

Article Info	RESEARCH ARTICLE	ARAŞTIRMA MAKALESİ
Title of Article	Geographic Information System Supported Optimization of Erzurum-Palandöken Solid Waste Collection and Transport System	
Corresponding Author	Şahset İRDEMEZ Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, sirdemez@atauni.edu.tr	
Received Date	11.06.2021	
Accepted Date	13.09.2021	
DOI number	https://doi.org/10.35674/kent.950617	
Author / Authors	Şahset İRDEMEZ Muhammet Nuri YILDIRIM Sinan KUL Fatma EKMEKYAPAR TORUN Züleyha BİNGÜL	ORCID: 0000-0002-0205-4630 ORCID: 0000-0003-4104-0693 ORCID: 0000-0002-7824-756X ORCID: 0000-0002-2289-176X ORCID: 0000-0003-2472-9077
How to Cite	İrdemez, Ş., Yıldırım, M. Y., Kul, S., Ekmekyapar Torun, F. and Bingül, Z. (2021). Erzurum-Palandöken Katı Atık Toplama ve Taşıma Sisteminin Coğrafi Bilgi Sistem Destekli Optimizasyonu, Kent Akademisi, Volume, 14 Issue 3, Pages, 687-704.	



Erzurum-Palandöken Katı Atık Toplama ve Taşıma Sisteminin Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Optimizasyonu

Şahset İRDEMEZ¹
Muhammet Nuri YILDIRIM²
Sinan KUL³
Fatma EKMEKYAPAR TORUN⁴
Züleyha BİNGÜL⁵

ABSTRACT:

It is up to local governments to collect, transport and dispose of solid wastes. Since the amount of solid waste generated is increasing day by day, it is important to plan this process well and to ensure the lowest cost. In this study, the current collection / transportation system of domestic solid wastes produced within the borders of Palandöken district of Erzurum city center was examined; The solid waste collection vehicles were accompanied, the container locations were numbered, the collection routes were determined on the satellite map, and a data that could be analyzed was created. In the current system, route optimizations were made and ergonomic solutions were developed. By evaluating the quantities, characterizations and projections of the produced domestic solid wastes, it has been studied on systems with minimum cost for effective, efficient and regular collection and transportation. Thanks to the optimization studies carried out in the domestic solid waste collection and transportation system within the boundaries of the district, savings were achieved in the amount of travel, work force and time spent, and a decrease in annual costs was recorded. It is concluded that 18.56% savings can be made in the annual budget used in the current system.

KEYWORDS: Solid waste management, collection and transport system, container, GIS, cost minimization.

¹ Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, sirdemez@atauni.edu.tr

² Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, yildirim252009@hotmail.com

³ Bayburt University, Applied Sciences Faculty, Department of Emergency Aid and Disaster Management, sinankul@bayburt.edu.tr

⁴ Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, fyapar@atauni.edu.tr

⁵ Iğdır University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, zuleyha.bingul@igdir.edu.tr



ÖZ:

Katı atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi yerel yönetimlere düşmektedir. Oluşan katı atık miktarlarının gün geçtikçe artması nedeniyle bu sürecin iyi planlanması ve en düşük maliyetin sağlanması önem taşımaktadır. Bu çalışmada Erzurum ili merkez Palandöken ilçesi sınırları içerisinde üretilen evsel katı atıkların mevcut toplama/taşıma sistemi irdelenmiş; katı atık toplama araçlarına eşlik edilmiş, konteynır konumları numaralandırılmış, toplama rotaları uydu haritasında belirlenmiş ve üzerinde analiz yapılabilecek bir veri oluşturulmuştur. Mevcut sistemde rota optimizasyonları yapılarak ergonomik çözüm önerileri geliştirilmiştir. Üretilen evsel katı atıkların miktarları, karakterizasyonları ve projeksiyonları değerlendirilerek etkin, verimli ve düzenli bir şekilde toplanması, taşınması için minimum maliyetli sistemler üzerine çalışılmıştır. İlçe sınırları içerisinde gerçekleştirilen evsel katı atık toplama taşıma sistemindeki optimize çalışmaları ile kat edilen yol miktarında, iş gücünde ve harcanan zamanda tasarruflar sağlanmış, yıllık maliyetlerde düşüş kaydedilmiştir. Mevcut sistemde kullanılan yıllık bütçede %18.56 oranında tasarruf yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Katı atık yönetimi, toplama/taşıma sistemi, konteynır, CBS, maliyet minimizasyonu.

1. GİRİŞ:

Katı atıklar genel olarak yaşadığımız çevrede oluştuğu için en fazla dikkat çeken çevre kirleticilerdir. Evlerden, bahçe, park ve piknik alanları gibi halka açık yerlerden, endüstriyel içeriklere sahip atık oluşturmayan işyerlerinden atılan tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen atıklara genel olarak evsel katı atık denmektedir (Hanay ve Koçer, 2006). Ülkemizde günlük kişi başına ortalama 1 kg evsel nitelikli katı atık üretilmektedir. Günlük kişi başı evsel nitelikli katı atık üretim miktarı nüfus karakteristikleri, coğrafik yerleşim, mevsimler, halkın alışkanlıkları ve gelir düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Ülkemizde katı atıkların toplanması ve taşınması ilçe sınırları içerisinde İlçe Belediyelerine verilmiştir (Solak ve Pekküçükşen, 2018), İlçe sınırları içerisinde toplanan katı atıklar ya doğrudan düzenli depolama alanlarına götürülmekte ya da bir aktarma istasyonunda toplanarak katı atık depolama sistemine taşınmaktadır. Ara istasyonların kurulması genellikle aynı depolama sahasını kullanan birbirine yakın ilçeler için uygun olmaktadır. Genellikle bilimsellikten uzak şekilde yapılan toplama ve taşıma işlemleri hizmet edilen bölgelerin dağınık yapısı nedeniyle verimlilikten uzaktır (Yıldız vd., 2009).

Hızlı ve çarpık kentleşmenin doğal bir sonucu olarak, özellikle büyük kentlerde, katı atık sorunu her geçen gün artmakta, bu nedenle katı atıkların etkin, verimli ve düzenli bir şekilde toplanması, taşınması, depolanması ve değerlendirilip zararsız hale getirilmesi zorunlu bir hal almaktadır (Karakol, 1999). Zira bu sistemlerin optimize edilmesi hem taşıma maliyetini düşürecek hem de elde edilen tasarrufun farklı alanlarda kullanılmasını sağlayacaktır. Ayrıca katı atıkların toplanması sonucu araçlardan çıkan hava kirleticisi gazlar da optimize taşıma sistemi ile azalacağından canlı sağlığını da olumlu yönde etkileyecektir (Yalçınkaya, 2020).

Kentsel katı atıkların büyük bir bölümü evsel katı atıklardan oluşmaktadır. Evsel katı atık yönetim sistemi maliyetlerinin %65 ila %80'i toplama ve taşıma operasyonlarına ayrılmaktadır (Taşpınar, 2018). Oldukça büyük miktarda maliyet gerektiren toplama taşıma operasyonlarında daha sistematik çalışma düzeni ve ergonomik çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır (Aydın, 2015). Bu konu ile ilgili yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle optimum toplama güzergahının optimizasyonunu belirleyen "Vehicle Routing Problem (VRP)" olarak tanımlanmış. (Chatzouridis ve Komilis 2012; Das ve Bhattacharyya 2015; Mantzaras ve Voudrias 2017).

Katı Atık Yönetimi'nin ilk aşaması oluşan katı atık miktarının azaltılmasıdır. Bir yandan atık toplama ve bertarafına yönelik en ileri teknolojiler geliştirilirken, diğer taraftan da çıkan atığın azaltılması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Bunun en etkili yolu halkın eğitimi ve ayrıca üreticinin bilinçlendirilmesi ve yönlendirilmesidir (Çakır vd. 2019). Atık yönetim planlarının oluşturulmasında doğrudan etkili iki parametre atık miktarı ve atığın karakterizasyon bilgisidir. Bu iki parametre, atığın toplanmasından taşınmasına, geri kazanımından bertarafına kadar tüm planlama süreçlerinde yol gösterici öneme sahiptir. Özellikle toplama taşıma operasyonlarına atık bileşenlerinin etkisi oldukça fazladır.

Toplama taşıma operasyonlarında kullanılan araç ve gereçlerin yüksek ekonomik değere sahip oluşu maliyetlerin düşürülmesini zaruri kılmaktadır (Aydın, 2015). Evsel katı atıkların toplanma taşınma operasyonlarının modelleme ve optimizasyon çalışmaları ilk olarak 1960'lı yıllarda yapılmıştır (Quon vd., 1965). Daha sonraki süreçte günümüze

kadar yerli ve yabancı birçok araştırma ve uygulama çalışması yapılmış olup, ülkemizde ise kayıtlara geçen ilk çalışma Kınacı ve arkadaşları tarafından İstanbul üzerine yaptıkları çalışmadır. Bu çalışmada katı atık toplama taşıma maliyetlerinin optimizasyon çalışmaları ile %50 oranında azaltılabileceğini ortaya koymuşlardır (Kınacı vd., 2000).

Taşınır konteynır sistemi yaygın olmayan bir yöntem olup genellikle ticari atıkların toplanmasında kullanılır. Bu yöntemle 3-40 m³ arasında büyük hacimli çöp kapları dolu çöp kaplarının yanına getirilir. Kamyon boş kabı bırakıp dolusunu üzerine alır ve oradan ayrılır. Atıkların geçici depolanmasında kullanılan konteynırlar bertaraf yerlerine taşınır, boşaltılır ve tekrar ya kendi yerine veya başka bir noktaya konulur. Bir diğer taşıma sistemi sabit konteyner sistemidir. Sabit konteynır sistemi en yaygın kullanılan evsel katı atık toplama yöntemidir. Atık konteynırları toplayıcılar tarafından elle veya hidrolik sistemli kollarla kaldırılıp atık toplama aracının yüklem sahanlığına boşaltılır. Daha sonra aracın sıyırma ve sıkıştırma levhası çöpleri buradan sıyrarak alır ve içeriye doğru sıkıştırır. Kapasitesi dolan araç atıkları boşaltmak üzere bertaraf alanına ulaşır. Borularla taşıma sistemi ise 1950'li yıllardan sonra başlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde katı atık iletiminde su kullanılmaz. Bacaya atılan çöpler vakumla veya basınçlı hava ile merkezi bir toplama sistemine veya katı atık bertaraf tesisine iletilmektedir. Sistemiz toplama sistemi ise, atıkların yerden elle veya yükleyici araçlar yardımıyla alınarak toplama aracına düzensiz yerleştirilip bertaraf noktasına taşıma şeklinde gerçekleştirilen yöntemdir. Bu yöntem genellikle geri dönüştürülebilir atıkların, hacimli atıkların, inşaat moloz atıklarının vb. toplanmasında ve bölgesel kirliliğin meydana geldiği alanlarda kullanılır.

Bu çalışma kapsamında Erzurum İli merkez Palandöken İlçesi sınırları içerisinde üretilen evsel katı atıkların mevcut toplama taşıma sistemi irdelenmiş olup, ergonomik çözüm önerileri üretilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada sistemin optimizasyonu hem araç sayıları, hem araç rotaları hem de personel sayısı üzerinden yapılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT:

2.1. Materyal

Ülkemizde bulunan 30 büyükşehir arasında yer alan Erzurum ilinin 3 merkez ilçesinden biri olan Palandöken ilçesi çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Palandöken ilçesinin haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Palandöken ilçe haritası

Palandöken ilçesi 700 km²'lik sınırları içerisinde toplam 26 mahalle barındırmaktadır. Palandöken ilçesi, Erzurum ilinin merkezinde yer almaktadır. Batısında Çat ilçesi, kuzeybatısında Aziziye ve Aşkale ilçesi, doğusunda Pasinler ilçesi, güneyinde Tekman ilçesi ve kuzeyinde Yakutiye ilçesi ile çevrelenmektedir. Doğu-batı uzunluğu 70 km, kuzey-güney uzunluğu 10 km olan Palandöken ilçesinin yüz ölçümü ise 700 km²'dir (Anonim, 2018a).

Toplam nüfusun %96,7'si merkez mahallelerde yaşarken %3,3'lük kısım kırsal bölgelerde ikamet etmektedir. Yine toplam nüfusun %49,2'si erkeklerden, %50,8'i ise kadınlardan oluşmaktadır. İlçede geçmiş yıllara ait veriler değerlendirildiğinde zamana bağlı olarak nüfusun genellikle artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Tablo 1'de İlçe merkezinde bulunan 5 mahalle ile kırsal kesimin toplam nüfusu verilmiştir.

Tablo 1. Palandöken ilçesi 2018 yılı nüfusu (Anonim, 2018b)

Mahalle	Erkek Nüfus	Kadın Nüfus	Toplam Nüfus
Abdurrahman Gazi Mahallesi	13.040	12.454	25.494
Adnan Menderes Mahallesi	14.167	16.370	30.537
Hüseyin Avni Ulaş Mahallesi	17.065	17.637	34.702
Müftü Solakzade Mahallesi	13.456	13.750	27.206
Yunus Emre Mahallesi	22.550	22.655	45.205
Kırsal Bölgeler	2772	2735	5507
Toplam	83.050	85.601	168.651

2.2. Metot

Bu çalışma da öncelikle toplama rotaları, mevcut konteynırların konumu ve sayıları toplama ve taşıma işini gerçekleştiren Palandöken Belediyesi araçlarına refakat edilerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen rotalar ve konteynır konumları Google earth programında işaretlenerek konteynırlara numara verilmiştir. Daha sonra her bir araç için Google earth programında en fazla konteynırın katı atıklarının alınabileceği en kısa rotalar belirlenmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI:

3.1. Mevcut Atık Toplama Taşıma Sistemi

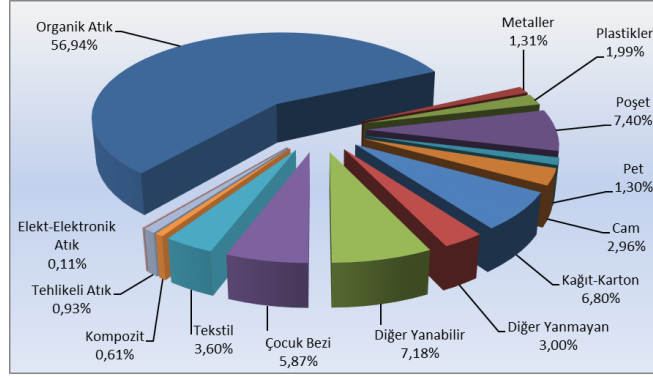
Palandöken ilçesinde evsel katı atık toplama, taşıma işlemleri sabit konteynır sistemi kullanılarak yürütülmektedir. İlçe genelinde yaklaşık 2000 civarında bulunan konteynırların tümü 770 L sıcak daldırma galvanizli çöp konteynırlarından oluşmaktadır. Ancak yeni konteynır ihtiyacı veya ekonomik ömürlerini dolduran konteynırların yenileri ile değiştirilmesi gibi nedenlere bağlı olarak ilçe genelindeki toplam konteynır sayısı sürekli değişkenlik göstermektedir. 1192 cm yüksekliği, 1251 cm genişliği ve 770 cm derinliğine sahip konteynırlar imal edildikleri malzeme cinsine bağlı olarak uzun ömürlü oldukları gibi, tabanlarında yer alan tekerlekleri ile hareket kabiliyeti kazandırılmış olarak kullanım kolaylığı sunmaktadırlar.

Palandöken Belediyesi bünyesinde 9 adet evsel katı atık toplama taşıma aracı kullanılmaktadır. Araçların tümü 2014 modeldir. Arkadan yüklemeli, sıkıştırılmalı sistemle çalışan araçlar 13 m³ depolama, 1,5 m³ yükleme haznesine sahiptirler. 7 araç sistemde aktif kullanılırken, arıza, bakım, onarım, kaza vb. nedenlere bağlı olarak sistemin sürekliliğinin aksatılmaması amacı ile 2 adet araç yedekte tutulmaktadır. Haftanın her günü 7 araçla, gündüz 7 araçla gece olmak üzere vardiya sistemi ile evsel katı atık toplama taşıma organizasyonu yürütülmektedir. Toplam 14 ayrı rota ile her gün toplama işlemi tekrarlanmaktadır. Araç şoförleri tamamen kendi inisiyatiflerini kullanarak belirlenmiş oldukları güzergâhlarda ilerlemek sureti ile tüm konteynırlar gün içerisinde en az bir kez boşaltılmaktadır. Ana arterlerde ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde konteynırlar gün içerisinde iki kez boşaltılmaktadır. Genelde her rota sonunda katı atık düzenli depolama sahasında araç boşaltılarak bir sonraki çıkacağı vardiyayı beklemek üzere şantiye alanında parka çekilmektedir.

Gece ve gündüz vardiyalarında 28 tane işçi, 14 tane şoför görev yapmaktadır. Sistemin sürekliliğini sağlamak amacı ile 2 tane işçi ve 2 tane şoför vasıflarına sahip 4 personel yedek olarak görev yapmaktadır. Toplam 46 personel ile toplama taşıma operasyonları yürütülmektedir.

3.2. Atık Karakterizasyonu

Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında yapılmış olan karakterizasyon çalışması sonucu ortaya çıkan evsel katı atık bileşenleri Palandöken ilçesinde üretilen evsel katı atık bileşenleri ile benzer özellikler göstereceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle çalışmada Erzurum için tespit edilen veriler kullanılmıştır. Erzurum merkez ilçelerinde üretilen evsel katı atıkların bileşenleri Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. Erzurum merkez ilçelerinde üretilen evsel katı atık bileşenlerinin yüzdesi (Erzurum BŞB. 2018a)

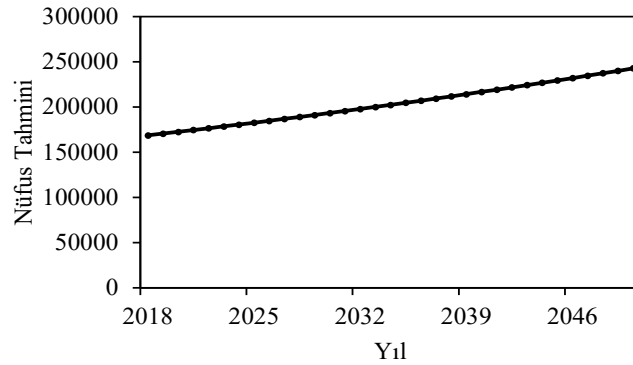
3.3. Atık Miktarı ve Projeksiyonu

Evsel katı atıkların miktarı ile muhteviyatları toplama taşıma organizasyonlarını doğrudan etkileyen önemli iki parametredir. Bu nedenle organizasyonların sürdürülebilirlikleri için gelecekte üretilecek olan atık miktarları en doğru şekilde tahmin edilmelidir. Palandöken ilçesi sınırları içerisinde üretilen 2018 yılına ait evsel katı atık miktarları Tablo 2’de yer almaktadır. İlçedeki katı atık miktarı yaz aylarında insan aktivitelerine bağlı olarak artış göstermektedir.

Tablo 2. 2018 yılında Palandöken ilçesinde üretilen evsel katı atık miktarları (Erzurum Palandöken Belediyesi, 2018)

Ay	Atık Miktarı (kg)
Ocak	3.341.960
Şubat	3.165.600
Mart	3.936.440
Nisan	3.736.080
Mayıs	4.121.440
Haziran	3.942.580
Temmuz	3.900.460
Ağustos	3.424.340
Eylül	3.571.480
Ekim	3.767.180
Kasım	3.553.160
Aralık	3.431.780
Toplam	43.892.500 kg

Palandöken ilçesinde önümüzdeki yıllarda üretilecek olan evsel katı atık miktarları üzerine bir öngörü yapılabilmesi için atık miktarı ile doğrudan ilişkili olan nüfus gelişiminin olabildiğince gerçekçi bir tarzda tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Palandöken ilçesine ait TÜİK nüfus verileri kullanılarak iller bankası metodu uygulanmak suretiyle nüfus projeksiyonu analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Palandöken ilçesi nüfus projeksiyonu

Palandöken ilçesinde 2018 yılına ait evsel katı atık miktarı ile nüfus verileri kullanılarak kişi başı üretilen günlük atık miktarı 0.71303 kg kişi-1 gün-1 olarak tespit edilmiştir.

Proje kapsamında Türkiye'deki kişi başı evsel atık üretim oranının %2 ile %3 arasında geometrik artacağı öngörülmüştür (Türkiye Belediyeler Birliği, 2016). Bu öngörü doğrultusunda Palandöken ilçesinde kişi başı günlük atık miktarının %2.2 oranında geometrik olarak artacağı kabulü yapılmıştır. Bulunan sonuçlar 5 yıllık aralıklarla Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Palandöken ilçesi evsel katı atık projeksiyonu

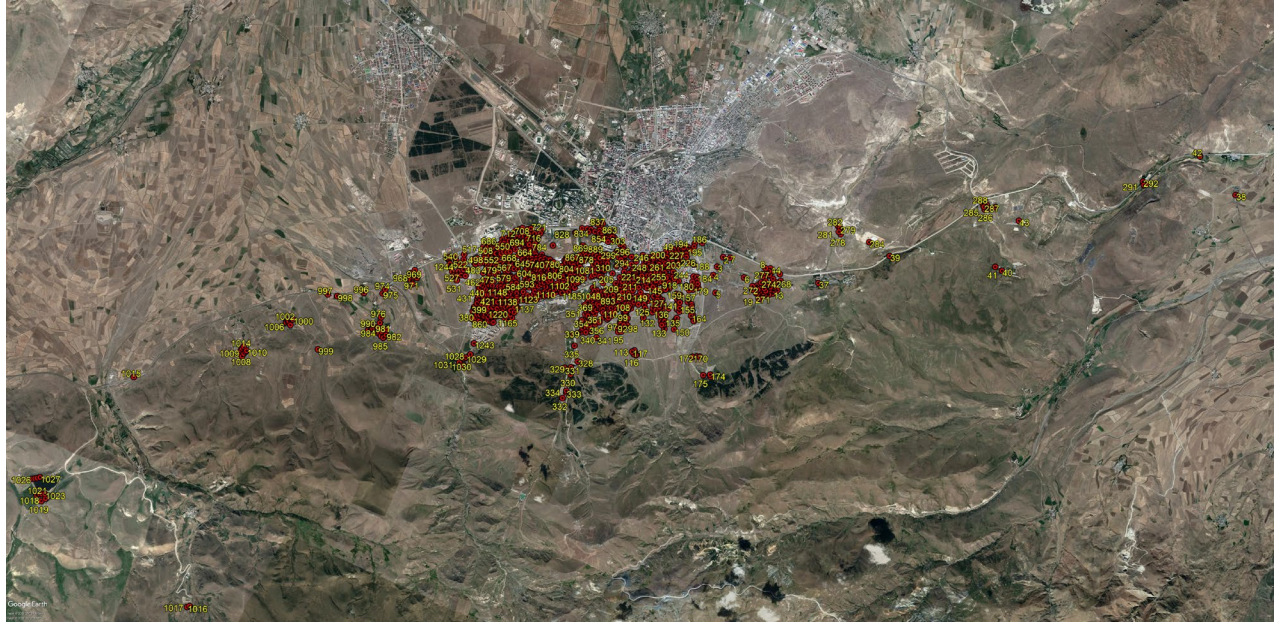
Yıl	Nüfus (kişi)	Kişi Başına Günlük Atık Miktarı (kg/kişi-gün)	Üretilen Atık Miktarı (ton)
2020	172 536	0.74475	46 901
2025	182 643	0.83036	55 356
2030	193 342	0.92580	65 334
2035	204 669	1.03222	77 111
2040	216 658	1.15087	91 011
2045	229 351	1.28316	107 417
2050	242 786	1.43066	126 781

Yapılan analizler neticesinde Palandöken ilçesi sınırları içerisinde 2050 yılında 126 781 ton evsel katı atık üretileceği öngörülmüş olup, ilerleyen yıllarda mevcut atık toplama taşıma sisteminin yetersiz kalacağı anlaşılmaktadır. Üretilen atığın özellikleri doğrultusunda ihtiyaca cevap verecek şekilde en uygun maliyetli sürdürülebilir atık toplama taşıma sistemlerinin planlanması gerekmektedir.

3.4. Konteynırların Numaralandırılması

Gerçekleştirilen saha çalışmaları kapsamında ilçe sınırları içerisinde yer alan konteynırların konumları ve sayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen konteynırların konumları Google earth programı üzerinde işaretlenerek numaralandırma işlemi yapılmıştır. İşaretlenen noktalarda çoğunlukla bir veya iki konteynır yer alırken ihtiyaca bağlı olarak bu sayının 10'a kadar çıktığı gözlemlenmiştir. 714 noktada birer, 423 noktada ikişer, 79 noktada üçer, 27 noktada dörder, 3 noktada beşer, 1 noktada altı, 2 noktada yedişer ve 1 noktada on adet konteynır yerleştirildiği belirlenmiştir.

Toplam 1250 noktada 1950 adet çöp konteynırı tespit edilmiştir. Çalışma bölgesinde yer alan konteynırların konumlarını gösteren harita Şekil S1’de verilmiştir.



Şekil S1. Palandöken İlçesinde konteyner numaralarını gösteren harita

3.5. Atık Toplama Rotasyonu ve Sıklığı

Toplama taşıma organizasyonlarında aktif görev alan 7 araç gündüz ve gece olmak üzere iki farklı rotayı takip ederek günlük çalışmalarını tamamlamaktadır. Günlük toplam 14 ayrı rotada ilerleyen 7 araç, şoförlerin kendi inisiyatifleri doğrultusunda tamamen alışagelmış güzergâhlarda hareket etmektedir. Toplama taşıma rotalarının bilimsel bir çalışmaya dayanmadığı, zaman zaman aynı güzergâhın tekrar kullanıldığı gözlemlenmiştir. Belediyenin günlük atık toplama rotalarına ait veriler Tablo 4’de verilmektedir. Mevcut atık toplama ve taşıma sisteminde aralarındaki mesafe yakın olan birçok konteynırın dolmadığı gözlemlenmiştir. Kırsal bölgelerde yer alan konteynırlar 2 veya 3 günde bir kez boşaltılmakta, kentsel bölgelerde ise özellikle nüfus yoğunluğunun ve ticari yaşamın çoğunlukta olduğu ana arterlerdeki konteynırlar gündüz ve gece rotalarında olmak üzere günde 2 kez boşaltılmaktadır.

Kentsel bölgelerde arkadan yüklemeli, sıkıştırılmalı atık toplama işlemini yürüten araçlar ortalama 200 civarında konteynır ile kapasitelerini doldururken, kırsal bölgelerde ortalama 160 tane konteynır ile araçların kapasitesi dolmaktadır. Atık toplama araçlarının geçmiş dönemlere ait istatistik verileri değerlendirildiğinde, her 100 km’de ortalama 64 L yakıt tükettikleri sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. Günlük atık toplama rotalarına ait veriler (Erzurum Palandöken Belediyesi, 2019)

Toplama Rotası	Yapılan Yol Miktarı (km/gün)	Çalışan Personel Sayısı (kişi)	Kullanılan Yakıt Miktarı (L)	Toplam Geçen Süre (dk)	Toplanan Atık Miktarı (kg)
1 Gündüz	49	3	31,36	199	7800
2 Gündüz	53	3	33,92	200	9340
3 Gündüz	50	3	32	214	6880
4 Gündüz	47	3	30,08	218	8060
5 Gündüz	49	3	31,36	207	8960
6 Gündüz	45	3	28,80	208	8400
7 Gündüz	48	3	30,72	199	7860
1 Gece	51	3	32,64	301	8880
2 Gece	79	3	50,56	290	10060
3 Gece	54	3	34,56	265	6340
4 Gece	57	3	36,48	289	7260
5 Gece	57	3	36,48	198	8520
6 Gece	79	3	50,56	329	10140
7 Gece	49	3	31,36	272	7740
Toplam	767	-	490,88	3389	116240
Ortalama Değer	54,78	-	35,06	242,07	8303
Birim Değer	1	-	0,64	4,42	151,55

Her araç tamamladığı güzergâh sonunda Erzurum Büyükşehir Belediyesi bünyesinde işletilen ve Adaçay mevkiinde bulunan Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında atık boşaltımı yapmaktadır. Günlük tekrar edilen 14 rotanın ortalaması incelendiğinde; 54.78 km'de 35.06 L yakıt kullanılarak 242.07 dk'lık süre zarfında 8303 kg atık toplandığı sonucuna ulaşılmaktadır. Aynı zamanda 1 km'de 0.64 L yakıt kullanılarak 4.42 dk'lık süre zarfında 151.55 kg atık toplandığı hesaplanmaktadır.

3.6. Atık Toplama Maliyeti

Palandöken ilçe sınırları içerisinde sabit konteynır sistemi ile gerçekleştirilen evsel katı atık toplama ve taşıma organizasyonları için 2018 yılına ait maliyet analizi yapılmıştır.

a) Konteynır bakım-onarım maliyeti: Palandöken İlçe Belediyesi sorumluluğunda olan ortalama 2000 konteynır arasında ekonomik ömürlerini dolduranların yenisi ile değişimi, tamir ve benzer bakım onarım maliyetleri aylık ortalama 6 250.00 TL olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda yıllık konteynır bakım-onarım maliyeti 75 000.00 TL tutarında olacaktır.

b) Personel maliyeti: Palandöken İlçe Belediyesi bünyesinde evsel katı atık toplama taşıma organizasyonlarında aktif görev yapan toplam 30 tane işçi ve 16 tane şoför bulunmaktadır. Palandöken Belediyesi'nden alınan veriler doğrultusunda EKAP üzerinden personel maliyetleri hesaplanmıştır (Anonim, 2019).

c) Araç maliyeti: Evsel katı atık toplama taşıma organizasyonlarında görev yapan toplam 9 tane atık toplama aracı kullanılmaktadır. Palandöken Belediyesi atık toplama araçlarını hizmet alımı yöntemi ile çalıştırmakta ve amortisman ile kira giderleri adı altında her bir araç için günlük 754.00 TL maliyeti karşılamaktadır.

2018 yılı içerisinde araçların kullandığı akaryakıt fiyatları değişkenlik gösterdiğinden ortalama litre fiyatı 6.00 TL olarak kabul edilmiştir. Palandöken İlçe Belediyesi'nin 2018 yılına ait evsel katı atık toplama taşıma maliyetlerine bakıldığında işçilik giderlerine 1 810 795.04 TL, araç giderlerine 4 121 016.00 TL ve konteynır bakım onarım giderlerine 75 000.00 TL olmak üzere toplam 6 006 811.04 TL bütçe ayrıldığı tespit edilmiştir. 2018 yılı içerisinde Palandöken İlçe Belediyesi tarafından evsel katı atıkların toplanıp, bertaraf noktasına kadar taşınması için; ilçe sınırları içerisinde ikamet eden her bir birey adına yıllık 35.62 TL veya ton atık başına 136.85 TL kadar maddi kaynak kullanıldığı tespit edilmiştir. 2018 yılına ait katı atık toplama ve taşıma verileri Tablo 5'de verilmiştir.

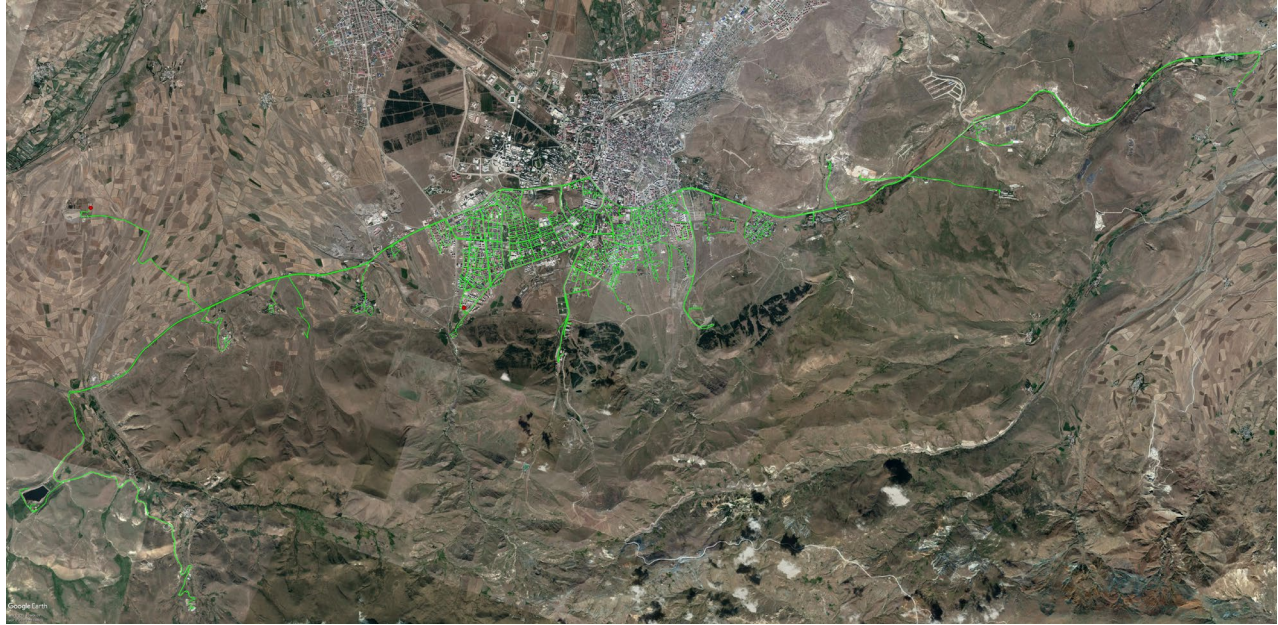
Tablo 5. 2018 yılı atık toplama taşıma maliyet analizi

Personel Giderleri	1 810 795.04 TL
Araç Gideri	4 121 016.00 TL
Konteynır bakım-onarım gideri	75 000.00 TL
Toplam	6 006 811.04 TL
2018 yılı üretilen katı atık miktarı	43 892 500 kg
Ton atık başına maliyet	136.85 TL ton ⁻¹
2018 yılı ilçe nüfusu	168 651 kişi
Kişi başı yıllık atık toplama taşıma maliyeti	35.62 TL kişi ⁻¹ yl ⁻¹

3.7. Atık Toplama Rotasyon Optimizasyonu

Konteynırları numaralandırma çalışması kapsamında ilçe genelinde toplam 1250 noktada 1950 adet konteynır varlığı tespit edilmiştir. Kentsel ve kırsal olarak iki bölgeye ayrılan Palandöken ilçesinde evsel katı atık toplama taşıma sistemlerinde optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Mevcut sistemde olduğu gibi sabah akşam vardiya şeklinde çalışılacak olup, sabah vardiyasında 8 araç kentsel bölgede toplama taşıma çalışmalarını yürütürken akşam vardiyasında 2 araç ile kırsal bölgenin atığı toplanacaktır. Sabah vardiyasındaki 8 araç her gün aynı çalışmaları tekrar ederken akşam vardiyasında 2 araç iki günde 1 kez çalışma yapacaklardır. Kırsal bölgelerde evsel katı atık üretim hızı düşük olduğundan iki günde 1 kez toplama yeterli olacaktır. Mevcut sistemde yer alan ana arterlerdeki konteynırların günde iki kez toplanması ihtiyacı doğması durumunda ana arterlere ilave konteynırlar yerleştirilerek sistemin sürekliliği sağlanacaktır. Bu sistem ile kentsel bölgede 8 rota (a, b, c, d, e, f, g, h) kırsal bölgede 2 rota (k, m) olmak üzere toplamda 10 ayrı rota takip edilecek, ancak gün içerisinde 9 rota ile çalışmalar yürütülecektir. Mevcut sistemde günlük tekrar edilen 14 rota 9'a indirilecektir. Optimize edilen toplama taşıma alanlarının tümünü gösteren harita Şekil S2'de verilmiştir.



Şekil S2. Optimize edilen toplama taşıma alanlarının tümünü gösteren harita

Bu hatların optimize haftalık çalışma planı Tablo 6’da verilmiştir. Kentsel bölgede 1030 ayrı noktada 1624 konteynır yer alırken, kırsal bölge sınırları içerisinde 220 ayrı noktada 326 konteynır kalmaktadır. İlçe genelinde tüm konteynırların toplanmasını sağlayacak şekilde Google earth programı kullanılarak deneme yanılma yöntemi ile en kısa 10 rota çizimi gerçekleştirilmiştir. Kentsel bölgedeki rotalar a, b, c, d, e, f, g, h, kırsal bölgedeki rotalar k, m harfleri ile adlandırılmıştır. Çizilen rotalara ait veriler Tablo 7’de yer almaktadır. Tablo 7’de verilen optimize rotaların kullanımı sonucu elde edilecek veriler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 6. Optimize haftalık çalışma planı

	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sabah	a-b-c-d-e-f-g-h	a-b-c-d-e-f-g-h	a-b-c-d-e-f-g-h	a-b-c-d-e-f-g-h	a-b-c-d-e-f-g-h	a-b-c-d-e-f-g-h	a-b-c-d-e-f-g-h
Akşam	k	m	k	m	k	m	k
Günlük rota sayısı	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 7. Optimize atık toplama rotalarına ait veriler

Toplama Rotası	Yapılan Yol Miktarı (km)	Konteynır Olan Nokta Sayısı	Toplanan Konteynır Sayısı	Çalışan Personel Sayısı	Kullanılan Yakıt Miktarı (L)
a	46	124	211	3	29,44
b	48	145	215	3	30,72
c	46	157	205	3	29,44
d	49	157	219	3	31,36
e	55	100	197	3	35,20
f	55	138	197	3	35,20
g	51	94	187	3	32,64
h	50	115	193	3	32
k	103	119	159	3	65,92
m	107	101	167	3	68,48

Tablo 8. Optimize atık toplama verimi analizi

	Yol Miktarı (km)	Yakıt Miktarı (L)	Atık Miktarı (kg)
Toplam (Günlük) Değer	505	323,20	116240
Ortalama (Rota) Değer	56,11	35,91	12915
Birim Değer	1	0,64	230,18

3.8. Maliyet Minimizasyonu

Optimize edilmiş toplama-taşıma sistemi için gerekli olan personel giderleri Tablo 9’da verilmiştir. Palandöken ilçesinde optimize edilen evsel katı atık toplama taşıma organizasyonu kapsamında ilçede yer alan konteynırların sayısında ve yerlerinde küçük çaplı değişiklikler yapılabileceği ihtimali öngörülerek mevcut durumda 75.000,00 TL olan konteynır bakım onarım yıllık maliyeti 80.000,00 TL olarak kabul edilmiştir.

Tablo 9. Optimize sistem personel maliyeti

İşçilik Giderleri	Birim Maliyet	Aylık Maliyet	Yıllık Maliyet
Şoför (11)	3 361.27 TL	36 973.97 TL	443 687.64 TL
İşçi (20)	2 973.42 TL	59 468.40 TL	713 620.80 TL
İş Güvenliği Eğitim Gideri	-	5 000.00 TL	60 000.00 TL
Diğer (Elbise, Ayakkabı vb.)	-	-	30 000.00 TL
Toplam	-	-	1 247 308.44 TL

Optimize sistemde gün içerisinde gerçekleştirilecek rota sayısı 9'a düşürülmüştür. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan personel sayısı 18 tane işçi, 9 tane şoför ve 2 tane yedek işçi ile 2 tane yedek şoför olmak üzere toplam 31 olarak belirlenmiştir.

Optimize sistemde araç sayısı ile araçların bakım onarım maliyetinde değişiklik olmayacağı öngörülmüş olup, sadece günlük yapılan yol miktarına bağlı olarak yakıt maliyeti hesaplanmıştır. Akaryakıt litre fiyatı ortalama 6,00 TL olarak kabul edilmiştir. Bu durumda optimize edilmiş taşıma-toplama sisteminin araç maliyetleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Optimize sistem araç maliyeti

Araç Giderleri	Günlük Maliyet (1 araç)	Aylık Maliyet (9 araç)	Yıllık Maliyet (9 araç)
Yakıt	-	58 176.00 TL	707 808.00 TL
Bakım-Onarım	-	30 000.00 TL	360 000.00 TL
Sigorta	-	-	16 200.00 TL
Muayene	-	-	3 600.00 TL
Kiralama-Amortisman	754.00 TL	-	2 476 890.00 TL
Toplam			3 564 498.00 TL

Bu çalışma kapsamında uygulanan optimize güzergâhların çizimi ile sistematik çalışma programı mevcut sisteme oranla yıllık maliyetlerde düşüş sağladığı gibi konteynırların unutulma veya benzer sebeplere bağlı olarak boşaltılmaması riskini de ortadan kaldırmaktadır. Optimize taşıma sisteminin toplam maliyetini gösteren veriler tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Toplama taşıma sistemleri maliyet analizi

	Mevcut Sistem	Optimize Sistem	Değişim Oranı (%)
Konteynır Bakım Gideri	75.000,00 TL	80.000,00 TL	+ 6,67
İşçilik Gideri	1.810.795,04 TL	1.247.308,44 TL	- 31,12
Araç Gideri	4.121.016,00 TL	3.564.498,00 TL	- 13,50
2018 Yılı Toplam Maliyet	6.006.811,04 TL	4.891.806,44 TL	- 18,56

Kişi başına yıllık atık toplama maliyeti düşük gelirli ülkelerde 3-6 \$ arasında, orta gelirli ülkelerde 9-21 \$ arasında ve yüksek gelirli ülkelerde 42-70 \$ arasında değişmektedir. Ton atık başına toplama-taşıma maliyeti ise düşük gelirli ülkelerde 15-30 \$ arasında, orta gelirli ülkelerde 30-70 \$ arasında ve yüksek gelirli ülkelerde 70-120 \$ arasında değiştiği uluslararası çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur (Cointreau-Levine, 1994). Bu değerler Palandöken ilçesinde kişi başı yıllık atık toplama maliyeti 6,10 \$, ton atık başına maliyet 22.80 \$ olduğu tespit edilmiş olup, bu veriler ışığında düşük gelirli ülkeler sınıfında yer alındığı sonucuna ulaşılmıştır. Palandöken ilçesinde optimize edilen toplama taşıma organizasyonlarına ait (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (k) ve (m) rotaları Şekil S3-S12'de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil S3. (a) rota güzergâhı



Şekil S4. (b) rota güzergâhı



Şekil S5. (c) rota güzergâhı



Şekil S6. (d) rota güzergâhı



Şekil S7. (e) rota güzergâhı



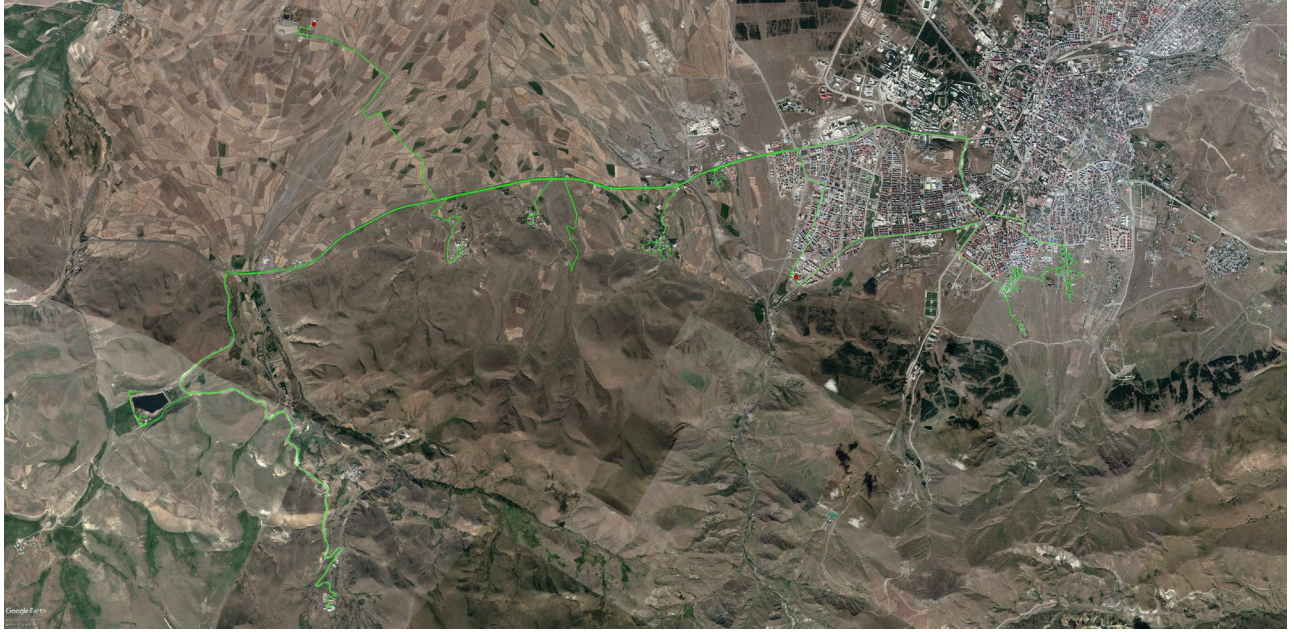
Şekil S8. (f) rota güzergâhı



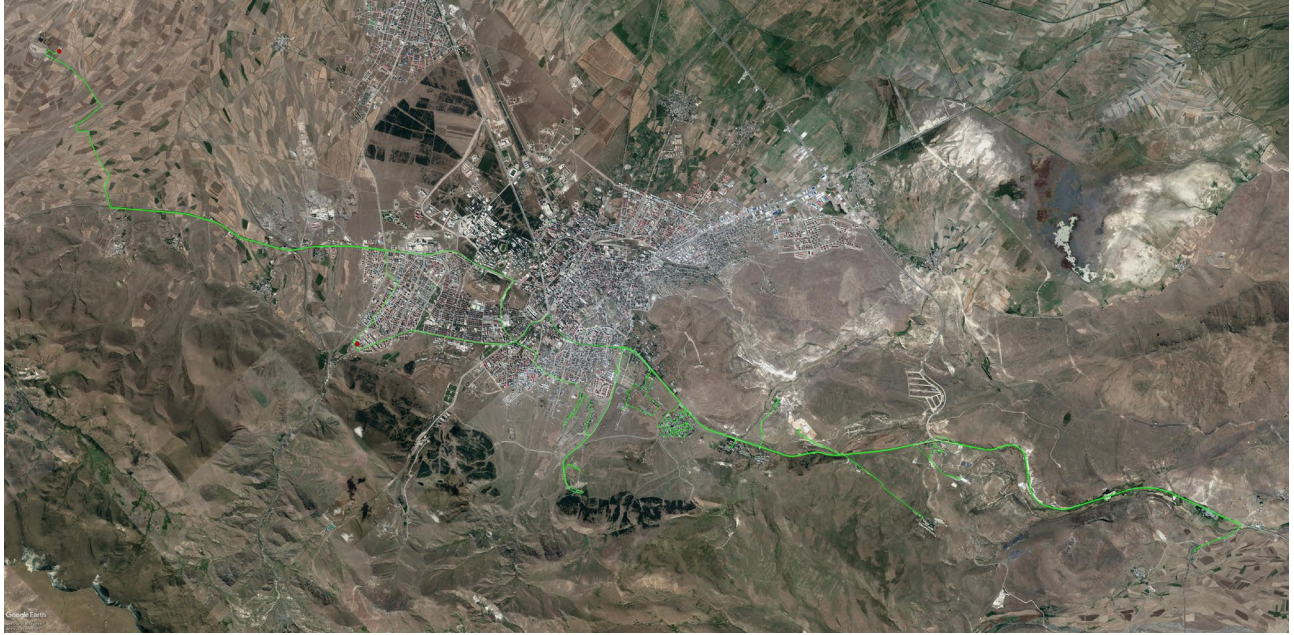
Şekil S9. (g) rota güzergâhı



Şekil S10. (h) rota güzergâhı



Şekil S11. (k) rota güzergâhı



Şekil S12(m) rota güzergâhı

SONUÇ:

Bu çalışma kapsamında Erzurum ili Palandöken ilçesi özelinde gerçekleştirilen evsel katı atık toplama ve taşıma sistemlerine ait süreç her yönü ile incelenmiştir. Evsel katı atıkların karakterizasyonu, miktarı ve projeksiyonuna dair çalışmalar yürütülmüş, Google earth programı kullanılarak en uygun güzergâhların belirlendiği rota optimizasyon

çalışması yapılmıştır. Atıkların etkin, verimli ve düzenli bir şekilde toplanması ve taşınması amacı ile minimum maliyetli sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda aşağıda yer alan sonuçlara ulaşılmıştır;

Palandöken ilçesinde günlük üretilen ortalama 120 ton evsel katı atık sabit konteynır sistemi kullanılarak gerçekleştirilen toplama taşıma işlemleri sonunda bertaraf noktasına ulaştırılmaktadır. Bu süreç 9 adet 13 m³ depolama, 1.5 m³ yükleme haznesine sahip arkadan yüklemeli sıkıştırılmalı atık toplama aracı ve 30 tane işçi, 16 tane şoför olmak üzere toplam 46 tane personel vasıtası ile yürütülmektedir. Palandöken ilçesinde 2018 yılı içerisinde toplam 43 893 ton evsel katı atık üretilmiş olup, ilerleyen yıllarda atık miktarının %2,2 oranında geometrik olarak artacağı kabulü yapılarak 2050 yılında 126 781 ton evsel katı atık üretileceği öngörülmüştür. Ayrıca 2018 yılına ait veriler kullanılarak kişi başı günlük atık miktarının 0.71303 kg olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcut sistemin 2018 yılına ait maliyeti 6 006 811.04 TL olarak hesaplanmış, bu tutarın %68,60'ını araç giderleri, %30,15'ini işçilik giderleri ve %1,25'ini konteynır bakım onarım masraflarının oluşturduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında fiziki şartlar (çıkamaz sokak, trafik durumu vb.) dikkate alınarak en uygun güzergâhlar takip edilip, Google earth programı vasıtası ile 10 ayrı atık toplama rotası oluşturulmuştur. Gün içerisinde 9 ayrı rota takip edilecek şekilde çalışma programı hazırlanmıştır. Sisteme daha kolay uyum sağlanması ve rotaların dışına çıkılmaması için her bir araca yerleştirilecek olan tabletlerde kullanılacak navigasyon cihazlarına benzer şekilde araçları takip etmeleri gereken güzergâhlarda yönlendirecek program geliştirilebilir. Ayrıca program içerisine numaralandırılmış konteynırların konumları da eklenerek personel arasındaki iletişim ve çalışma şartları iyileştirilebilir.

Mevcut sistemde 1 km'de 0.64 L yakıt kullanılarak 4.42 dak'lık süre zarfında 151.55 kg atık toplandığı hesaplanmış, optimize sistem ise 1 km'de 0.64 L yakıt kullanılarak 230.18 kg atık toplanacak şekilde organize edilmiştir. Mevcut sisteme göre atık toplama veriminin yaklaşık %50 oranında arttığı göze çarpmaktadır. İlçe sınırları içerisinde gerçekleştirilen evsel katı atık toplama taşıma sistemindeki optimize çalışmaları ile kat edilen yol miktarında, iş gücünde ve harcanan zamanda tasarruflar sağlanmış, yıllık maliyetlerde düşüş kaydedilmiştir. Mevcut sistemde kullanılan yıllık bütçede %18,56 oranında tasarruf yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu sonuçlarla beraber, katı atık toplama ve taşıma sisteminde maliyetin düşürülmesinin en etkili yolunun oluşan katı atık miktarının azaltılması ve geri dönüşümün sağlanması olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca akıllı şehirler oluşturma kapsamında araçlara eklenecek navigasyon ve bazı izleme cihazları ile taşıma sisteminin optimizasyonunun da mümkün olduğu düşünülmektedir.

Etik Standart ile Uyumluluk

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Etik Kurul İzni: Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

Teşekkür: Bu çalışmada hiçbir destekten kaçınmayan Erzurum Büyükşehir Belediyesi ve Palandöken Belediyesi yönetici ve çalışanlara teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA:

Anonim, 2018a. <http://www.palandoken.gov.tr/cografi-durum> Erişim Tarihi: 24.04.2021.

Anonim, 2018b. <http://www.nufusune.com/palandoken-ilce-nufusu-erzurum> Erişim Tarihi: 24.04.2021.

Aydın, T., 2015, Samsun 19 Mayıs İlçesi Katı Atık Toplama Taşıma Sisteminin Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Chatzouridis, C. and Komilis, D., 2012, A Methodology to Optimally Site and Design Municipal Solid Waste Transfer Stations Using Binary Programming, Resources, Conservation and Recycling, 60, 89-98.

Çakır, M., Yetiş, A. D., Yeşilnacar, M., Ulukavak, M., 2019, Katı Atıklar için Optimum Güzergâh Tespiti ve Alansal Dağılım Haritalarının CBS Ortamında Oluşturulması: Suroç (Şanlıurfa) Örneği, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(2), 595-603. doi:10.17798/bitlisfen.482893.

Das, S. and Bhattacharyya B.K., 2015, Optimization of Municipal Solid Waste Collection and Transportation Routes, Waste Management, 43, 9-18.

Erzurum Büyükşehir Belediyesi, 2018, Erzurum Merkez İlçelerinde Üretilen Evsel Katı Atık Bileşenlerinin Yüzdesi.

Erzurum Palandöken Belediyesi, 2018, 2018 Yılında Palandöken İlçesinde Üretilen Evsel Katı Atık Miktarları.

Erzurum Palandöken Belediyesi, 2019, Günlük Atık Toplama Rotalarına Ait Veriler.

Hanay, Ö., Koçer, N., 2006, Elazığ Kenti Katı Atıkları Geri Kazanım Potansiyelinin Belirlenmesi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (4), 507-511, 2006.

Cointreau-Levine, S.C., 1994, Private Sector Participation in MSW Services in Developing Countries, Volume 1: The Formal Sector, The World Bank, 1994, Washington DC.

Karakol, S., 1999, Optimization of solid waste collection system of Antalya. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 1-198.

Kınacı C, Görgün E, Arslan M, Armadan B, 2000. Private Sector Participation in Municipal Solid Waste Services-A Case Study for Kadikoy of Istanbul in Turkey. In: Wastecon 2000. Biennial Conference and Exhibition on Integrated Waste Management in The Millennium, I, 5-7 September 2000, Cape Town, South Africa, 123-130.

Mantzaras, G. and Voudrias E.A., 2017, An Optimization Model for Collection, Haul, Transfer, Treatment and Disposal of Infectious Medical Waste: Application to a Greek Region, Waste Management, 69, 518-534.

Quon J.E., Tanaka M., Charnes A., 1965, Simulation and Analyses Of A Refuse Collection System, ASCE Journal of SanitaryEngineering Divition, 91(5). https://doi.org/10.1061/JSEDAI.0000575.

Solak, S., ve Pekçüçükşen, S., 2018, Türkiye'de Kentsel Katı Atık Yönetimi: Karşılaştırmalı Bir Analiz, MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7(3).

Taşpınar, F. and Uslu, M. A., 2018. Evaluation Of Energy Potential Of Municipal Solid Waste For Direct Waste Combustion in Istanbul, 16th International Conference on Clean Energy, 9-11 May 2018, Gazimağusa, Cyprus.

Türkiye Belediyeler Birliği, 2016, Katı Atık Geri Dönüşüm ve Arıtma Teknolojileri El Kitabı, Ankara.

Yalçinkaya, S., 2020, Katı Atık Toplama ve Taşıma Sisteminden Kaynaklanan Hava Kirleticileri Emisyonlarının Mekansal Analiz Teknikleri ile Farklı Araç Kapasiteleri için Hesaplanması: İzmir Çiğli Örneği, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6, 366-376.

Yıldız, Ş., Saltabas, F., Yalçinkaya, S., Kemirtlek, A., 2009, Katı Atık Toplama ve Taşıma Optimizasyonu Kağıthane Örneği, Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı TÜRKAY 2009, 15-17 Haziran, İstanbul, ss.17-25.