



Journal of Turkish Operations Management

Tıbbi atık toplama araçlarının rotalaması için matematiksel model önerisi: Samsun ilinde bir uygulama

Ahad Furugi^{1*}

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

e-mail: ahad.furugi@omu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5875-1446>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 21.07.2021

Revize: 05.08.2021

Kabul: 07.09.2021

Anahtar Kelimeler:

Araç Rotalama Problemi,
Tıbbi Atık Toplama Yönetimi,
Matematiksel Model,
Optimizasyon,

Özet

Türkiye, son yirmi yılda sağlık hizmetlerinde gelişmeye ve sağlık kuruluşları sayısında hızlı bir artışa tanık olmuştur. Bu büyüme ile birlikte, üretilen tıbbi atığın miktarı da artmıştır. Dolayısıyla tıbbi atıklardan kaynaklanan çevresel ve sağlık risklerini ortadan kaldırmak için, doğru bir tıbbi atık yönetim sistemi gerekmektedir. Ayrıca tıbbi atıkların toplanması oldukça önemli ve maliyetli bir hizmettir. Bu çalışmada, tıbbi atıkların toplanmasında, araçların ulaşım mesafelerini ve maliyetini en aza indirmek için kapasite kısıtlı periyodik araç rotalama problemi ele alınmıştır. Uygulama kapsamında Samsun'da tıbbi atık yönetimi alanında faaliyet gösteren bir işletmenin, tıbbi atık toplayan araçlarının en uygun rotalarının belirlenmesi için tamsayı matematiksel model önerilmiştir. Modelin çözümünden elde edilen optimum rotalar, mevcut rotalar ile karşılaştırılmıştır. Mevcut durumla kıyasla, hem toplam rota uzunluğunda hem kullanılan araç sayısında tasarruf sağlanmıştır.

A mathematical model for routing medical waste collection vehicles: an application in Samsun

Article Info

Article History:

Received: 21.07.2021

Revised: 05.08.2021

Accepted: 07.09.2021

Keywords:

Vehicle routing problem,
Medical waste collection management,
Mathematical model,
Optimization

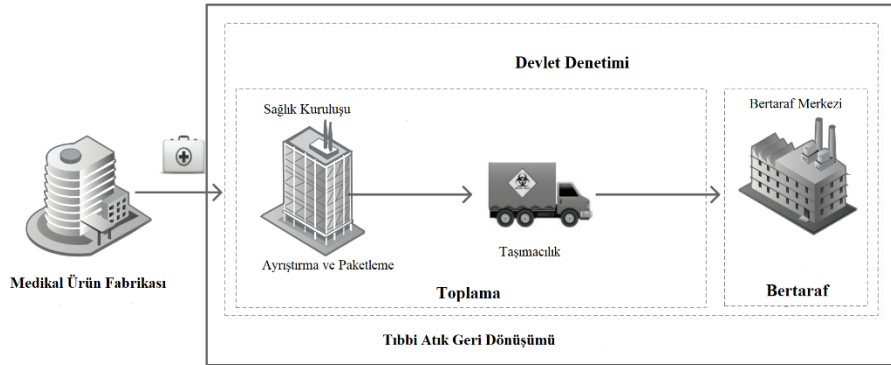
Abstract

Over the past twenty years, Turkey has witnessed an increase in the number of health organizations and the rapid growth of the health care system. With this growth, the amount of produced medical waste has also increased. Therefore, a rigorous medical waste management system is needed to eliminate medical waste's environmental and health hazards. In addition, medical waste collection is a significant and expensive service. In this study, the capacitated periodic vehicle routing problem is addressed to minimize the transportation distances and cost of the medical waste collection vehicles. An integer mathematical model has been developed to determine the most appropriate routes of vehicles that collect medical waste from health institutions for an enterprise operating in the field of medical waste management in Samsun. The optimum routes obtained from solving the mathematical model have been compared with the existing routes. Compared to the current situation, savings have been achieved in both the total length of the routes and vehicles used.

1. Giriş

Her toplumda hastaneler, laboratuvarlar, araştırma merkezleri, diyaliz merkezleri, sağlık ocakları, veterinerlik klinikleri gibi farklı sağlık merkezleri tarafından çeşitli sağlık hizmetleri sunulmaktadır. Bu tesisler günlük faaliyetleri sırasında birçok farklı atık üretmektedirler. Dünya Sağlık Teşkilatı'na (WHO) göre "sağlık kuruluşları, araştırma kuruluşları ve laboratuvarlar tarafından oluşturulan tüm atıklar ile evde yapılan tıbbi bakım (diyaliz, insülin enjeksiyonları) esnasında üretilen atıklar gibi küçük veya dağınık durumda bulunan kaynaklardan çıkan atıklar" tıbbi atıklar olarak tanımlanmaktadır (Güvez ve diğ., 2012). Eskiden, tıbbi atıklar belediye katı atıkları ile birlikte toplanıp bertaraf edilmekte idi. Ülkemizde tıbbi atıklar konusunda ilk çalışmalar 09.08.1983 tarih ve 2872 sayılı Çerçeve Kanunu ve bu kanuna bağlı olarak çıkarılan 20.05.1993 tarih ve 21586 sayılı Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) ile başlamıştır. 22.07.2005 tarih ve 25883 sayı ile Resmi Gazete'de yayınlanan "Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" ile bu alanda yapılacak uygulamalar yeniden düzenlenmiştir (Erdoğan, 2018).

Tıbbi atıklarda bulaşıcı mikrop ve virüslerin varlığı nedeniyle enfeksiyon yayılma tehlikesi oldukça yüksektir. Tıbbi atıkların doğru bir şekilde toplanıp ve imha edilmemesi ve bu sürecin yanlış yönetilmesi, HIV / AIDS, hepatit B veya hepatit C gibi ciddi hastalıklara neden olmaktadır. Bu nedenle, sağlık kuruluşlarında enfeksiyon bulaşmasını en aza indirmek için tıbbi atıklar ayrı olarak toplanması ve atılması gerekmektedir. Çoğu orta ölçekli hastane ve coğrafi olarak dağınık çok sayıda klinik, bir tıbbi atık sterilizasyon veya imha tesisine sahip değildir. Bu nedenle, bu hizmetleri sağlayabilen özelleştirilmiş bir atık yönetim işletmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işletmeler tarafından, tıbbi atıkların toplama usulüne ve tekniğine uygun olarak toplanması, geçici depolanması, taşınması ve imha edilmesi yapılmaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi tıbbi atıkların doğru ve sağlıklı bir şekilde toplanması ve bertaraf edilmesi için bütün süreç çoğu hükümetlerin denetiminde gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde Tıbbi atıkların kontrolü yönetmeliğine göre tıbbi atıkların diğer atıklardan ayrı toplanması ve geçici depolanması sağlık kuruluşlarının, depolardan alınarak taşınması ve imha edilmesi belediyelerin, denetim ve yaptırım ise Çevre ve orman Bakanlığı'nın sorumluluğundadır.



Şekil 1. Tıbbi atık geri dönüşümü ve bertaraf süreci (He ve diğ., 2016)

Bu süreç içerisinde toplam tıbbi atık yönetim maliyetinin önemli bir bölümünü taşıma maliyeti oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu tür işletmelerin daha ekonomik ve verimli şekilde çalışabilmesi için uygun bir atık toplama planlamasına sahip olmaları gerekmektedir.

Atık toplama, bir Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak ele alınabilmektedir (Belien ve diğ., 2014). Araç rotalama problemi ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında yazdıkları çalışma ile ortaya çıkmıştır (Dantzig ve Ramser, 1959). Araç rotalama problemi mal, posta ve hammadde gibi çeşitli gönderilerin dağıtımında veya atık gibi çeşitli gönderilerin toplanmasında en uygun rotaların belirlenmesini amaçlayan bir kombinatoriyal eniyileme (optimizasyon) problemidir. Son 20 yılda, atık toplama probleminin çözümü için ARP kullanımı, çeşitli araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. Angelelli ve Speranza (2002)'nin çalışmasında, farklı atık toplama sistemlerinin işletme maliyetlerini tahmin etmek için üç farklı atık toplama sistemine uygun model önerilmiş ve iki vaka çalışmasıyla (İtalya'da Val Trompia ve Belçika'da Antwerp kentleri) ilgili sonuçlar sunulmuştur. Aringhieri ve diğ. (2004a) tarafından İtalya'da geri dönüşümlü atıkların toplanması için bir vaka çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada atıklar, müşteriler tarafından atık malzeme türlerine göre uygun geri dönüşüm kutularında toplanmakta, geri dönüşüm kutusunun dolması durumunda, müşteriler dolu kutuyu boşaltmak veya boş bir kutu talep etmek için atık toplama merkezine çağrıda bulunmaktadır. Atık toplama merkezinin araçların rotalama probleminin çözümü için bir graf tabanlı model önerilmiştir. Cam, metal ve gıda gibi özel atıkların toplanması üzerine Aringhieri ve diğ. (2004b) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Li ve diğ. (2008) çalışmalarında, Brezilya'daki Porto kenti için çöp toplama ve planlama problemini tek depolu araç rotalama problemi olarak

çözmüşlerdir. Kyessi ve Mwakalinga (2009) çalışmalarında, Tanzanya'da Dar-es-salaam kenti için atık toplama probleminin modellenmesinde coğrafi bilgi sistemini (CBS) kullanmışlardır. Benzer şekilde, Firinci ve diğ. (2009), Kuzey Kıbrıs'taki atık toplama araçlarının rotalarını optimize etmek için CBS tabanlı bir pilot çalışma yapmışlardır. Fooladi ve diğ. (2015) tarafından, atık toplama araçlarının en uygun rotasını belirlemek için karma tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel model önerilmiş ve modelin çözümü için LINGO- 0.9 yazılımını kullanılmıştır. Alakaş ve diğ. (2018) çalışmalarında, Kırıkkale ili için geri dönüştürülebilir atıkların toplanma problemi ele alıp ve matematiksel model oluşturarak, haftanın her günü için araç rotalarını belirlemişlerdir. Özkök ve Kurul (2014) çalışmalarında, İstanbul'da gıda sektöründe faaliyet gösteren bir dağıtım işletmesinin, ürün dağıtımında kullandığı araç/araçlar için en uygun rotaları belirlemek için tamsayılı lineer programlama modeli kullanmışlar ve bu modelden elde edilen sonuçlar ile mevcut durum karşılaştırmışlardır.

Literatürde, tıbbi atık toplama problemi için araç rotalama ve çizelgeleme çalışmaları oldukça azdır. Shih ve Chang (2001) tarafından tıbbi atıkların toplama süreci incelenmiş ve atıkların toplama rotaları ve çizelgesi için iki aşamalı yaklaşım önerilmiştir. Türkiye'de Alagöz ve Kocasoy (2008), MapInfo ve Roadnet adlı paket programları kullanarak İstanbul şehrinin tıbbi atık toplama ve araç rotalama problemini çözmüşlerdir. Güvez ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, Kırıkkale ilinde özel bir firmanın tıbbi atıkların toplanması için uyguladığı rotayı incelemiş ve optimum rotaları belirlemişlerdir. Ouertani ve diğ. (2020) çalışmalarında, tehlikeli tıbbi atıkların toplanması ve taşınması problemini, kapasite kısıtlı araç rotalama problemi olarak ele alıp matematiksel model önermişlerdir. Romanya'nın Dolj kentinde tıbbi atıkların en az riskli rotalardan taşınması için Taslimi ve diğ. (2020) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Taslimi ve diğ. (2020) çalışmalarında, periyodik yüke bağlı kapasite kısıtlı araç rotalama modeli önermiş ve problemi çözmek için ayrıştırma tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Eren ve Tuzkaya (2021) çalışmalarında, tıbbi atıkların İstanbul ili içinde en güvenli ve en kısa yoldan taşınmasına yönelik matematiksel model önermişlerdir.

Önceki çalışmalara ilişkin literatür taraması, tıbbi atık toplama problemi için araç rotalama ve çizelgeleme çalışmalarının birkaç çalışma ile sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. literatürdeki bu alanda var olan araştırma boşluğu ve Samsun ilinde tıbbi atıkların toplanmasında kullanılan araçların rotalanması ihtiyacı, bu çalışmanın motivasyon kaynağını oluşturmuştur. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Geliştirilen matematiksel model, GAMS 24.1 sürümlü paket programı ile kodlanmış, CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Makalenin diğer bölümleri aşağıdaki sıraya göre düzenlenmiştir. İkinci bölümde, kapasite kısıtlı periyodik araç rotalama problemi tanımlanmış ve tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Üçüncü bölümde, uygulama kısmına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, önerilen modelin çözümünden elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Son bölümde ise yapılan çalışma değerlendirilerek gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

2. Problem Tanımı

Klasik ARP'de tipik olarak planlama dönemi tek bir gündür. Ancak literatürde planlama dönemi T-gün olan araç rotalama problemlerine periyodik araç rotalama problemi (P_ARP) adı verilmiştir (Coene ve diğ., 2008). Periyodik ARP'de belirli bir dönemin planı en başta yapılmaktadır ve müşteriler bu süreçte birden fazla hizmet alabilmektedir. Müşterilere yapılacak hizmet sayısı, araç kapasitesi ve müşterilerin talep miktarlarına göre değişmektedir. Tıbbi atıklar enfeksiyon riski taşıdığı için uzun süre sağlık kuruluşlarında bekletilemez. Dolayısıyla büyük miktarda tıbbi atıkları olan kurumlarda, atığın her gün toplanması talep edilebilir. Daha az tıbbi atığa sahip merkezlerin atıkları ise iki veya üç günde bir toplanması yeterli olacaktır.

Bu bölümde tıbbi atıkların toplanmasında kullanılan araçların en iyi rotasını belirlemek için periyodik araç rotalama modeli geliştirilmiştir. Amaç, taşıma maliyetlerini minimize eden en uygun rotanın belirlenmesidir. Önerilen matematiksel model ve kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda verilmektedir:

İndisler:

- H Tüm düğümler (hastaneler, 1. ve H. düğümler depo olarak varsayılmıştır)
- N Araç sayısı
- G Günler kümesi (1,...,G)

Parametreler:

- R_{ij} i ve j. hastane arasındaki mesafe
- S_{ig} i. hastaneden atık toplanması gereken gün (ler)
- T_{ig} i. hastaneden g. günde toplanacak atık miktarı
- M_k k. aracın servis maliyeti
- C_k k. aracın kapasitesi

f_k k. aracın km başına yakıt maliyeti

Karar değişkenleri:

y_{jg} Alt turun oluşmaması için kullanılan pozitif değişken
 X_{ijk} $\begin{cases} 1, & \text{eğer } g. \text{ gün } k. \text{ araç } i. \text{ hastaneden } j. \text{ hastaneye giderse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$
 W_{kg} $\begin{cases} 1, & \text{eğer } g. \text{ gün } k. \text{ araç kullanılır ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

$$\min Z = \sum_{i=1}^H \sum_{j=1, j \neq i}^H \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G f_k * R_{ij} * X_{ijk} + \sum_{k=1}^N \sum_{g=1}^G M_k * W_{kg}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \neq i}^{H-1} \sum_{k=1}^N X_{ijk} \leq N \quad \begin{matrix} \forall i = 1 \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^H X_{ipkg} - \sum_{j=2}^H X_{pjkg} = 0 \quad \begin{matrix} \forall p = 2, \dots, H-1 \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (2)$$

$$\sum_{i \neq j}^{H-1} \sum_{k=1}^N X_{ijk} * S_{ig} = S_{jg} \quad \begin{matrix} \forall j = 2, \dots, H-1; \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (3)$$

$$\sum_{j=2}^{H-1} \sum_{k=1}^N X_{ijk} * S_{jg} = W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall i = 1; \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (4)$$

$$\sum_{i=2}^{H-1} \sum_{k=1}^N X_{ijk} * S_{ig} = W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall j = H; \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (5)$$

$$\sum_{i=2}^{H-1} \sum_{j=2}^H T_{ig} * X_{ijk} \leq C_k * W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (6)$$

$$y_{jg} \geq y_{jg} + 1 - (H-1) * \left(1 - \sum_{k=1}^N X_{ijk}\right) \quad \begin{matrix} \forall i, j = 2, \dots, H-1, \\ j \neq i \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (7)$$

$$y_{jg} \geq 1 \quad \begin{matrix} \forall j = 2, \dots, H-1 \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (8)$$

$$X_{ijk} = 0 \quad \begin{matrix} \forall i = 2, \dots, H-1 \\ \forall j = 1 \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (9)$$

$$X_{ijk} \leq W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall i, j = 2, \dots, H-1 \\ \forall k = 1, \dots, N \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (10)$$

$$\sum_{i=2}^{H-1} \sum_{k=1}^K X_{ijk} = \sum_{k=1}^N W_{kg} \quad \begin{matrix} \forall j = H \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (11)$$

$$y_{jg} \geq 0 \quad \begin{matrix} \forall j = H \\ \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (12)$$

$$W_{kg}, X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \begin{matrix} \forall i, j = 1, \dots, H \\ \forall k = 1, \dots, N, \forall g = 1, \dots, G \end{matrix} \quad (13)$$

Modelin amaç fonksiyonu, toplam taşıma maliyetlerini minimize etmektir. Kısıt (1)'de her hangi bir günde depodan atık toplamak için çıkış yapan araç sayısının toplamı, maksimum araç sayısını geçemez. Kısıt (2), bir düğüme giren ve çıkan araç sayısının eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (3), herhangi bir hastanenin planlanan gününde, bir aracın atık toplama rotasına dahil edilmesini sağlamaktadır. Kısıt (4-5), herhangi bir günde kullanılan her bir aracın mutlaka depodan çıkış ve giriş yapmasını sağlamaktadır. Kısıt (6) kullanılan aracın kapasitesinin aşılmayacağını göstermektedir. Kısıt (7-8) alt tur oluşmasını engelleyen kısıtlardır. Kısıt (9-11) tamamlayıcı kısıtlardır. Kısıt (12-13) ise pozitif ve $\{0,1\}$ değişkenleri ifade etmektedir.

3. Uygulama

Uygulama, Samsun merkezde tıbbi atık toplama konusunda faaliyet gösteren bir işletmede yapılmıştır. Amaç, bu işletmenin tıbbi atık toplama araçlarının zaman ve kapasite kısıtı altında en iyi rotasını belirleme ve taşıma maliyetleri en aza indirmektir. Uygulamanın yapıldığı işletmede, merkezi depo olarak adlandırdıkları bir tıbbi atık merkezi ve bu işletmenin hizmet verdiği 26 sağlık kuruluşu bulunmaktadır. Sağlık kuruluşlarının adı ve numaraları Tablo 1'de ve harita üzerinde konumları ise Şekil 2'de verilmiştir. Çalışmanın devamında sağlık kuruluşlarının adı yerine numaraları kullanılmıştır.

Tablo 1. Sağlık kuruluşlarının adı ve numarası

Sağlık Kuruluşu No	Sağlık Kuruluşu	Sağlık Kuruluşu No	Sağlık Kuruluşu
1	OMÜ Tıp Fak. Hastanesi	14	Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanesi
2	Eğitim Araştırma Hastanesi	15	Çokay Diyaliz Merkezi
3	Medikal Park Hastanesi	16	Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi Hastanesi
4	Atasam Hastanesi	17	Fizik Tıp ve Rehabilitasyon Hastalıkları Hastanesi
5	Gazi Devlet Hastanesi	18	Dünya Göz Hastanesi
6	OMÜ Diş Hekimliği Fak.	19	Samsun Diyaliz Merkezi (Diaverum)
7	OMÜ Veteriner Fak. Hayvan Hastanesi	20	Romatem Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezi
8	Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi	21	Halk Sağlığı Merkezi (Ketem)
9	Medicana Hastanesi	22	Özel İlgi Tıp Merkezi
10	Anadolu Hastanesi (Çiftlik)	23	19 Mayıs Diyaliz Merkezi
11	Anadolu Hastanesi (Meydan)	24	FBM Lazer Estetik Plastik Cerrahi Kliniği
12	Liman Hastanesi	25	Clinica Tıp Merkezi
13	Ağız ve Diş Sağlığı Hastanesi	26	Türk Kızılayı Orta Karadeniz Bölge Kan Merkezi



Şekil 2. Sağlık kuruluşlarının harita üzerindeki konumu

Merkezi depo ve sağlık kuruluşları arası mesafeler, Google harita yol tarifi özelliği kullanılarak kilometre cinsinden hesaplanmıştır ve EK1’de verilmiştir. İşletmenin her bir sağlık kuruluşundan bir ay boyunca günlük toplanan tıbbi atık verileri kullanılarak, haftanın günleri bazında toplanması gereken ortalama tıbbi atık miktarı hesaplanmış ve Tablo 2’de verilmiştir.

Mevcut durumda, sağlık kuruluşlarından merkezi depoya tıbbi atık toplamak için 3 araç kullanılmaktadır ve araçların rotası günlük talebe göre tahminen ve tecrübeye dayalı olarak belirlenmektedir. Bu araçların iki tanesinin kapasitesi 3000 kg, diğerinin kapasitesi ise 3500 kg’dır. Araçlar için işletme tarafından servis başına sırasıyla tipine göre 300 ve 500 TL’lik bir sabit servis maliyeti (M_k) belirlenmiştir. Ayrıca yakıtın litre fiyatı 7.32 TL olduğu kabulüyle, araçların km başına yakıt maliyeti (f_k) yaklaşık 1 TL/Km olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Sağlık kuruluşlarından toplanacak haftalık tıbbi atık miktarı (kg)

Sağlık Kuruluşu No	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi
1	1502	1215	1190	1190	1133	1071
2	1107	1494	1345	909	1313	847
3	400	275	284	276	270	228
4	0	335	0	323	0	336
5	418	436	391	406	390	469
6	0	0	0	238	0	0
7	0	0	0	34	0	0
8	561	0	422	0	358	0
9	0	961	0	839	0	829
10	335	0	316	0	321	0
11	166	0	161	0	167	0
12	135	0	100	0	115	0
13	106	0	189	0	197	0
14	0	47	0	0	0	0
15	128	0	73	0	0	0
16	192	0	187	0	198	0
17	0	0	63	0	0	0
18	53	0	0	0	0	0
19	120	70	0	149	0	0
20	0	34	0	0	0	0
21	0	0	0	33	0	0
22	0	0	0	0	0	25
23	0	0	0	540	0	2

24	0	0	0	0	0	75
25	0	0	0	0	0	36
26	0	561	0	0	514	0

4. Bulgular ve Tartışma

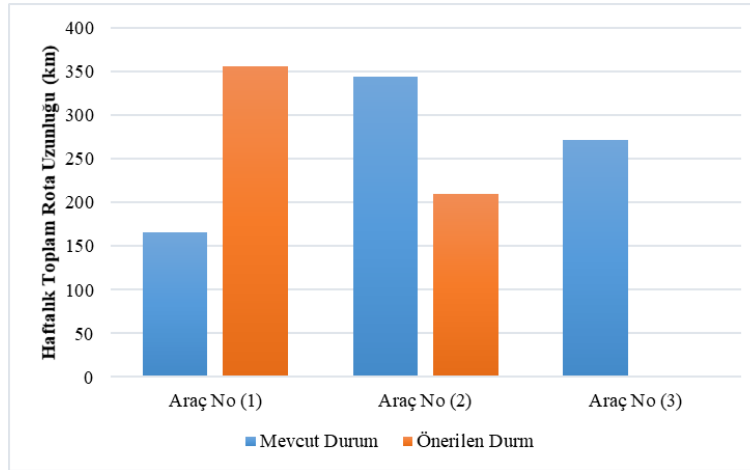
Önerilen model, GAMS paket programı ile kodlanmıştır. Problemin çözümü için CPLEX çözücü ve Intel (r) Core (TM) i7-7700 HQ 2.8 GHz işlemci ve 16 GB ram özelliğine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Problemin çözüm süresi 885 saniye olarak elde edilmiştir. Her bir araç için mevcut durumda uygulanan günlük rota ve modelin çözümünden elde edilen rota Tablo 3’de verilmiştir.

Matematiksel modelden elde edilen sonuçları ve mevcut durumu karşılaştırdığımızda, mevcut durumda tüm araçlar (1. Araç, haftada 3 gün ve 2. ve 3. araçlar ise haftada 6 gün) hizmet vermektedirler. Ancak, modelden elde edilen sonuçlara göre 3. Araçtan tasarruf edilmiş ve iki araç (1. ve 2. araçlar, haftada 6 gün) ile tüm hizmetin verilebileceği anlaşılmaktadır. Mevcut durumda toplam rota uzunluğu 782,6 km’iken, modelden elde edilen optimum sonuçta, toplam rota uzunluğunu 565,9 km olarak hesaplanmıştır. Böylelikle işletmenin kullandığı araç sayısının iki’ye düşmesinin yanı sıra, araçların haftalık kat ettiği rota uzunluğunda, 216,7 km’lik bir azalma elde edilmiştir. Araçların haftalık rota uzunluğu Şekil 3’te karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda, 1,2 ve 3 numaralı araçlar sırasıyla 166,1; 344,3 ve 272,2 km yol yaparken, önerilen durumda ise sırasıyla 356,4;209,5 ve 0 km yol yapmaktadırlar. Mevcut durumun toplam maliyeti ile önerilen durumun maliyeti (amaç fonksiyonu değeri) karşılaştırıldığında, haftalık 2316,7 TL azalma görülmektedir.

Tablo 3. Mevcut durum ve önerilen modelin çözümünden elde edilen sonuçlar

İşletmenin Mevcut Rotası		Rota Uzunluğu (km)	Modelden Elde Edilen Rota	Rota Uzunluğu (km)
Araç No (1)				
Pazartesi	D-26-2-D	29,3	D-16-1-3-12-D	60,9
Salı	-		D-2-3-1-D	53,3
Çarşamba	-		D-17-16-1-3-12-11-D	63
Perşembe	D-23-26-25-2-D	74,2	D-21-3-23-6-7-1-D	59,1
Cuma	-		D-16-1-3-12-10-11-D	64,8
Cumartesi	D-1-3-2-26-D	62,6	D-2-23-1-24-3-25-D	55,3
Araç No (2)				
Pazartesi	D-1-3-2-D	53,3	D-2-10-18-11-19-13-8-5-15-D	33,6
Salı	D-1-4-2-D	61,8	D-14-19-20-9-4-5-26-D	39
Çarşamba	D-1-3-2-D	53,3	D-2-10-5-8-13-15-D	31,6
Perşembe	D-1-6-7-3-2-D	60,8	D-4-9-19-5-2-D	36,3
Cuma	D-1-3-2-D	53,3	D-26-13-5-8-2-D	34,1
Cumartesi	D-1-4-2-D	61,8	D-22-5-4-9-D	34,9
Araç No (3)				
Pazartesi	D-12-10-11-5-13-8-16-2-D	36,3	-	-
Salı	D-4-9-5-14-15-20-2-D	48,2	-	-
Çarşamba	D-10-11-12-5-13-8-16-17-18-21-2-D	41,2	-	-
Perşembe	D-9-5-15-2-D	35,4	-	-
Cuma	D-10-11-12-5-13-8-16-21-2-D	65,6	-	-
Cumartesi	D-4-9-12-5-18-19-22-2-D	45,6	-	-
Toplam Rota Uzunluğu		782,6		565,9
Toplam Maliyet		6482,6		4165,9

D: Tıbbi atık merkezi (Merkezi Depo)



Şekil 3. Araçların haftalık rota uzunluğu karşılaştırması

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, tıbbi atıkların toplanmasında, araçların ulaşım mesafelerini ve maliyetini en aza indirmek için kapasite kısıtlı periyodik araç rotalama problemi olarak ele alınmıştır. Problem için yeni bir matematiksel model önerilerek çözüm yapılmıştır. Mevcut ve önerilen durum; araç sayısı, gidilen rota uzunlukları ve toplam maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Önerilen durumda, mevcut duruma göre, araç sayılarında, toplam rota uzunluklarında ve toplam maliyette azalma görülmektedir. Sonuç olarak, modele ait sonuçlar işletme yetkililerine sunulmuş, yetkililer tarafından işletmeye ait tıbbi atık toplama maliyetlerinde belirgin bir indirgeme sağlanacağı ve modelin uygulanabilirliği kabul edilmiştir.

Bu çalışmanın devamında, geliştirilen model diğer şehirlerde de uygulanarak benzer işletmelerde en verimli şekilde tıbbi atıkların toplanması gerçekleştirilebilir. Geliştirilen model, süt fabrikası için farklı üreticilerden süt toplama veya farklı lokasyonlarda bulunan işletmelerden periyodik olarak atık yağ toplama gibi problemlere de uygulanabilir. Ayrıca araç rotalama problemin NP-zor yapıda olduğundan, büyük boyutlu problemleri makul sürede çözmek için sezgisel veya meta sezgisel yöntemlerin geliştirilmesi üzerinde çalışmalarda yapılabilir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Alagöz, A. Z. and G. Kocasoy (2008). Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in Istanbul. *Waste Management*, 28(8): 1461-1471. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.024>

Alakaş, H. M., Ş. Kızıldaş, E. Tamer and E. Özcan (2018). Sıfır atık projesi kapsamında atıkların toplanması: kırıkale ilinde homojen çok araçlı araç rotalama uygulaması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 190-196. Erişim Adresi: <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

Angelelli, E. and M. G. Speranza (2002). The application of a vehicle routing model to a waste-collection problem: two case studies. *Journal of the Operational Research Society*, 53(9): 944-952. doi:

https://doi.org/10.1007/978-3-642-56183-2_16

Aringhieri, R., M. Bruglieri, F. Malucelli and M. Nonato (2004a). An asymmetric vehicle routing problem arising in the collection and disposal of special waste. *Electronic notes in discrete mathematics*, 17: 41-47. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.endm.2004.03.011>

Aringhieri, R., M. Bruglieri, F. Malucelli and M. Nonato (2004b). A particular vehicle routing problem arising in the collection and disposal of special waste. *Presented at Tristan 2004. Guadeloupe, French West Indies*. Erişim Adresi: https://tristanconference.org/system/tristan-v/website/pdf/abstract_00112.pdf

- Belien, J., L. De Boeck and J. Van Ackere (2014). Municipal Solid Waste Collection and Management Problems: A Literature Review. *Transportation Science*, 48(1): 78-102. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1120.0448>
- Coene, S., A. Arnout and F. Spieksma (2008). The periodic vehicle routing problem: a case study. *Working paper*. doi: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1368749>
- Dantzig, G. B. and J. H. Ramser (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1): 80-91. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Erdoğan, Ö. (2018). Tıbbi atık yönetimi. Hemşirelik uygulamalarında klinik mikrobiyoloji ve enfeksiyon hastalıkları. Ankara, Hipokrat Kitabevi: 99-106. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/profile/Oezcan-Erdogan/publication/322499279_Tibbi_Atik_Yonetimi_Biomedical_waste_management/links/5a5c6875458515450278f608/Tibbi-Atik-Yoenetimi-Biomedical-waste-management.pdf
- Eren, E. and U. R. Tuzkaya (2021). Safe distance-based vehicle routing problem: Medical waste collection case study in COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 157: 107328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107328>
- Firinci, N., A. Celik, E. Akün and M. Atif Khan (2009). A pilot study for the optimization of routes for waste collection vehicles for the Göçmenköy district of Lefkoşa. *Proc World Acad Sci Eng Technol*, 37: 2070-3740. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1078619>
- Fooladi, S., H. Fazlollahtabar and I. Mahdavi (2015). Waste collection vehicle routing problem considering similarity pattern of trashcan and garbage unloading. *International Journal of Engineering and Industrial Management*, 5. Erişim Adresi: <http://hdl.handle.net/11067/1383>
- Güvez, H., M. Dege and T. Eren (2012). Kırıkkale’de Araç Rotalama Problemi ile Tıbbi Atıkların Toplanması. *International Journal of Engineering*, 4(1): 41-45. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/profile/Hakan-Guvez/publication/335714470_Medical_Waste_Collection_with_Vehicle_Routing_Problem_in_Kirikkale/links/5d77476d4585151ee4ab1cef/Medical-Waste-Collection-with-Vehicle-Routing-Problem-in-Kirikkale.pdf
- He, Z.-g., Q. Li and J. Fang (2016). The Solutions and Recommendations for Logistics Problems in the Collection of Medical Waste in China. *Procedia Environmental Sciences*, 31: 447-456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.099>
- Kyessi, A. and V. Mwakalinga (2009). GIS application in coordinating solid waste collection: the case of Sinza Neighbourhood in Kinondoni municipality, Dar es Salaam city, Tanzania. Report of Federation Internationale des Geometres (FIG) Working Week 2009. . Erişim Adresi: https://www.academia.edu/4909953/GIS_Application_in_Coordinating_Solid_Waste_Collection_The_Case_of_S
- Li, J.-Q., D. Borenstein and P. B. Mirchandani (2008). Truck scheduling for solid waste collection in the City of Porto Alegre, Brazil. *Omega*, 36(6): 1133-1149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.04.007>
- Ouertani, N., H. Ben-Romdhane, I. Nouaouri, H. Allaoui and S. Krichen (2020). On Solving the Hazardous Health-Care Waste Transportation Problem: a Real Case Study. 2020 International Multi-Conference on: Organization of Knowledge and Advanced Technologies (OCTA), IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/OCTA49274.2020.9151781>
- Özkök, B. A. and F. C. Kurul (2014). Araç rotalama problemine tam sayılı lineer programlama modeli ve gıda sektöründe bir uygulama. *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, 43(2). Erişim Adresi: <https://www.proquest.com/openview/66d20483c035e3b74c5455fe8faed612/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1796365>
- Shih, L.-H. and H.-C. Chang (2001). A routing and scheduling system for infectious waste collection. *Environmental Modeling & Assessment*, 6(4): 261-269. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1013342102025>

Taslimi, M., R. Batta and C. Kwon (2020). Medical waste collection considering transportation and storage risk. *Computers & Operations Research*, 120: 104966. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104966>

Ek1: Sağlık kuruluşları arası uzaklık matrisi

D*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
D	0	25,1	10	20,4	16,2	16,2	25,4	27,5	13,9	16,2	13,8	14	14,1	14,2	9,7	14,4	12,6	12,6	14,5	15,8	14,1	13,5	23,5	21,2	18	13,8	
1	25,1	0	17,4	8,2	21,1	18,5	3	19,1	21,7	17,5	16,4	16,1	19,4	17,6	17,9	17,6	17,7	17,9	19,2	19,8	12,5	17,4	2,4	6,5	8,8	22,7	
2	10	17,4	0	10	5,6	4,7	18,6	20	4,6	6,7	3,8	4,4	5,4	4,6	1	5,3	3,1	3,1	4,9	5	6,6	5,8	4	15,1	11,3	9,6	5,5
3	20,4	8,2	10	0	13,1	10,4	9	10,5	11,2	13,7	9,6	9,2	8,4	11,2	11,2	10,1	10,5	10,4	9,8	9,8	11,4	4,8	9,1	5,9	1,8	1,5	13,1
4	16,2	21,1	5,6	13,1	0	2,2	20,9	22,4	1,7	1,1	3,4	3,8	5,3	1,6	5,1	2,6	2,9	3,1	2,9	2,1	8,4	3,8	17,4	13,6	11,9	3,1	
5	16,2	18,5	4,7	10,4	2,2	0	19,5	20,9	0,7	2,8	1,6	2,2	3,4	0,7	3,7	1,1	1,6	1,2	1,4	2,8	7,3	1,9	15,8	12,2	10,8	4,1	
6	25,4	1,6	18,6	9	20,9	19,5	0	3,6	18,6	21,2	17	16,6	15,8	18,6	18,2	17,6	17,5	17,4	17,2	17,3	18,9	11,9	16,6	2,6	7	9	20,2
7	27,5	3	20	10,5	22,4	20,9	3,6	0	20,7	23,3	19,1	18,7	17,9	20,7	20,3	19,7	19,6	19,5	19,3	19,4	21	14	18,7	4,6	9,1	11,1	22,2
8	13,9	19,1	4,6	11,2	1,7	0,7	18,6	20,7	0	2,2	1,9	2,3	3,7	0,07	4,1	1	2,1	2	1,5	1,3	2,1	7,6	2,2	16,3	12,1	11	4,3
9	16,2	21,7	6,7	13,7	1,1	2,8	21,2	23,3	2,2	0	3,6	3,9	5,5	2,1	6,1	2,8	3,9	4,1	3,1	2,9	1	11,5	4	18,1	13,9	12,8	3,9
10	13,8	17,5	3,8	9,6	3,4	1,6	17	19,1	1,9	3,6	0	1,3	2,7	1,8	4,9	1,1	2,2	2,1	0,08	1,2	3	7	1,3	15,2	11	10,2	5,7
11	14	16,4	4,4	9,2	3,8	2,2	16,6	18,7	2,3	3,9	1,3	0	2,1	2,5	5	1,5	2	2	0,95	1,2	2,8	7,1	0,06	14,6	10,5	9,3	6,1
12	14,1	16,1	5,4	8,4	5,3	3,4	15,8	17,9	3,7	5,5	2,7	2,1	0	2,8	5,2	1,8	2,4	2,4	1,5	1,5	3,1	7,2	0,8	13,7	9,5	8,4	6,5
13	14,2	19,4	4,6	11,2	1,6	0,7	18,6	20,7	0,07	2,1	1,8	2,5	2,8	0	4,1	1	2,1	2	1,5	1,3	2,2	7,5	2,2	16,3	12,1	11	4,3
14	9,7	17,6	1	11,2	5,1	3,7	18,2	20,3	4,1	6,1	4,9	5	5,2	4,1	0	5,8	3,6	3,5	5,4	5,5	7,1	5,5	4,5	14,8	11	9,3	5
15	14,4	17,9	5,3	10,1	2,6	1,1	17,6	19,7	1	2,8	1,1	1,5	1,8	1	5,8	0	2,8	2,3	0,5	0,45	2	7,5	1,8	15,4	11,3	10,1	5,2
16	12,6	17,6	3,1	10,5	2,9	1,6	17,5	19,6	2,1	3,9	2,2	2	2,4	2,1	3,6	2,8	0	0,1	2,2	2,8	4	5,8	1,8	14,8	11	9,3	4,5
17	12,6	17,7	3,1	10,4	3,1	1,6	17,4	19,5	2	4,1	2,1	2	2,4	2	3,5	2,3	0,1	0	2,1	2,7	4,2	5,8	1,7	14,9	11	9,3	4,6
18	14,5	17,9	4,9	9,8	3,1	1,2	17,2	19,3	1,5	3,1	0,08	0,95	1,5	1,5	5,4	0,5	2,2	2,1	0	0,5	2,1	7,6	1,9	15,4	11,3	10,1	5,6
19	15,8	19,2	5	9,8	2,9	1,4	17,3	19,4	1,3	2,9	1,2	1,2	1,5	1,3	5,5	0,45	2,8	2,7	0,5	0	1,6	9,5	3,7	16,6	12,5	11,3	7
20	15,1	19,8	6,6	11,4	2,1	2,8	18,9	21	2,1	1	3	2,8	3,1	2,2	7,1	2	4	4,2	2,1	1,6	0	8,8	3,4	17,3	13,1	12	5
21	14,1	12,5	5,8	4,8	8,4	7,3	11,9	14	7,6	11,5	7	7,1	7,2	7,5	5,5	7,5	5,8	5,8	7,6	9,5	8,8	0	7,1	9,7	5,9	4,2	8,9
22	13,5	17,4	4	9,1	3,8	1,9	16,6	18,7	2,2	4	1,3	0,06	0,8	2,2	4,5	1,8	1,8	1,7	1,9	3,7	3,4	7,1	0	15	10,8	9,9	5,6
23	23,5	2,4	15,1	5,9	17,4	15,8	2,6	4,6	16,3	18,1	15,2	14,6	13,7	16,3	14,8	15,4	14,8	14,9	15,4	16,6	17,3	9,7	15	0	4,7	6,9	18,3
24	21,2	6,5	11,3	1,8	13,6	12,2	7	9,1	12,1	13,9	11	10,5	9,5	12,1	11	11,3	11	11	11,3	12,5	13,1	5,9	10,8	4,7	0	4,8	16
25	18	8,8	9,6	1,5	11,9	10,8	9	11,1	11	12,8	10,2	9,3	8,4	11	9,3	10,1	9,3	9,3	10,1	11,3	12	4,2	9,9	6,9	4,8	0	12,8
26	13,8	22,7	5,5	13,1	3,1	4,1	20,2	22,2	4,3	3,9	5,7	6,1	6,5	4,3	5	5,2	4,5	4,6	5,6	7	5	8,9	5,6	18,3	16	12,8	0

*Tıbbi atık merkezi (Merkezi Depo)