktalardan toplama araçları ile alınması faaliyetlerini açıklamaktadır. Atık taşıma işlemi ise toplama araçları tarafından atıkların doğrudan atık bertaraf tesisine gönderilmesi veya taşıma araçları tarafından daha sonra düzenli atık bertaraf tesisine iletilmek üzere aktarma merkezinden yola çıkmasıyla gerçekleştirilebilir. Taşıma işlem için aktarmalı ve aktarmasız iki seçenekten hangisinin uygulanması gerektiğine, ilk yatırım maliyeti, araç kapasitesi, hizmet verilen nüfus, yerleşim yeri yüz ölçümü gibi birçok parametre göz önünde bulundurularak karar verilir. Bir entegre katı atık yönetim sistemi içerisinde maliyeti en yüksek kalemi atıkların toplanması ve taşınması oluşturmaktadır ve maliyetleri toplam atık yönetimi içerisinde %80'e kadar ulaşabilmektedir [3]. Türkiye'de hâlihazırda birçok ilde katı atık aktarma merkezleri işletilmektedir. Ülkemizde atıklar değişik sıklıklarla ve değişik kapasitedeki araçlarla toplanmaktadır. Fakat bu uygulamalarda hesaba dayanan yöntemlerden ve planlamalardan öte önceki tecrübelerden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada ülkemizde yaygın olarak kullanılan atık toplama ve taşıma araçlarının özellikleri (hacim, maliyet vb.) kullanılarak, atık toplama sıklığına göre toplama taşıma maliyetlerindeki değişimler hesaplanmıştır. Belediyeler ve atık toplama taşıma işlerinde görev alan gerçek ve tüzel kişiler için maliyet bazlı örnek çalışma oluşturulmaya çalışılmıştır.

2. Katı atık yönetimi

Kentsel katı atık (KKA) üretim oranları ekonomik gelişme seviyesinden, endüstriyelleşme seviyesinden, yerel alışkanlıklardan ve yerel iklimden etkilenmektedir. Kişi başı KKA üretimi, halkın gelir seviyesine ve bölgelere göre de ciddi şekilde değişmektedir [4]. Ülke gruplarına göre yapılan bir çalışmada Türkiye'nin de içinde yer aldığı bölgede düşük gelirli ülkelerdeki bireyler için günlük atık üretimleri 0,29 kg/kişi/gün olarak verilirken, yüksek gelirli bireyler 2,1 kg/kişi/gün olarak verilmiştir [5]. Ortalama atık oluşum miktarı ise 1,1 kg/kişi/gün olarak belirlenmiştir. Atık karakterizasyonu da bölgelere ve gelir seviyesine göre değişiklik göstermektedir. Düşük bütçeli hanelerde organik atıklar, atık kompozisyonu içerisinde büyük yer tutarken, yüksek gelir seviyesi grubunda bu oran düşmektedir. Gelir seviyelerine göre oluşan atık kompozisyonları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Gelir seviyesine bağlı olarak atık karakterizasyonundaki değişim [5]

Gelir Seviyesi	Organik (%)	Kâğıt (%)	Plastik (%)	Cam (%)	Metal (%)	Diğer(%)
Düşük Gelir	64	5	8	3	3	17
Orta Düşük Gelir	59	9	12	3	2	15
Orta Yüksek Gelir	54	14	11	5	3	13
Yüksek Gelir	28	31	11	7	6	17

Gelir seviyesinin artmasıyla organik atıkların oranı düşerken; plastik, kâğıt, karton, alüminyum gibi ambalaj atıklarının miktarları artmaktadır. Coğrafi koşullar atık karakterizasyonunu etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Yapı malzemeleri, ısınma ihtiyacı neticesi oluşan küller, sokak süprüntüleri ve bahçe atıkları çeşitli coğrafyalara göre nitelik ve nicelik olarak farklılık göstermektedir. KKA'ların toplanması birden fazla yöntem ile gerçekleştirilebilir [5].

1. Evden eve: Atık toplayıcıları, her eve ayrı ayrı uğrar ve çöpü alır. Kullanıcılar çoğunlukla bu hizmet için para öder.
2. Halka açık çöp konteynerleri: Atık üreticileri, sokaklarındaki veya mahallelerindeki sabit noktada bulunan çöp konteynerlerine çöplerini atarlar. Sonrasında belediye veya belediyece yetkilendirilmiş firma tarafından bu atıklar bu noktadan toplanır.
3. Kaldırımdan toplama: Atık üreticileri, belediyece belirlenmiş saatte çöplerini evlerinin önüne çıkartırlar.
4. Kendi götürme: Atık üreticileri, atığı bertaraf tesisine veya aktarma merkezine kendileri götürürler veya bir firmaya götürmesi için ödeme yaparlar.
5. Sözleşmeli ya da yetkilendirilmiş hizmet: İşletmeler; çöp toplama hizmeti veren firmalar ile anlaşır ve kullanıcılara fatura ettirir.

3. Atıkların toplanması ve taşınması

Katı atık yönetiminde ülke çapında lider konumunda olan İstanbul'da 1994 yılına kadar, vahşi depolama yönteminin hâkim olması ve verilerin kayıt altına alınmasının zor olması sebebiyle geçmiş dönemdeki evsel katı atık üretimi konusunda ancak tahminler yapılabilmektedir. Atık üretimi ve muhteviyatı konusunda güvenilir bir veri ve istatistik bilgisinin olmaması, evsel katı atık yönetiminin bölgesel ve ulusal olarak değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. 1994 yılından itibaren TÜİK, katı atık yönetimi konusundaki istatistikleri derlemeye başlamıştır. 1960'lı yıllarda Türkiye'de yıllık 3-4 milyon ton evsel katı atık üretildiği tahmin edilmektedir. Ancak, TÜİK verilerine göre 2016 yılına gelindiğinde bu rakam yılda 31,6 milyon tona ulaşmıştır [6]. Artan nüfus, hızlı ekonomik büyüme ve halkın yaşam standardının artması sebebiyle her geçen yıl da bu rakam artış eğiliminde olacaktır. Türkiye'de 1398 belediye vardır ve bunların 30 tanesi büyükşehir belediyesidir [7]. 1994-2004 yılları arasında Türkiye'de katı atık hizmeti alan nüfus %71'den %77'ye çıkmıştır. Belediyeler atık toplama ve taşıma süreçlerine büyük bütçeler ayırmaktadır [8].

3.1. Atık Toplama Süreci

Atık toplama en az beş farklı aşamadan oluşmaktadır [1]

1. Atığın evlerden konteynerlere atılması
2. Konteynerlerden toplama araçlarına atılması
3. Toplama araçlarının evler arası yol kat etmesi
4. Toplama aracının yerleşim yerindeki güzergâhı süresince seyri
5. Kapasitesi dolan toplama aracının yerleşim yerinden bertaraf tesisine veya aktarma merkezine gitmesi.

3.2. Atıkların taşınması

Evsel katı atıkların toplanmasının ardından, atıkların en yakın tesise taşınması gerekmektedir. Yapılacak taşıma; aktarma merkezi ve düzenli depolama tesisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Büyük şehirlerde başta olmak üzere düzenli depolama tesisinin görece uzak olduğu yerleşim yerlerinde ekonomik ve operasyonel açıdan tasarruf sağlamak adına katı atık aktarma merkezleri kullanılmaktadır. Küçük yerleşim yerlerinde günlük çıkan atık miktarı az olduğundan genellikle direkt olarak düzenli depolama tesislerine taşıma yapılmaktadır.

3.2.1. Aktarmasız taşıma

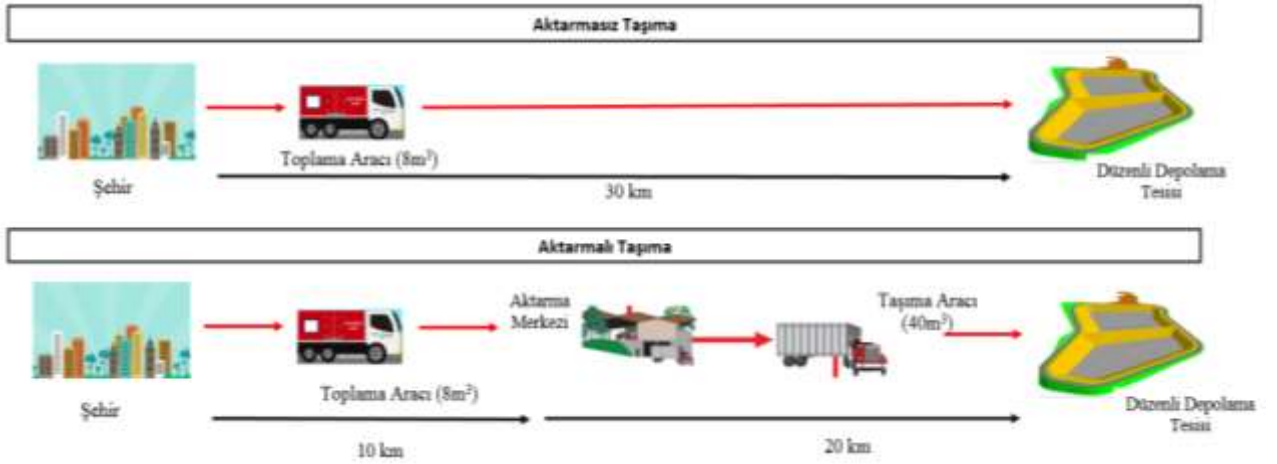
Atık üretiminin düşük olan küçük yerleşimler için genellikle bir aktarma istasyonu kullanılmamaktadır. Çoğu zaman tek bir atık toplama aracı günde tek bir sefer yaparak tüm yerleşimin atıklarını toplayabilmektedir. Küçük yerleşimlerin yanı sıra; büyük şehirlerde de düzenli depolama tesisine yakın ilçelerin atıkları doğrudan düzenli depolama tesisine taşınmaktadır.

3.2.2. Aktarmalı taşıma

Birden fazla yerleşim yerine hizmet veren tesislerde veya yüzölçümü büyük olan yerleşim yerlerinde inşa edilen aktarma merkezleri, belediyelere veya bu işi yapan yüklenicilere ciddi maliyet avantajı sağlamaktadır. Katı atıkların ilk etapta toplanması amacıyla kullanılan kamyon tipleri ile aktarma istasyonlarından çıkan kamyon/treyler tipleri birbirinden farklıdır. Türkiye'deki yerli evsel katı atık toplama kamyonu üreticileri 4 m³ ile 32 m³ arasında kasalara sahip hidrolik sıkıştırılmalı kamyonlar üretmektedirler. Bu kamyonlardaki sıkıştırma oranları genel olarak 1/3 ile 1/6 arasında değişkenlik göstermektedir. Yüklemelemlerin manuel veya otomatik olarak isteğe bağlı gerçekleştirilebildiği bu tip kamyonlarda 15 m³'ten büyük kasalar için 6x4 şasiler kullanılmaktadır. Katı atık aktarma merkezlerinden düzenli depolama sahalarına yapılan sevkiyatlarda genel olarak kayar tabanlı veya hidrolik sıkıştırılmalı semi-treyler dorseli araçlar kullanılmaktadır. Bu araçlar; 30 m³ ile 82 m³ arasında değişen hacimlerde atık nakliyesi yapabilmektedir. Ortalama olarak her bir semi-treylerin 12 adet atık toplama kamyonuna denk geldiği düşünülmektedir.

4. Toplama, aktarmalı ve aktarmasız taşımının maliyet hesapları

Atıkların toplanması ilçe belediyeleri tarafından yapılmakta veya yaptırılmaktadır. İstanbul'da günde ortalama 15.500 ton evsel katı atık toplanmaktadır. Yakıt giderleri, taşıt amortismanı ve personel giderleri atık toplamanın başlıca maliyet bileşenleridir. Toplanan atık miktarı, atığın fiziksel özellikleri, toplama araçlarının tipleri, kapasiteleri ve yerleşim yeri ile aktarma merkezi arasındaki mesafe maliyeti etkileyen diğer parametrelerdir [9]. Bu çalışmada katı atık toplama sıklığının toplama-taşıma maliyetine etkisini belirleyebilmek adına gerçek koşullara uygun senaryo geliştirilmiş, aktarmalı ve aktarmasız taşıma durumları için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Senaryonun gerçekçi olması için araç hacmi, atık yoğunluğu, atık miktarı, yerleşim yeri ve aktarma merkezi mesafesi gibi parametreler; literatür taraması sonrasında, özel sektör ve yerel yönetimlerde yetkili kişilerden alınan bilgilerle oluşturulmuştur. Çalışma sırasında atıkların 0,8 m³ hacimli çöp konteynerleri içerisinde biriktirildikleri kabulü yapılmıştır. Her bir konteynerin doluluk oranı %80 olarak, kabul edilmiştir. Konteynerdeki atık yoğunluğu 0,25 ton/m³ iken; sıkıştırılmalı araç kasasındaki atık yoğunluğu 0,45 ton/m³ alınmıştır. Toplam proje ömrü 30 yıl olarak hesaplanmış olup, 6 yılda 1 ihalenin yenilenmesi öngörülmüştür. 8 m³ kasalı toplama araçlarının kullandığı, 100 ton/gün atık üretimi olduğu ve aktarma merkezinin yerleşim yerine 10 km uzaklıkta bulunduğu kabulüyle oluşturulan senaryo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 1'de çalışma sırasında kabul edilen aktarmalı ve aktarmasız taşımalar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kabul edilen senaryo için aktarmalı ve aktarmasız taşımanın akım şemaları

4.1. Aktarmalı taşıma halinde toplama aracı maliyet hesaplamaları

4.1.1. İlk yatırım maliyeti

Şasi ve kasaların satın alınması; atıkların toplanması için gerekli ilk yatırım maliyet kalemlerini oluşturmaktadır. Piyasada birçok şasi ve kasa üreticisi bulunmaktadır. Hesaplamalar da piyasadaki elde edilen fiyatların ortalamaları alınmış ve %18 oranında KDV eklenmiştir. Maliyetler Tablo 2'de gösterilmiştir. Çalışma içerisinde basit amortisman yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda 100 ton/gün atık miktarı için gerekli $8m^3$ 'lük toplama aracı sayısı 3 olarak bulunmuştur. Amortisman değeri 6 yıl olarak alındığında proje süresince araçların yıllık maliyeti 112.520,10 TL/yıl bulunmuştur.

Tablo 2. Bir adet $8m^3$ 'lük araç için elde edilen ortalama fiyatlar

Kasa Hacimleri	Ortalama Kasa Fiyatı (TL)	Ortalama Şasi Fiyatı (TL)	Ortalama Toplam Fiyat (TL)
7+1 m^3	48.616	176.424	225.040

4.1.2. İşletme maliyeti

İşletme maliyetleri içerisinde; personel, yakıt ve bakım-onarım giderleri ele alınmıştır.

4.1.2.1. Personel maliyeti

Personel maliyetleri için; her bir araçta 1 şoför ve 2 yükleyici bulunduğu kabulü yapılmıştır. 2017 yılında asgari ücretin işverene maliyeti aylık 2.088,56 TL'dir [10]. Şoförün asgari ücretin 1,8 katı, yükleyicilerin de 1,5 katı maaş aldıkları kabulü yapılmıştır. Personel ham maliyeti 120.301,06 TL/yıl olarak bulunmuştur.

Çalışma kapsamında araçların haftanın 7 günü çalışması planlanmıştır. Fakat personel için bu şartlarda hafta tatili de hesaba katılmıştır. Çalışanların haftada bir gün izin yapabilmesi, işverene personel maliyetlerini $7/6$ oranında artıracak kabulü yapılmış olup, güvenli tarafta kalmak için bu değer yukarı yuvarlanması ile 1,25 katsayısı elde edilmiştir. Ayrıca hesaplar sırasında hafta tatili olduğu kadar sağlık problemlerinin olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Günlük vardiya sayısının 2 kabul edilmesiyle 3 araç için toplamda 6 ekibe ihtiyaç duyulacağı ortaya çıkmış ve yıllık toplam personel maliyeti 947.370,82 TL/yıl olarak bulunmuştur.

4.1.2.2. Yakıt maliyeti

Aktarmalı taşımada toplama araçları için yakıt maliyeti hesapları yapılırken; yerleşim yerinde toplama aşamasında yakılan yakıt ve aktarma merkezine giderken seyahat esnasında yakılan yakıt olmak üzere iki farklı etap bulunmaktadır. Araçların motor güçlerine göre yakıt sarfiyatları değişiklik göstermektedir. Atık toplanırken harcanan yakıt miktarı daha önceki literatür çalışmalarından yararlanılarak 10 L/saat kabul edilmiştir [9]. Genel toplamda 1 aracın 1 günde harcadığı seyahat ve toplama aşamaları dâhil olarak 144,03 L/gün olarak bulunmuştur. Motorin için fiyat 5,05 TL/litre olarak kabul edilmiş, toplam yakıt maliyeti 796.468,33 TL/yıl olarak bulunmuştur.

4.1.2.3. Bakım-onarım maliyeti

Bakım-onarım masrafları içerisinde de lastik değişimleri, periyodik bakımlar, günlük temizlik, sigorta, kasko ve büyük bakım maliyetleri göz önünde bulundurulmuştur. Bakım masrafları, yıllık yakıt masraflarının yarısı oranında bir maliyet öngörüsü yapılmış ve 398.234,16 TL/yıl değeri bulunmuştur.

4.1.2.4. Birim atık toplama maliyeti

Aktarmalı taşıma için toplama sırasında oluşacak ilk yatırım ve işletme masraflarının toplam maliyeti, yıl boyunca oluşacak atık üretim miktarına bölünerek ton başına atık toplama maliyeti 61,77 TL/ton olarak bulunmuştur.

4.2. Aktarmalı taşıma halinde taşıma maliyet hesaplamaları

Toplama araçlarında olduğu gibi taşıma araçlarında da çeşitli hacimlerde araçlar bulunmaktadır fakat araç boyutuna karar verilirken Karayolları Trafik Yönetmeliği'nde belirtilen 40 Ton istiap haddi sınırı belirleyici özellik göstermektedir. Mevzuat nizami bir şekilde uygulandığında en verimli atık taşıması yapan araçlar 40 m³ hacimli kasalı olanlardır. Bu nedenle hesaplamalar sırasında taşıma aracı kapasitesi olarak 40m³'lük araçlar seçilmiştir.

4.2.1. İlk yatırım ve işletme maliyetleri

Bir semi treylerin bir günde taşıyabileceği maksimum atık miktarının bulunduktan sonra yerleşim yerlerinde ortalama günlük atık üretim potansiyeli bilindiğinden kaç adet çekici ve treylerin gerekli olduğuna dair hesaplar yapılabilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği üzere bertaraf tesisinin, aktarma merkezinden 20 km uzaklıkta bulunduğu kabul edilerek taşıma aracının 1 seferi için gerekli süre hesaplanmış ve günlük 100 ton atık için gerekli çekici sayısının 1, semi-treyler kasa sayısının 2 olduğu bulunmuştur. Tablo 3'te taşıma araçlarının toplam ilk yatırım ve işletme maliyetleri gösterilmiştir.

Tablo 3. Taşıma araçlarının ilk yatırım ve işletme maliyetleri

İlk Yatırım Maliyeti (TL)	
709.881	
İşletme Maliyeti (TL/yıl)	
Personel Maliyeti	138.158
Yakıt Maliyeti	603.357
Bakım-Onarım Maliyeti	301.678

4.2.2. Birim atık için taşıma aracı maliyeti

Toplam maliyet yıl boyunca oluşacak atık üretim miktarına bölünerek taşınan ton başına atık taşıma aracı maliyeti 33,16 TL/Ton olarak bulunmuştur.

4.2.3. Aktarmalı taşıma halinde aktarma merkezi maliyetleri

4.2.3.1. İlk yatırım maliyeti

Yapılan çalışmanın 30 yıllık bir proje olduğu kabul edilmiş olup, bundan önceki süreçte projenin uygulandığı yerleşim yerinin yakınında bir aktarma merkezinin olmadığı varsayılmıştır.

Dolayısıyla yeni bir aktarma merkezine ihtiyaç bulunmaktadır. Tablo 4’te gösterilen arsa bedeli ve üzerine inşa edilmesi gereken kapalı alan bedelleri ilk yatırımda karşılaşılan maliyetlerdir.

Tablo 4. Aktarma merkezi ilk yatırım maliyeti ve aktarma merkezi yıllık işletme maliyeti.

Aktarma Merkezi ilk yatırım maliyeti						
Atık Miktarı (Ton/Gün)	Gerekli Aktarma Merkezi Alanı (m ²)	Arsa Bedeli (TL)	Kapalı Alan (m ²)	İnşaat Bedeli (TL)	Toplam Bedel (TL)	Proje Süresince Yıllık Amortisman (TL/Yıl)
100	2.600	130.000	1.118	504.247	634.247	21.142
Aktarma Merkezi Yıllık İşletme Maliyeti.						
Atık Miktarı (Ton/gün)	Personel Maliyeti (TL/yıl)	Elektrik Maliyeti (TL/yıl)	Su Maliyeti (TL/yıl)	Görünmeyen Giderler (TL/yıl)	Toplam Yıllık Maliyet (TL)	
100	225.564	13.416	7.161	24.614	270.756	

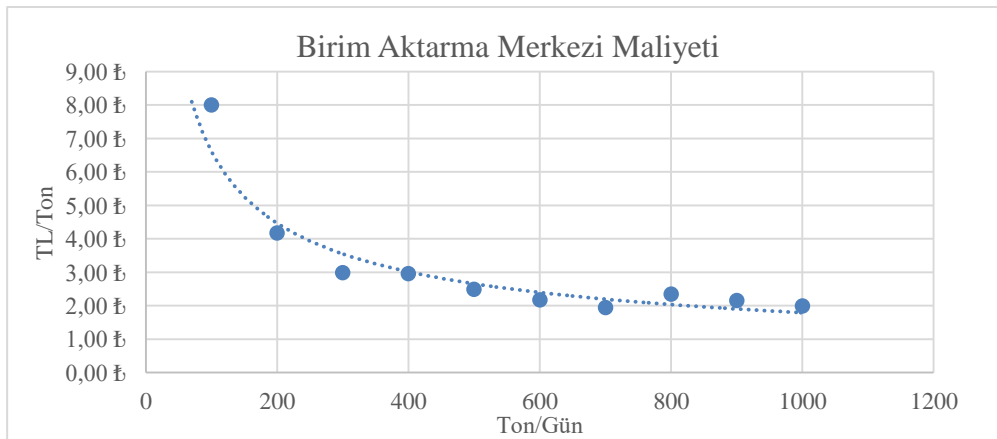
4.2.3.2. İşletme maliyeti

İşletme maliyetleri; personel, elektrik, su ve görünmeyen giderler olarak 4 kalemden incelenmektedir. 100 ton/gün atık üretimi olan bir yerleşim yerine hizmet veren aktarma merkezinde çalışmak üzere 1 şef mühendis, 1 tekniker/vardiya, 1 bekçi/vardiya gereklidir. Aktarma merkezi 2 vardiya olarak çalışacaktır. Çalışan personelin maaş giderlerinin yanı sıra hafta tatili için ikame personel mesai maliyeti olarak 15 katsayısı ve kıdem tazminatı maliyeti olarak da 1,05 katsayısı hesaba katılmıştır.

Aylık elektrik maliyeti olarak; aktarma merkezlerindeki toplam kapalı alanların gözetilerek 1 TL/m²ay kabulü yapılmıştır. Aylık su maliyeti olarak çalışan personel sayısının günlük 200 L su tüketimi olduğu, toplama araçları için lastik yıkamaya araç başı 100 L harcandığı ve birim su bedelinin 5 TL/ m³ olduğu kabulü yapılmıştır. Görünmeyen giderlerin de personel, elektrik ve su giderlerinin toplamının %10’u kadar olduğu kabulü esas alınmıştır. Bu şartlarda oluşan yıllık işletme giderleri Tablo 4’te verilmiştir.

4.2.3.3. Toplam ve birim maliyetler

Toplam maliyet 270.756 TL/yıl ve toplam maliyetin ton/yıl birimindeki atık üretim miktarına bölünmesiyle 8 TL/ton birim maliyeti bulunmuştur. Farklı miktarda atık üretimleri için yapılan hesaplamalar, üretilen günlük atık miktarı ve birim atık başına aktarma merkezi maliyetinin ters orantılı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Günlük üretilen atık miktarı arttıkça, ton başına aktarma merkezi maliyeti logaritmik olarak düşüş eğilimi göstermektedir. Günlük atık üretim miktarı ile bir aktarma merkezinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri toplamının ton başına birim fiyatını gösteren grafik Şekil 2’de verilmiştir. Atık miktarı 1.000 ton/gün değerlerine çıktığında birim maliyet 2 TL/ton değerine kadar düşebilmektedir.



Şekil 2. Değişen Atık Üretim Miktarlarına Göre Birim Aktarma Merkezi Maliyetleri.

4.3. Toplama ve aktarmasız taşımanın maliyeti

Bu bölümde aktarmalı toplama hesaplarında yapılan kabuller esas alınarak ve yerleşim yeri-bertaraf tesisi arasındaki toplam mesafe aynı olacak (30 km) şekilde maliyetler hesaplanmıştır. Aktarma tesisi varlığı olmaksızın yapılacak hesaplamalarda toplama ve taşıma için aynı araçlar (8 m³) kullanılacaktır. Bir atık toplama aracının, bir günde yaptığı işler aktarma olmaksızın bakıldığında aşağıdaki gibidir:

1. Şantiyeden çıkıp, yerleşim yerine gidiş
2. Yerleşim yerinde konteynerlerden atıkları toplama
3. Kasanın dolmasının akabinde bertaraf tesisine gidiş
4. Bertaraf tesisinde atıkları boşaltma
5. Atık toplamak üzere tekrar yerleşim yerine geri gidiş

Her bir toplama aracının sefer sürelerinin hesaplanmasının akabinde; kasa büyüklüklerine göre bir günde toplanabilecek atık miktarları, günlük atık üretim miktarlarına bölünerek gerekli araç sayısı hesabına gidilebilmektedir. Örneğin; 8 m³ kasalı araçlar için 100 ton/gün atık üretimi olduğunda ve bertaraf tesisinin yerleşim yerine 30 km uzaklıkta olduğu durumda, aracın bir seferde gideceği mesafe artacağından sefer süresinin de artacağı ve yeni senaryoda 5 aracın gerekli olduğu belirlenmiştir.

4.3.1. İlk yatırım ve işletme maliyetleri

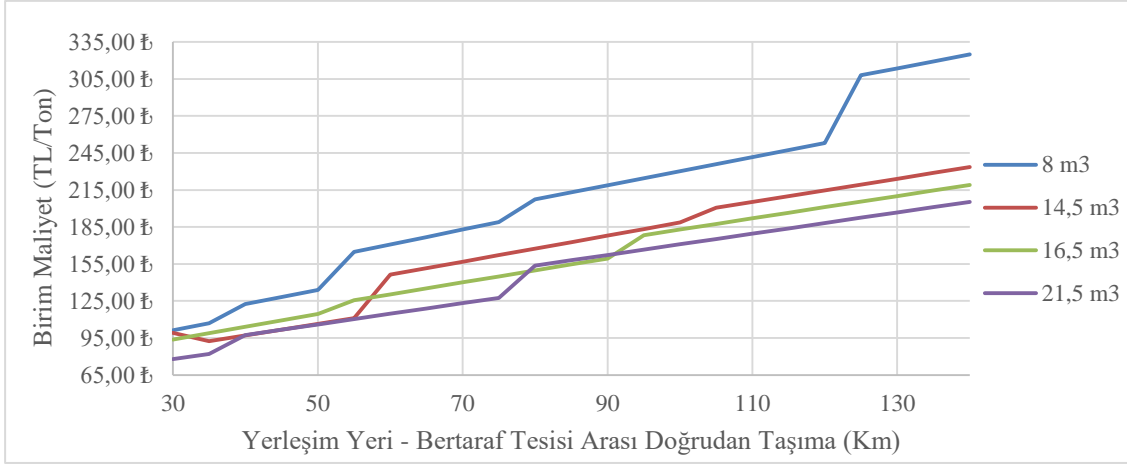
İlk yatırım maliyet kalemleri arasında şasi ve kasa maliyetleri bulunmaktadır. Aktarmalı taşıma kapsamında belirlenen bedeller bu kısım için de geçerliliğini korumaktadır fakat gerekli 8 m³'lük araç sayısı 5'e yükselmiştir. Aktarmasız taşımanın ilk yatırım ve işletme maliyetleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Aktarmasız taşımanın ilk yatırım ve işletme maliyetleri

İlk Yatırım Maliyeti (TL)	
187.533,50	
İşletme Maliyeti (TL/yıl)	
Personel Maliyeti	157.895
Yakıt Maliyeti	1.578.951
Bakım-Onarım Maliyeti	643.755

4.3.2. Toplam ve birim maliyetler

Toplama ve taşıma işlerinin ton atık başına toplam maliyeti 101,31 TL/ton bulunmuştur. Aynı hesaplamalar oluşan atık miktarı 100 ton/gün sabit tutularak farklı hacimdeki araçlar için gerçekleştirilmiş ve büyük hacimli araç kullanımının maliyet açısından daha avantajlı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 3'te maliyetlerde yaşanan ani artış noktalarının temel nedeni, bertaraf tesisinin bahsi geçen noktadan daha ileriye taşınması durumunda sefer süresinin artması ve daha fazla araca ihtiyaç duyulmasıdır. Örneğin 8m³'lük araçlar için bertaraf tesisinin 120 km'den ileriye taşınması durumunda mevcut araç sayısı, vardiya saatleri içerisinde atığı bertaraf tesisine taşımakta yetersiz kalacak, yeni bir araca ve ekibe ihtiyaç duyulacaktır.



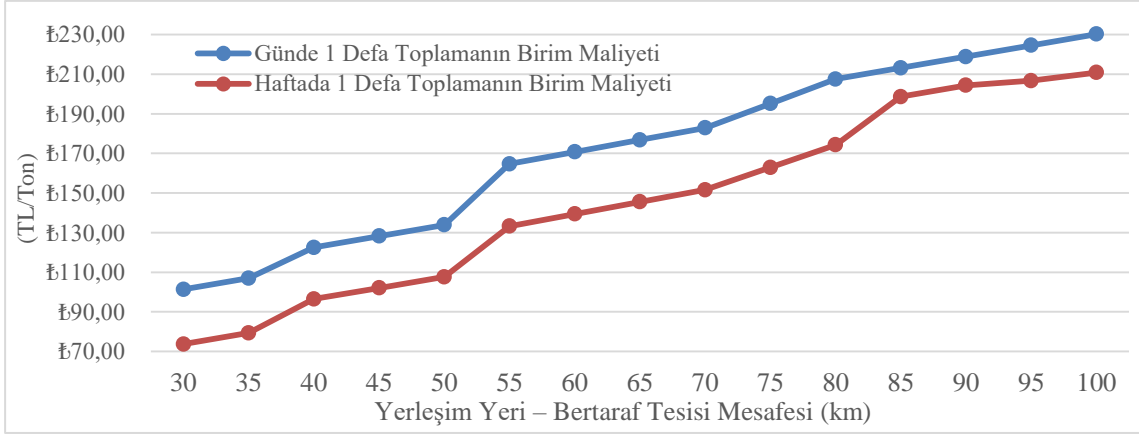
Şekil 3. Farklı Araç Hacimleri ve Bertaraf Tesis Konumları İçin Toplama ve Taşıma Maliyetleri

Şekil 3'ten aktarmasız taşımada büyük hacimli aracın kullanılmasının ekonomik açıdan daha mantıklı olduğu görülmektedir. Büyük hacimli araçlar (dar sokaklarda atık toplama gibi özel durumlar istisna tutulduğunda) bir sefer süresince daha fazla atık toplayacağından, sefer süresi küçük hacimli araca göre daha uzun olmasına rağmen ekonomik açıdan avantajlı duruma gelmektedir.

5. Toplama sıklığının azaltılması durumunda oluşacak toplama-taşımanın maliyet mukayesesi

Çalışmadaki tüm hesaplamalar 0,8 m³lük çöp konteynerlerinde biriktirilen atıkların toplanması ve toplama sıklığının günde bir kez olması esasına göre yapılmıştır. Maliyet optimizasyonu yapılabilmesi açısından çöplerin günde bir ve haftada bir toplanma senaryoları göz önünde bulundurulmuştur. Toplama sıklığının azalmasının birim maliyetlere olan etkisini görebilmek için 8 m³'lük araçlar ile 100 ton/gün atık oluşan bir yerleşim yerinde aktarmasız taşıma için veriler bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Toplama sıklığına bağlı; konteyner büyüklükleri, konteyner için atık yoğunlukları ve bir konteyner araca boşaltılma süresindeki değişimler göz önünde bulundurularak, haftada bir atık toplanması durumunda gerekli konteyner sayıları hesaplanmıştır.

Bir haftada biriken çöp için gerekli hacim 5,6 m³'tür, önceki hesaplamalarda yapılan konteynerdeki atık yoğunluğunun 0,25 ton/m³ olduğu kabulünden ilgili hacmin ağırlığı 1,4 ton olarak bulunmuştur. Bir haftada bir güne kıyasla daha fazla atık birikeceğinden konteyner hacminin büyütülmesi gerekmektedir. Karşılaştırmanın gerçekçi olması için piyasada yer alan 2,4 m³'lük konteynerlere göre hesap yapılmıştır. Fakat maliyet hesaplamalarına başlanılmadan önce yeni konteyner hacmi için oluşacak yeni atık yoğunluğunun kontrol edilmesi gereklidir. Bir hafta oluşan 1,4 ton atığın 2,4 m³ kapasiteli konteynerde biriktirilmesi durumunda 0,58 ton/m³ atık yoğunluğu ortaya çıkacaktır. Fakat ortaya çıkan 0,58 ton/m³ yoğunluk verisi sadece yer çekimi kuvvetiyle, herhangi bir sıkıştırmaya maruz kalmayan evsel atıklar için yüksek bir değerdir ve gerçekleşmesi mümkün değildir. Bu nedenle bir noktada bu hacimde bulunması gereken konteyner sayısının 2 katına çıkartılması gerekmektedir. Yeni durumda oluşacak yoğunluk 0,29 ton/m³'tür ve daha gerçekçi bir değerdir.



Şekil 4. Farklı Atık Toplama Sıklıkları İçin Birim Atık Başına Atık Toplama Taşıma Maliyetleri

2,4 m³'lük konteynerden 2 adet yan yana koyulduğu takdirde, 1 haftada oluşacak çöplerin taşmadan ve etrafa saçılmadan biriktirilebildiği ortaya çıkmıştır. 0,8 m³'lük konteynerleri boşaltmak için 1 dakika harcadığı kabulü yapılırken; 4,8 m³'lük (2x2,4) konteynerleri boşaltmak için 5 dakika sarf edildiği kabulü yeni maliyet çalışmalarında yapılmıştır. Sefer süreleri hesaplanırken konteynerler arası mesafe ve hız verileri değiştirilmemiştir. Diğer tüm hesaplamalar ve kabuller de aynı şekilde devam ettirilmiştir. Bertaraf tesisinin mesafesinin artması ile birlikte toplama sıklığının maliyete olan etkisinin azaldığı Şekil 4 ile ortaya koyulabilmektedir. Bertaraf tesisinin yerleşim yerine 30 km mesafede olduğu durumlarda taşıma sıklığının günde birden, haftada bire düşürülmesi senaryosu toplama ve taşıma maliyetlerini yılda 1.192.025 TL ve oran olarak neredeyse %30 düşürebilmektedir.

6. Sonuçlar

Atık toplama araçlarının hacimleri büyüdükçe atık toplama maliyeti ve aktarma istasyonu ihtiyacı azalmakta veya aktarma ihtiyacı ortadan kalmaktadır. Küçük araçlarla toplanan atıkları uzun mesafelerdeki aktarma merkezlerine götürmek araç verimini düşürmekte dolayısı ile maliyeti artırmaktadır. Atık toplamaya etki eden önemli faktörlerden biri araç doluncaya kadar dur-kalk sayısı ve bir noktadaki atığı alma süresidir. Bu sayı ne kadar az, atık alımı için gerekli süre ne kadar kısa olursa atık toplama maliyeti o ölçüde azalmaktadır. Dolayısı ile atık konteynerlerini mümkün mertebe büyük hacimli yapmak ve sayısını azaltmak gereklidir.

Aktarma merkezi maliyeti kapasite ile logaritmik olarak ters orantılıdır. Aktarma merkezi inşa edilecekse kapasitesini mümkün mertebe büyük yapmakta fayda görülmektedir. Aktarma maliyetini optimize etmek için gerekli aktarma kapasitesinin hassasiyetle incelenmesi zorunludur. Aktarma merkezleri projelendirilirken işletme ve bakım maliyetini azaltmak için mekanik sistemlerden azami ölçüde kaçınılmalıdır. Kentsel katı atıkların toplaması ve taşınması sürecinde aktarma merkezi ihtiyacının sadece mesafeye bağlı olmadığı kesin olup, detaylı bir inceleme, maliyet ve fizibilite çalışması ile karar verilmelidir.

Atık toplama sıklığı aktarma merkezi gerekliliğine ve toplam maliyete etki eden önemli faktörlerden birisidir. Sadece 100 ton atık üreten bir yerleşimin atığının 8 m³'lük araçla toplanması için atığın her gün ve haftada bir toplanması için maliyet mukayesesi yapılmıştır. Bahsi geçen senaryoda atığı her gün toplamak haftada bir sefer toplamaya göre yaklaşık 1,2 milyon TL/yıl daha pahalı bulunmuştur. Bahsi geçen bölgede entegre atık yönetimi sistemi kurulurken, bu kıyaslama her hacim ve karışık hacimli araçlar için toplama sıklığı göz önünde bulundurularak gerekli mali optimizasyonlar yapılmalı ve aktarma merkezi gerekliliği sorgulanmalıdır. Ekonomik etkenlerin yanı sıra atıkların her gün toplanması, atık üreticisinin davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Haftada bir atık toplanan bir hane de, atık üreticileri hacmi ve su muhtevası daha düşük atık çıkarmak eğiliminde olacaktır. Özellikle koku yapma ihtimali taşıyan organik atıkları daha az oluşturmaya çalışacaklardır. Mali optimizasyon çalışmaları yapıldıktan sonra çevresel ve sosyal etkenlerde göz önünde bulundurularak nihai plana karar verilmelidir. Mevcut çalışma sonucunda atığın her gün

toplanmasının aktarmalı ve aktarmasız taşıma durumları için maliyeti yükselttiği ve kamuyu zarara sokan bir uygulama olduğu söylenebilmektedir.

Kaynakça

- [1] Öztürk İ. (2010). Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları. İSTAÇ A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi 2, İstanbul.
- [2] Jouhara H., Czajczynska D., Ghazal H., Krzyzyska R., Anguilano L. (2017). Municipal Waste Management Systems For Domestic Use, pp.485-486.
- [3] Belien J., De Boeck L., Ackere J. (2011). Municipal Solid Waste Collection Problems: A Literature Review, Hub Research Papers 2011/34, Brüksel.
- [4] IEA, International Energy Agency. (2016). Energy Technology Perspectives Annex I: Municipal Solid Waste Potential In Cities.
- [5] Hoornweg D., Bhada-Tata P. (2012). What A Waste, A Global Review Of Solid Waste Management, World Bank Urban Development & Local Government Unit.
- [6] TÜİK. (2017). <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24876> (Erişim Tarihi 25.06.2018)
- [7] <https://www.e-icisleri.gov.tr/Anasayfa/MulkiIdariBolumleri.aspx> (Erişim Tarihi 03.07.2018)
- [8] Turan N. G., Çoruh S., Akdemir A., Ergun O. N. (2008). Municipal Solid Waste Management Strategies In Turkey, pp.466-467.
- [9] Yaman C. (2017). Costs Pertaining To The Collection, Transportation And Disposal Of Domestic Solid Wastes And General City Cleaning In The City Of İstanbul, pp.
- [10] http://www.calismamevzuati.com/2017/01/2017_asgari_ucret_hesaplama_haber131-html/ (Erişim Tarihi 26.12.2017)