



Journal of Turkish Operations Management

Geri dönüşüm atıklarının toplanmasında rota optimizasyonu: Alanya ilçesinde bir uygulama

Mehmet Gümüş¹, Emir Hüseyin Özder^{2*}, Elif Hatınoğlu³, Ayşe Uçar⁴

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya
e-mail: mehmet.gumus@alanya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2588-0270>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya
e-mail: emir.ozder@alanya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1895-8060>

³Endüstri Mühendisi, Antalya
e-mail: hatinogluelif@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8922-7169>

⁴Endüstri Mühendisi, Antalya
e-mail: alfaseay@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-0680-8137>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 19.11.2021
Revize: 24.03.2022
Kabul: 25.04.2022

Anahtar Kelimeler:

Atık Toplama,
Geri Dönüşüm,
Araç Rotalama,
Tersine Lojistik

Özet

Bu çalışmada geri dönüşüm atıklarının toplama rotalarının düzenlenerek maliyetin taşıma maliyetinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında Alanya Belediyesinin denetiminde olan bir geri dönüşüm tesisinin karşılaştığı araç rotalama problemi çözüme kavuşturulmuştur. Araç kapasiteleri, toplama noktaları ve atık miktarları göz önüne alınarak Alanya ilçesinin belirli mahallelerinde günlük rota planlaması yapılmıştır. Çalışmada mevcut rotalar belirlenmiş ve daha sonra iyileştirilmiş rota önerisi ortaya konmuştur. Mevcut rota belirlemede bir harita uygulaması yardımıyla atık toplama merkezlerinin sıralaması, koordinatları ve aralarındaki mesafeler tespit edilmiştir. Sonrasında mevcut rotanın iyileştirilmesi için ARP modeli önerilmiş ve problemin çözümü için bir coğrafi bilgi sistemi kullanılmıştır. Elde edilen yeni rotalar ve mevcut rotaların karşılaştırılması yapılmıştır. Yeni rotaların taşıma mesafesini kısalttığı ve aylık olarak yaklaşık % 12'lik araç yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

Route optimization in the collection of recycling wastes: An application in Alanya district

Article Info

Article History:

Received: 19.11.2021
Revised: 24.03.2022
Accepted: 25.04.2022

Keywords:

Waste Collection,
Recycling,
Vehicle Routing,
Reverse Logistics

Abstract

In this study, it is aimed to minimize the cost of transportation by arranging the collection routes of recycling wastes. Within the scope of the study, the vehicle routing problem faced by a recycling facility under the control of Alanya Municipality has been resolved. Considering the vehicle capacities, collection points and waste amounts, daily route planning was made in certain neighborhoods of Alanya district. Firstly, the existing routes of the facility were determined and then an improved route proposal was put forward. In the current route determination, the order of the waste collection centers, their coordinates and the distances between them were determined with the help of a map application. Afterwards, the VRP model was proposed to improve the existing route and a geographic information system was used to solve the problem. The new routes obtained at the end of the study and the existing routes were compared. New routes shorten transport distance and save approximately 12% of vehicle fuel per month.

1. Giriş

Ekonomik rekabetin giderek arttığı günümüz koşullarında kurum ve kuruluşlar daha az maliyet gerektiren dağıtım ve toplama ağları için çalışmalar yürütürken aynı zamanda çevreye daha duyarlı iş modellerini benimsemeye başlamıştır. Ülkemizde başlatılan sıfır atık projesi (Sıfır Atık, 2022 Erişim Tarihi: 19.03.2022) ve uluslararası Paris İklim Anlaşması (Paris İklim Sözleşmesi, Erişim Tarihi: 19.03.2022) gibi girişimler, lojistik sistemlerinde taşıma maliyetleriyle beraber sürdürülebilirlik çerçevesinde çevresel faktörlerin de değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu girişimlere belediyelerin katkısı da önem arz etmektedir.

Sürdürülebilir çevre kapsamında belediyeleri önceliklerinden birisi, atıkların toplanması ve işlenmesidir (Demir vd., 2021). Belediyelerin sıfır atık sistemi kurma aşamaları; sıfır atık ekibinin oluşturulması, toplama altyapısının oluşturulması, toplama tesisi ihtiyacının karşılanması ve atık toplama faaliyetlerinin yürütülmesi olarak önerilmektedir (Sıfır Atık, Erişim Tarihi: 19.03.2022). Bunlardan ilk üçü sistemin kurulum aşamasında gerçekleştirilirken, atık toplama faaliyetleri günlük olarak operasyonel sistemin sürekliliğini sağlayan taşıma faaliyetidir. Bu faaliyetin en önemli konularında birisi, lojistik çalışma alanına giren toplama araçlarının günlük rotalarının belirlenmesidir.

Lojistiğin klasik tanımında üreticiden tüketiciye doğru ilerleyen bir akış söz konusuysen, atık toplama, tüketiciden üreticiye (toplama tesisine) doğru ilerleyen bir akış olduğu için tersine lojistik olarak ele alınmaktadır. Tersine lojistik uygulamaları sonucunda atıkların geri kazanımı ve dönüşümü sağlanabilmektedir. Bu da ekonomik yönden kazanç sağlanmasıyla beraber çevresel sürdürülebilirliğin devamlılığını da kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışma, sıfır atık projesi kapsamında, tersine lojistik faaliyetlerinden olan atık toplama işlemi için araç rotalama problemini (ARP) ele almaktadır. Problemin çözümüne yönelik uygulama, Alanya şehrine yönelik ve Alanya Belediyesi'nin konumlarını belirleyip yerleştiği geri dönüşüm konteynırları baz alınarak yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde Alanya'daki geri dönüşüm faaliyetlerine yer verilmiş, üçüncü bölümünde de geri dönüşümde tersine lojistik ve araç rotalama ele alınmıştır. Dördüncü bölümde kullanılan yöntem ve model sunulmuş, besinci bölümde uygulama sonucu elde edilen bulgular ortaya konulmuş, son bölümde de sonuçlar açıklanmıştır.

2. Alanya'da Geri Dönüşüm

Ürünlerin geri kazanımı; işletmelerde sorumluluk bilincinin artması, daha az malzeme ve kaynak kullanımı ile müşteri memnuniyetinin sağlanması ve çevresel olarak getirilerinin olmasından dolayı oldukça önemli bir faaliyet haline gelmiştir. Birçok işletme bu konuda çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmalar arasında geri dönüşüm işlemleri yer alır. Geri dönüşüm; atık olarak nitelendirilen ürünlerin toplanması, ayrıştırılması ve kirletici maddelerden temizlenerek tekrar kullanıma sunulması için yapılan işlemler bütünüdür. Geri dönüşüm faaliyetleri ile kullanılmış ürünlerin tekrar işlenerek yeni ürün üretiminde kullanılması ve böylece hem çevrenin korunması hem de maliyet azalışlarının yaşanması hedeflenmektedir. Bu faaliyetlerin düzenli olarak yürütülmesi, nüfus yoğunluğu fazla olan şehirlerde daha karmaşık hale gelebilmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Alanya, 350 bin nüfusu ile Türkiye'deki birçok ilden daha kalabalık bir ilçedir (TÜİK, Erişim Tarihi: 19.03.2022). Nüfus ve hane halkı gelirinine göre tüketimin de fazla olduğu Alanya'da geri dönüşüm çalışmaları, Alanya Belediyesi'sinin denetimi altında ilçede bulunan iki geri dönüşüm tesisi tarafından yürütülmektedir. İlçenin 31 mahallesinde geri dönüşüm atıklarının toplanması günlük bazda takip edilmektedir (Tablo 1). Bu mahallelerdeki toplama noktaları nüfus ve tüketim yoğunluğuna göre Alanya Belediyesi tarafından belirlenmiştir. Belediye, sıfır atık projesi kapsamında Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı İktisadi İletmesi (ÇEVKO) ile işbirliğini sürdürmektedir (Alanya Belediyesi, Erişim Tarihi: 19.03.2022).

Tablo 1'de toplama noktaları mahalle olarak gösterilmiştir fakat tesisler nokta bazlı çalışmaktadır. Ugradıkları mahallelerde belli noktalarda atık toplama konteynerleri bulunmaktadır ve o noktalardan atıklarını toplamaktadırlar. Toplanan geri dönüşüm atık çeşitleri plastik ambalajlar, metal ambalajlar, kâğıt / karton ambalajlar, kompozit ambalajlar ve cam ambalajlardan oluşmaktadır. Toplama işleminden sonra ilgili tesiste ayrıştırma ve sıkıştırma işlemleri yapılmaktadır. Ayıklanmış ve sıkıştırılmış atıklar daha sonra Konya, Kahramanmaraş, Antalya ve Kayseri'deki anlaşmalı firmalara gönderilmektedir.

Tablo 1. Alanya ilçesinde mahallelere göre atık toplama günleri

Mahalleler	Toplama Günleri
1. Kızılarpınarı Mah.	Pazartesi – Perşembe (Bölge 1); Çarşamba – Cumartesi (Bölge 2)
2. Saray Mah.	Salı - Cuma
3. Dinek Mah.	Pazartesi – Perşembe
4. Sugözü Mah.	Pazartesi – Perşembe (Bölge 1); Çarşamba – Cumartesi (Bölge 2)
5. Şekerhane Mah.	Çarşamba – Cumartesi (Bölge 1); Pazartesi – Perşembe (Bölge 2)
6. Çarşı Mah.	Çarşamba – Cumartesi
7. Hisariçi Mah.	Çarşamba – Cumartesi
8. Tophane Mah.	Çarşamba – Cumartesi
9. Kadıpaşa Mah.	Çarşamba – Cumartesi ((Bölge 1); Pazartesi – Perşembe (Bölge 2)
10. Hacet Mah.	Salı – Cuma (Bölge 1); Pazartesi – Perşembe (Bölge 2)
11. Güllerpınarı Mah.	Pazartesi – Perşembe ((Bölge 1); Salı – Cuma (Bölge 2); Çarşamba – Cumartesi (Bölge 3)
12. Fıçla Mah.	Pazartesi – Perşembe
13. Cumhuriyet Mah.	Çarşamba – Cumartesi
14. Küçük Hasbahçe Mah.	Pazartesi – Perşembe
15. Büyük Hasbahçe Mah.	Pazartesi – Perşembe
16. Bektaş Mah.	Çarşamba – Cumartesi
17. Tepe Mah.	Çarşamba – Cumartesi
18. Cıkcilli Mah.	Her gün
19. Çıplaklı Mah.	Cumartesi
20. Oba Mah.	Her gün pazar günü hariç
21. Tosmur Mah.	Her gün pazar günü hariç
22. Kestel Mah.	Her gün pazar günü hariç
23. Mahmutlar Mah.	Her gün pazar günü hariç
24. Kargıcak Mah.	Pazartesi– Çarşamba-Perşembe
25. Demirtaş Mah.	Pazartesi-Perşembe
26. Konaklı Mah.	Her gün
27. Payallar Mah.	Her gün
28. Türkler Mah.	Her gün
29. Avsallar Mah.	Her gün
30. Okurcalar Mah.	Her gün
31. İncekum Mah.	Her gün

3. Geri Dönüşümde Tersine Lojistik ve Araç Rotalama

Tersine lojistik, kullanılmış ürünlerin toplanarak onlara tekrar değer kazandırılması olarak ifade edilebilir. Değer katılan bu ürünler yeniden üretime dahil edilerek işletmeler için girdi kaynağı olarak kullanılmaktadır. Böylelikle işletmeler yeni kaynak arayışlarını azaltabilir ve maliyetleri düşürebilirler. Tersine lojistik aktiviteleri arasında, atık olarak adlandırılan ürünlerin toplanması ve bu ürünlerin işlenerek tekrar kullanılması işlemleri yer almaktadır. Bu işlemler tüketim noktasından üretim noktasına doğru ilerleyen işlemlerdir. Bu nedenle işletmelerin hangi ürünleri toplayacağı ve bu ürünler üzerinde hangi işlemlerin uygulanacağı belirli olmalıdır. İşletmeler tersine lojistik faaliyetlerine başlamadan önce; depo, toplama noktaları, ürün kapasiteleri, araç kapasiteleri ve rota bilgilerini değerlendirerek hareket etmektedirler. Tüm bu işlemler yürütülürken işletmenin karını maksimize edecek çalışmaların yapılması en temel hedeftir.

Tersine lojistik aracılığı ile tüketicilerden toplanan atıklar atık ayrıştırma tesislerine ve geri dönüşüm tesislerine ulaştırılarak ürünlerin geri kazanımları sağlanmaktadır. Tersine lojistik faaliyetleri çevre kirliliğini azaltmakla beraber toplanan atıkların tekrar değerlendirilerek kullanılması sonucu ekonomik kayıpları da azaltmaktadır. Bu faaliyetlerin düşük maliyetlerle ve çevreye en az zarar vermeyele yapılması önemlidir. Bunlar için de özellikle toplama ve taşıma işlemlerinin araç rotalama optimizasyonu ile yapılması gerekmektedir.

Araç rotalama problemlerinde temel hedef, rota optimizasyonunun sağlanmasıdır. En az mesafe ve araç ile yapılacak taşıma işlemleri, araç kapasitelerinin verimli kullanılmasını ve tüketilen yakıt miktarlarının azalmasını sağlayabilmektedir. Bunlar da toplam aşım maliyetlerinin azaltılmaktadır. Mesafe ve yakıt miktarlarının azalması, CO2 emisyonunu da azaltacağı için sürdürülebilir çevre planlamasına katkı sunmaktadır.

Bu alışmada Alanya'da faaliyet gösteren bir geri dönüşüm tesisi için araç rotalama problemi ele alınmıştır. Tesisin mevcut kaynakları ve atık toplama noktaları arasındaki mesafeler dikkate alınarak en iyi toplama rotalarını belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada toplama noktaları, atık miktarları, çalışma saatleri ve kullanılan araçlar göz önünde bulundurulmuştur.

4. Literatür taraması

ARP hakkında yapılan çalışmalar incelediğinde birçok araştırmacının bu konularda faaliyetler gösterdiği ve uygulama alanlarının oldukça fazla olduğu göze çarpmaktadır. Çalışmanın bu kısmında problemimizin yapısına benzer problemlerin tespiti ve çözümleri içeren makaleler incelenmiştir. Makaleler sırayla şoyledir:

Tezcan vd., (2021) alışmalarında geçici depo yeri seçimi için alternatif ilçeler ve lokasyonlar arasından uygun yer tespiti yapmışlardır. Çalışmada, bir afet olduktan sonra, insanların temel yiyecek ihtiyaçlarını karşılayabilmek için geçici deponun uygun yere kurulması problemi ele alınmış ve matematiksel model yardımıyla çözüm önerisi sunulmuştur. Yazarlar hibrit bir karar modeli kurmuş ve birden fazla teknik (AHP, BAHF, TOPSIS, PROMETHEE, VIKOR ve Tam Sayılı Programlama) kullanmışlardır.

Yurdakul vd., (2021) alışmalarında evde sağlık hizmetleri planlaması kapsamında çalışacak ekiplerin izelgelemesini yaparken, aynı zamanda hizmetin sunulacağı güzergahların planlamasında da araç rotalama problemini çözümüne kavuşturmuşlardır. Yazarların ele aldıkları problem her iki problemi de çözen ortak bir model önerisi sunmaktadır.

Furugi, (2021) alışmasında tıbbi atıkların evre için bir tehdit oluşturduğunu ve toplanmasının maliyetli bir süreç olduğundan bahsetmiştir. Yazar, çalışmasının maliyet etkenini azaltmayı gözettiğini ve bu amaçla belirli kısıtlar altında araç rotalama problemini ele aldığını vurgulamıştır. Yazar önerdiği yeni matematiksel modelle, mevcut rotaya göre daha etkili sonuçlar elde etmiştir. Bunun yanı sıra önceki plan dahilinde kullanılan araç sayısına kıyasla daha az araç kullanımı sağlanmıştır.

Yurdakul vd., (2020) alışmalarında hızla artan yaşlı nüfusa kendi evlerinde bakım hizmeti sunan uygulamada bulunan ekiplerin güzergâh problemleri ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yazarların amacı, 29 ekibin her birinin toplamda 147 adrese verdiği hizmetleri gerçekleştirmek için kat ettiği mesafenin en aza indirilmesidir. Tamsayılı programlama yöntemi ile rota öneren yazarlar, mevcut rotaya göre daha etkili sonuçlar elde etmiştir.

Taş vd., (2018) alışmalarında önemi gün geçtikçe artan evde sağlık hizmetleri için araç rotalama problemini ele almışlardır. Yazarlar problemin çözümünde 0-1 tamsayılı programlama yöntemi kullanılmışlardı ve ekiplerin hangi gün hangi sırayla hangi hastaları ziyaret edeceği belirlenmişlerdir. Böylelikle hem zamandan hem de maliyetten tasarrufu sağlamışlardır.

Alakaş vd. (2018), ürünlerin geri kazanım oranları üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verilerle geri kazanım politikaları belirleme işlemleri üzerinde durmuşlardır. Aynı zamanda yeniden üretim işlemlerinde maliyeti minimize edecek şekilde matematiksel modelleme yoluyla optimum sonuçlar elde etmeye çalışmışlardır. Problem özümünde CPLEX ILOG programı kullanılmıştır.

Cingöz vd. (2018), ambalaj atığı toplama ve ayırma lisansına sahip bir işletmenin sahip olduğu tersine lojistik ađ yapısını incelemiş ve elinde bulunan veriler doğrultusunda bir simülasyon modeli geliştirmeye karar vermiştir. özüm yaparken Coğrafı Bilgi Sistemlerini kullanarak buna dahil olan OpenJUMP ve gvSIG programlarında işlemlerini yapmıştır. Problem kapsamında işletme için en kısa yolun belirlenmesini hedeflemiştir.

Bayzan vd. (2020), araç rotalamada kullanılan araçların faaliyette buldukları sırada örneğin atıkların toplanması sırasında harcadıkları süreleri belirleyerek bu sürenin toplam mesafelerde ne kadar olduğu ve bu toplam sürenin maliyet üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. özüm yöntemi olarak da nesne temelli simülasyon modelini geliştirerek kullanmışlardır.

Durduran vd. (2018), Coğrafı Bilgi Sistemlerinden yararlanılarak rota optimizasyon çalışmaları yapmışlardır. Pilot bölge olarak belirlenen Ankara ili ankaya ve Mamak ilçesindeki amlıtepe, Fakülteler, 50. Yıl, Ertuğrul gazi, Cebeci ve Abidinpaşa mahalleleri için çalışmalar yapılmış ve bu noktalar arasında optimal yollar bulunmuştur. Oluşturdukları yeni rotasyon ile bu sektörde çalışan diğer işletmelere örnek olmayı hedeflenişlerdir.

Özdemir vd. (2017), bir tekstil işletmesine ait gerçek veriler ile çoklu taşımanın söz konusu olduğu farklı rotaların planlaması için uygulamalar yapmışlardır. İlk olarak problemi bir matematiksel modelleme üzerinde göstererek maliyetin ve harcanan sürenin azalmasını amaç olarak belirlemişlerdir. Belirledikleri minimizasyon modeli ile en iyi rotanın seçimini yapmışlardır.

Güvez vd., (2012) çalışmalarında tıbbi atık toplama şirketinin araç rotalama problemini konu almışlardır. Yazarlar, en uygun rotanın belirlenmesini ve önerilen rotanın maliyetini en düşük seviyeye getirmeyi amaçlamışlardır. Başvurdukları yöntem ise tamsayı programlamadır. Önerilen modelde firmanın bir aylık toplam yol mesafesini %20,63 oranında iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Atmaca (2012), bir kargo şirketi için eş zamanlı dağıtım ve toplama işlemi için araç rotalama problemi uygulamıştır. Problemin çözümü için GAMS programını tercih etmiştir. Sonuç olarak ise mevcut durumu ve önerilen durumu belirli kriterler açısından karşılaştırmıştır.

Kaçtıoğlu ve Şengül (2010), tersine lojistik dahilinde olan ürünlerin geri dönüşümü ile ilgili yapılacak işlemleri belirlemiş ve işlemlerin akışında bir aksama yaşanmaması için bir tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir. Modeli ise LINGO programı üzerinde çalıştırmışlardır.

Düzakın ve Demircioğlu (2009) çalışmalarında araç rotalama problemi ile ilgili ilk çalışmalardan bahsetmişlerdir. Bu çalışmaların Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında başladığına ve bu konu birçok metot geliştirdiklerine değinmişlerdir.

Kuşçu (2009), taşımacılıkta kullanılan bir servisin önceden belirli olan güzergahlarını sistemde belirterek bu servis aracı için optimal rota belirlemesi ve maliyetin minimize edilmesi için çalışmalar yapmıştır.

Eryavuz ve Gencer (2001), Araç Rotalama Probleminde kullanılan çözüm yöntemlerinde yararlanarak Balıkesir Ordudonatım Okulu personel servis araçlarının toplam kat ettiği yolun minimize edilmesi için faaliyetlerde bulunmuşlardır. Problem çözümünde tasarruf algoritması yönteminden yararlanmışlardır.

5. Model ve Yöntem

Araç rotalama problemleri, bir veya birden fazla depodan belirli olan noktalara dağıtım ya da toplama hizmetlerinde bulunan ve rota optimizasyonunu sağlayan problemlerdir. Geri dönüşüm atıklarını toplama içerikli bu çalışmada, konumları belli olan atık toplama noktalarının her birisine mutlaka bir araç uğramalıdır. Araçların başlangıç ve bitiş noktalarını, konumu belli olan mevcut bir depo oluşturmaktadır. Araç kapasiteleri özdeştir. Tek bir depoya sahip araç rotalama probleminin doğrusal modeli detayları şu şekildedir:

Notasyon ve Parametreler:

i ve j : Toplama noktaları indisi; $i \in \{0, 1, 2, \dots, I\}$ ve $j \in \{0, 1, 2, \dots, J\}$

$i = 0$: Depo noktası

k : Taşıma araçları indisi; $k \in \{1, 2, \dots, K\}$

s : Araç sayısı

v : Toplama noktaları sayısı

d_{ij} : i ve j noktaları arasındaki mesafe

q_i : i toplama noktasına ait atık miktarı

c : Araç kapasitesi

Karar değişkeni:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, k \text{ nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına hareket ederse} \\ 0, \text{ diğer durumlar} \end{cases}$$

Z_j : Alt tur oluşmaması için kullanılan değişken

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m d_{ij} X_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ijk} &= s & i = 0 \text{ için;} & (2) \\ \sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n X_{ijk} &= 1 & \forall i, \quad i \in I & (3) \\ \sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n X_{ijk} &= 1 & \forall j, \quad j \in J \text{ ve } j \neq i & (4) \\ \sum_{i=1}^m X_{i0k} &\leq 1 & \forall k, \quad k \in K & (5) \\ \sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=0}^n X_{ijk} &\leq c & \forall k, \quad k \in K \text{ ve } j \neq i & (6) \\ Z_j \geq Z_i + 1 - v(1 - \sum_{k=1}^m X_{ijk}) & & \forall i, j, \quad i \in I, j \in J \text{ ve } j \neq i & (7) \\ Z_j &\geq 0 & \forall j, \quad j \in J & (8) \\ X_{ijk} &\in \{0,1\} & \forall i, j, k, \quad j \in J, k \in K \text{ ve } j \neq i & (9) \end{aligned}$$

Amaç fonksiyonunda (1) toplam gidilecek yolun en aza indirgenerek maliyetin minimizasyonu ifade edilmiştir. (2) nolu kısıt s adet aracın işletmeden çıkarak çalışmasını gerektiğini belirtir. (3) nolu kısıt her bir noktaya sadece bir aracın gitmesini mutlaka sağlar. (4) nolu kısıt sadece bir aracın toplama noktasından ayrılmasını sağlar. (5) nolu denklemde bir aracın işletmeden bir defa çıkması sağlanmaktadır. (6) nolu kısıt denklemi araçların uğradıkları toplama noktalardan aldıkları atıkların araç kapasitesini (c) geçmemesini sağlar. (7) ve (8) nolu kısıtlar alt tur oluşumunu engelleyen kısıtlardır. (9) nolu kısıt değişkenlerin tam sayı olması kısıtıdır.

ARP probleminin çözümünde ARP, zor problemler (NP hard) kapsamındadır. Çözüm elde etmek için sezgisel yöntemler kullanılabilir. Çalışmada, çözüm oluşturabilmek için coğrafi bilgi sistemine dayalı bir rotalama programı kullanılmıştır (yandex). Kullanılan programda rotalarda düzenleme yapılabilmesi için birtakım verilerin Excel formatında uygulamaya aktarılması gerekmektedir. Bu veriler Sipariş (Orders), Araç (Vehicle) ve Depo (Depot) bölümlerinden oluşmaktadır.

Sipariş bölümünde toplama noktalarında atık toplanabilecek zaman aralığı, toplama noktalarına ait atık kapasitesi (kg), adres bilgileri, adreslerin koordinatları, toplama noktaları için servis ve araç park etme ve dosya işlemlerine ayrılan süre bilgileri yer almaktadır. Süre bilgisi ortalama değer olarak alınıp tüm noktalar için sabit olarak kabul edilmiştir. Araç bölümünde araç sayısı, araç kapasitesi (kg), aracın depoya dönüp dönmeyeceği bilgisi ve araçların çalışma zaman aralığı verileri yer almaktadır. Depo bölümünde ise depoya ait koordinat bilgileri ve çalışma zaman aralığı bilgileri bulunmaktadır. Bu bölümler için gerekli olan detaylı adres ve koordinat bilgilerine çevrimiçi harita uygulaması aracılığıyla erişilmiştir.

6. Uygulama ve Bulgular

Uygulamanın gerçekleştirildiği yer, Antalya ilinin Alanya ilçesinde bulunan ve Alanya Belediyesi denetimi altında çalışan bir geri dönüşüm tesisidir. Tesiste plastik, metal, kâğıt, kompozit ve cam ambalajların geri dönüşümü için çalışmalar yürütülmektedir. Haftada altı günü faaliyet gösteren tesiste toplamda 17 çalışan mevcuttur. Yaz aylarında 5 araç, kış aylarında ise 1000 kilogramlık 3 araç fabrikada çalışmaktadır. Kış ayları için araçlardan 1 tanesi Kestel mahallesi → Mahmutlar mahallesi → Kargıcak mahallesi → Demirtaş mahallesi bölgesine, 1 araç da Tosmur mahallesi → Oba mahallesi → Cıkçilli mahallesi → Obagöl mahallesi rotalarındaki atıkları toplamaktadır. 3. araç ise kış aylarında atık miktarlarının az olmasından dolayı aktif olarak çalışmamaktadır, sadece yoğunluğun çok olduğu zamanlarda devreye girmektedir. İşletme Ayrıştırma bölümü, Sıkıştırma bölümü ve Depo olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Ürün stoku için yeterli alan mevcuttur. İşletmenin; çalışanlar için maaş, yemek ücreti, su ve elektrik giderleri, makine giderleri, araçların bakım giderleri ve araç yakıt giderleri bulunmaktadır. İşletme faaliyetlerini yürütürken yakıt fiyatlarının yüksek olmasından kaynaklı problemler yaşamaktadır.

Tesisin sorumluluğunda olan mahalleler kapsamında bulunan atık toplama noktaları belirlenerek rota optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu mahalleler Tablo 2'de verilmiştir. Her bir mahallede birden fazla toplama noktası (geri dönüşüm konteynırı) olup hâlihazırda araçların toplamaya çıktığı güne ve atık miktarına göre 41 ila 72 noktaya uğranmaktadır. Tesis, kendi sorumlu olduğu mahalleleri 2 bölgeye ayırmıştır: 1. bölge Kestel-Mahmutlar-Kargıcak-Demirtaş mahalleleri, 2. bölge ise Tosmur-Oba-Cıkçilli-Fığla-Çıplaklı mahalleleridir. Her bölge için çalışanlar ve araçlar birbirinden bağımsızdır. Tesis 2. Bölge için bir araç ayırmış bu bölge için herhangi bir iyileştirme talebinde bulunmamıştır. Bunun için çalışmada 1. Bölge üzerinde durulmuştur.

Mevcut durumda geri dönüşüm tesisi, toplama merkezleri için herhangi bir analitik metot kullanmamaktadır. Tesis, toplama işlemini gerçekleştirirken noktaların birbirine olan yakınlığını ve birbirine yakın toplama noktalarının

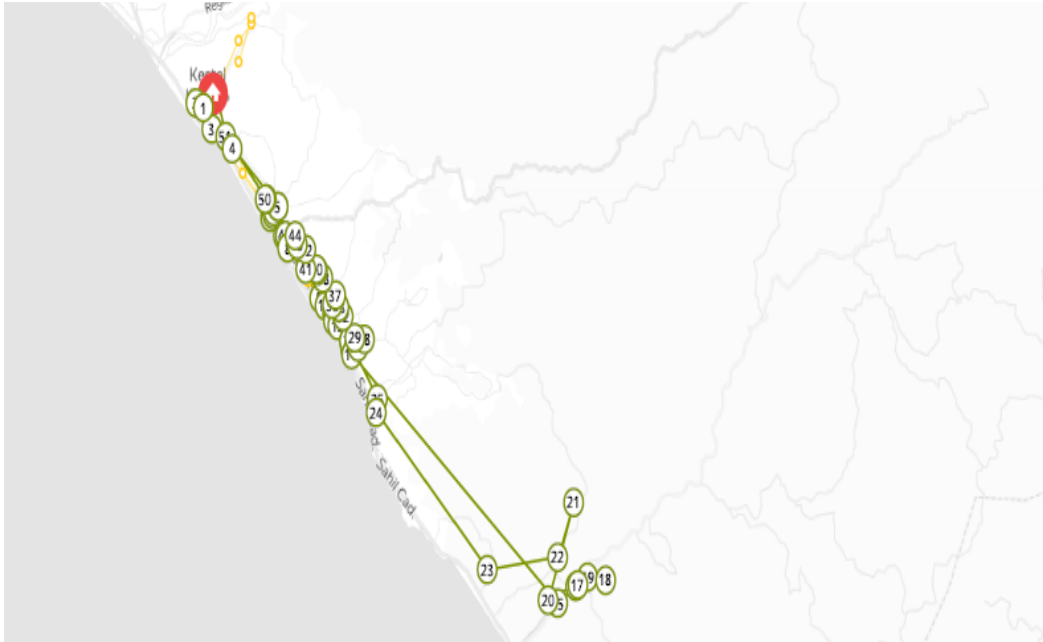
atıklarını aynı araca atama suretiyle bir yaklaşım uygulamaktadır. Bu ise araçlarda boşluklara ya da aracın kapasitesinin yetersiz kalıp depoya geri dönmesine neden olmaktadır.

Tablo 2. Alanya Geri Dönüşüm tesisinin atık toplamakla sorumlu olduğu mahalleler ve toplama günleri

Mahalleler	Toplama Günleri
1. Fıçla Mah.	Pazartesi – Perşembe
2. Cıkcilli Mah.	Her gün pazar günü hariç
3. Çıplaklı Mah.	Cumartesi
4. Oba Mah.	Her gün pazar günü hariç
5. Tosmur Mah.	Her gün pazar günü hariç
6. Kestel Mah.	Her gün pazar günü hariç
7. Mahmutlar Mah.	Her gün pazar günü hariç
8. Kağıcak Mah.	Pazartesi-Çarşamba-Perşembe
9. Demirtaş Mah.	Pazartesi -Perşembe

Tesiste uygulamaya konu coğrafi bölge için hâlihazırda kullanılabilir iki aracın kullanılmaya devam edeceği varsayılmıştır. Her bir aracın kapasitesi bir tondur. Bu araçların her 100 kilometrede 38 litre dizel yakıt tükettiği öngörülmüştür. Depodan çıkan her araç kendisine atanan toplama noktalarını dolaştıktan sonra tekrar depoya dönecektir. Tesis, pazar günleri hariç haftanın her günü araçları kullanabilmektedir. Her bir toplama noktasındaki günlük atık miktarının tahmini için en son gerçekleşmiş mart ayının verileri kullanılmıştır. Bu miktarlar mart ayına ait verilerin basit ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Maliyet hesaplamalarında kullanılan araç yakıt fiyatları da yine aynı mart ayının fiyat ortalaması temel alınarak oluşturulmuştur.

Dördüncü bölümde açıklanan ARP modeli ve çözüm yöntemi uygulamasında depo ve toplama noktalarının adres ve koordinatları, tesis çalışma saatleri, toplanacak ortalama atık miktarları, koordinatlara bağlı mesafe bilgisi ve atıkların toplanması sırasında geçen ortalama süre bilgisi kullanılmıştır. Pazartesi gününden cumartesi gününe kadar her gün için rota belirlemesi ayrı ayrı yapılmıştır. Oluşturulan yeni rotalar ile tesisin kullandığı mevcut rotaların toplam mesafe ve yakıt tasarrufu açısından karşılaştırmaları yapılmıştır. Örnek rota Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek rota

Elde edilen çözüm Tablo 3’te gösterilmiştir. Bu tabloda pazartesi cumartesiye haftanın her bir günü için ve kullanılan her bir araç için araç rotası, kat edilen mesafe ve aracın depoya taşıdığı yük miktarı yer almaktadır. Rota sırasının verildiği sütunda ‘D’, depoyu ifade ederken 1’den 68’ye kadar olan rakamların her biri toplama noktasını ifade etmektedir. Tesisin mevcut günlük rotası 1’den başlayıp sıralı olarak son toplama noktası numarasıdır. Örnek

olarak mevcut pazartesi rotası 1-2-3-4-...34-35-36-...66-67-68 şeklindedir. Dolayısı ile önerilen yeni rotalar her bir gün için mevcut rotalardan farklıdır. Bu yeni rotaların oluşturduğu maliyet avantajları Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 3. ARP çözümü.

	Araç No	ARP uygulaması sonucu yeni rota sırası	MESAFE (km)	Atık Miktarı (kg)
Pazartesi	1	D - 67 - 66 - 4 - 5 - 63 - 62 - 61 - 59 - 11 - 12 - 58 - 57 - 56 - 54 - 55 - 51 - 50 - 49 - 44 - 22 - 23 - 24 - 39 - 30 - 31 - 32 - 34 - 33 - 37 - 36 - 35 - 38 - 29 - 28 - 27 - 40 - 41 - 42 - 26 - 25 - 43 - 21 - 20 - 16 - 52 - 53 - 14 - 60 - 64 - 65 - 2 - 1 - D	48.5	998
	2	D - 68 - 6 - 7 - 9 - 15 - 17 - 19 - 45 - 46 - 47 - 18 - 48 - 13 - 10 - 8 - 3 - D	18.3	701
Salı	1	D - 29 - 30 - 33 - 5 - 4 - 35 - 38 - 39 - 41 - 40 - 42 - 11 - 12 - 15 - 17 - 19 - 22 - 23 - 24 - 62 - 27 - 61 - 60 - 59 - 26 - 25 - 58 - 57 - 21 - 20 - 56 - 55 - 54 - 18 - 16 - 53 - 52 - 51 - 50 - 46 - 48 - 2 - 1 - D	19.7	1000
	2	D - 28 - 32 - 31 - 34 - 6 - 7 - 36 - 37 - 9 - 43 - 44 - 45 - 47 - 49 - 14 - 13 - 10 - 8 - 3 - D	17.5	619
Çarşamba	1	D - 62 - 4 - 7 - 9 - 50 - 48 - 47 - 22 - 39 - 40 - 19 - 17 - 13 - 8 - 2 - D	18.2	682
	2	D - 5 - 57 - 56 - 53 - 12 - 14 - 15 - 18 - 20 - 25 - 26 - 27 - 33 - 32 - 31 - 30 - 34 - 35 - 36 - 29 - 28 - 37 - 38 - 24 - 23 - 21 - 42 - 41 - 43 - 44 - 45 - 49 - 46 - 16 - 52 - 51 - 11 - 10 - 54 - 55 - 58 - 59 - 6 - 3 - 1 - 61 - 60 - D	24.2	997
Perşembe	1	D - 69 - 72 - 71 - 70 - 68 - 4 - 6 - 7 - 9 - 58 - 55 - 53 - 15 - 48 - 47 - 18 - 16 - 14 - 13 - 8 - 2 - D	18.5	571
	2	D - 67 - 66 - 1 - 5 - 63 - 62 - 59 - 12 - 17 - 19 - 22 - 23 - 24 - 39 - 30 - 31 - 32 - 34 - 33 - 37 - 36 - 35 - 38 - 29 - 28 - 27 - 40 - 41 - 42 - 26 - 25 - 43 - 44 - 21 - 20 - 45 - 46 - 49 - 50 - 51 - 52 - 54 - 56 - 57 - 11 - 10 - 60 - 61 - 64 - 65 - 3 - D	48.4	995
Cuma	1	D - 34 - 35 - 6 - 7 - 36 - 37 - 41 - 43 - 45 - 40 - 46 - 44 - 42 - 38 - 39 - 40 - 47 - 9 - 48 - 50 - 49 - 8 - 2 - 1 - 30 - 31 - 32 - 28 - 29 - D	23.2	955
	2	D - 4 - 52 - 51 - 53 - 15 - 17 - 19 - 22 - 23 - 24 - 67 - 27 - 66 - 65 - 64 - 26 - 25 - 63 - 62 - 21 - 20 - 18 - 16 - 58 - 59 - 61 - 60 - 57 - 56 - 55 - 54 - 14 - 13 - 12 - 11 - 10 - 5 - 3 - 33 - D	19.1	998
Cumartesi	1	D - 42 - 39 - 38 - 36 - 6 - 35 - 34 - 33 - 32 - 26 - 24 - 23 - 18 - 19 - 22 - 21 - 20 - 17 - 16 - 25 - 27 - 13 - 15 - 14 - 12 - 11 - 28 - 29 - 30 - 31 - 10 - 9 - 8 - 7 - 5 - 37 - 40 - 41 - 4 - 2 - 1 - D	21.7	984

Tablo 4'te ARP çözümü ile mevcut durum, elde edilen tasarruflar yönünden kıyaslanmıştır. ARP çözümü her iş günü için kat edilen toplam mesafeyi kısaltırken, bu iyileştirme neticesinden maliyet yönünden günlük yakıt tasarrufu %7,1 ile %20,1 arasında değişmektedir. Araç kullanım kapasitelerine bakıldığında da her gün için en az bir aracın tam veya tama çok yakın kapasite ile kullanıldığı görülmektedir. Mevcut durum ile karşılaştırıldığında bir ay için ortalama yakıt maliyetlerinde yaklaşık %12'lik bir düşüş sağlanmıştır.

Tablo 4. ARP çözümünün mevcut rotaya göre kıyaslaması.

	Mevcut Rota Toplam Mesafe (m)	ARP Çözümü Rota Toplam Mesafe (m)	Toplam Kat Edilen Mesafe Değişim (m)	Toplam Yakıt Tasarrufu (%)	1. Araç Kapasite Kullanımı (%)	2. Araç Kapasite Kullanımı (%)
Pazartesi	72504	66800	5704	7,8	99,8	70,1
Salı	45934	36700	9234	20,1	100	61,9
Çarşamba	45616	42400	3216	7,1	68,2	99,7
Perşembe	76154	66900	9254	12,2	57,1	99,5
Cuma	51185	42300	8885	17,4	95,5	99,8
Cumartesi	23426	21700	1726	7,4	98,4	-

7. Sonuç

Günümüz dünyasında kaynak tüketiminin artması, atıkların depolanması için arazilerin yetersiz kalması, ekolojik dengenin sarsılması gibi konular, sürdürülebilir çevre başlığını gündeme getirmektedir. Türkiye’de bu konu ile alakalı atık yönetimi yönetmeliği 02.04.2015 tarihinde yürürlüğe girmiş ve daha sonra sıfır atık projesi başlatılmıştır. Bu yönetmelikte geri dönüşüm, atıkların yeniden kullanımı ve tersine lojistiğin önemi ön plana çıkmıştır. Belediyelerin denetimi altında geri dönüşüm faaliyetleri yürütülmeye başlanmıştır. Antalya’nın ilçesi olan Alanya’da da geri dönüşüm amaçlı belediye ile iş birliği içerisinde çalışan geri dönüşüm tesisleri mevcuttur. Bu tesislerin temel problemi, geri dönüşüm atıklarının zamanında ve mümkün olan en az maliyet ile toplanmasıdır. Literatürde bu tip problemlere dağıtım sistemlerinde de rastlanılmaktadır. Son yıllarda dağıtım sistemleri giderek daha karmaşık bir hale gelmiştir. Bu durum ise işletmeler açısından yoğun çalışma süreçlerine girmelerine neden olmuştur.

Dağıtım sistemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi de araç rotalama problemidir. Problemin temeli, merkezi bir depodan toplama/dağıtım noktalarına giderken kat edilecek mesafenin en aza indirgenecek şekilde rotaların belirlenmesidir. ARP’nin ana yapıtaşı taşıma işlemidir. Taşıma işlemi ticaretin başladığı ilk zamanlardan günümüze kadar önemini hiç kaybetmemiştir. Ülkemizde dağıtım/toplama maliyetleri, toplam maliyetlerin %20’lik dilimine kadar bir girdi oluşturabilmektedir. Bu yüzden dağıtım/toplama maliyetlerinde yapılan küçük iyileştirmeler bile gözle görülür düzeyde işletme giderlerinde tasarruf sağlayabilmektedir.

Çalışma kapsamında ARP ve farklı türleri tanıtılmış ve problemin gerçek hayattaki uygulamalarına bakılmış ve ARP çözüm yöntemleri ile alakalı geçmiş yıllara ait çalışmalar incelenmiştir. Alanya ilçesi kapsamında geri dönüşüm faaliyetlerin yürütülmesi esnasında en belirgin problemin yakıt giderlerinin fazla olması olarak belirlenmiştir. Bu problemde çözümü kapsamında mevcut atık toplama noktalarının hepsine uğranmak ve araç kapasitelerini aşmamak koşulları ile en kısa rotaların belirlenerek geri dönüşüm atıklarının toplanması hedeflenmiştir.

Çalışmanın uygulaması Alanya’da faaliyette olan bir geri dönüşüm tesisinde yapılmıştır. Tesis sorumlu olduğu mahalleleri Kestel-Mahmutlar-Kargıcak-Demirtaş ve Tosmur-Oba-Obagöl-Cikcilli olmak üzere iki gruba ayırmış ve her bir gruba 1 toplama aracı tahsis etmiştir. Her bir grubun çalışanları ve aracı birbirinden bağımsız olup tesisin talebi doğrultusunda Kestel-Mahmutlar-Kargıcak-Demirtaş grubunda rota iyileştirmesi öngörülmüştür. Tesis, haftanın 6 günü (Pazartesi-Salı -Çarşamba -Cuma-Cumartesi) çalışmaktadır. Çalışma kapsamında toplama noktalarındaki atık miktarları tahmini için mart ayı verileri baz alınmıştır. Harita uygulamaları ve tesis çalışanlarının görüşleri doğrultusunda depo dâhil toplama noktaları arası mesafe, koordinat ve adres bilgileri, çalışma saatleri, toplama süreleri, araç sayısı ve araç kapasitesi bilgileri temin edilmiştir.

Elde edilen veriler, çalışmada önerilen model ve yöntem kapsamında değerlendirilerek tesisin kullandığı mevcut rotaya alternatif rota belirlenmiştir. Önerilen yeni rotadaki toplam mesafe öncesine kıyasla daha azdır. Mevcut durumda cumartesi günü hariç diğer günlerde araç, kapasite aşımı probleminden kaynaklı ve tüm noktalara uğranmadan depoya atık boşaltmak için dönmek zorundadır. Önerilen yeni sistemde tesiste hâlihazırda mevcut bulunan 2. aracın kullanılması önerilmiştir. Problem çözümünde araçlardan en az biri haftanın her günü yüzde yüz veya yakın bir kapasite kullanım oranıyla çalışmaktadır. Tesisin mevcut rotasına kıyasla toplam kat edilen yol haftalık yaklaşık 38 kilometre azaltılmıştır. Buna mukabil araç yakıttan tasarruf elde edilmiş ve aylık olarak ortalama yaklaşık %12 oranında yakıt maliyetinde azalma sağlanmıştır. Geri dönüşüm faaliyetlerinin yıl boyu

süreklilik arz ettiği mevcut sistem üzerinde yakıt maliyeti düşürülerek önemli ölçüde iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalar sıfır atık projesi kapsamında bu tarz uygulamaları yaygınlaştırılarak geri dönüşüm faaliyetlerinde maliyet odaklı girişimlere öncülük edebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Elif Hatınoğlu ve Ayşe Uçar, problem verilerinin elde edilmesi, Mehmet GÜMÜŞ ve Emir Hüseyin ÖZDER problemin çözülmesi, bilimsel yayın araştırması, makalenin hazırlanması ve çözüm sürecinin kontrolü konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Alakaş, H. M., Kızıлтаş, Ş., Eren, T. & Özcan, E. (2018). Sıfır Atık Projesi Kapsamında Atıkların Toplanması: Kırıkkale İlinde Homojen Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3 (3), 190-196. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/humder/issue/42425/497997>

Alanya Belediyesi Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://www.alanya.bel.tr/Haber/12015/BELEDIYE-VE-CEVKO-ARASINDA-PROTOKOL-> (Son Erişim:19.03.2022)

Atmaca, E. (2012). Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi. TÜBAV Bilim Dergisi, 5 (2), 12-27. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/21527/230973>

Bayzan, Ş. & Tokat, S. & Çivril, Ö. (2005). Araç Rotalama Probleminde Talep Noktasında Bekleme Süresinin Alınan Toplam Yola Etkisi. 3. Otomasyon Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Cingöz, K., Gürgen, E. & Beyhan, B. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleriyle Atık Toplama Araçlarının Rotalarının Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 36 (1), 39-62. Doi: <https://doi.org/10.17065/huniibf.411125>

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587> (Son Erişim:19.03.2022)

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Sıfır Atık Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://sifiratik.gov.tr/> (Son Erişim:19.03.2022)

Danışan, T., Özcan, E.C., Eren, T., “Bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımı: hidroelektrik santral örneği”, Journal of Turkish Operations Management, 5 (1): 576-587, 2021. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/63460/843544>

Demir, A., Gümüş, M., Aydoğmuş, H. Y., & Kamber, E. (2021) Temizlik İşleri Çalışmalarında Risk Değerlendirmesi: Alanya Belediyesi Örneği. OPUS International Journal of Society Researches, 18(44), 7855-7882. Doi: <https://doi.org/10.26466/opus.917527>

Durduran, S. S., Gümüş, M. G., Bozdağ, A. & Beyhan, H. C. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanarak Yaya Yolları Üzerinden Rota Optimizasyonu. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (1), 180-189. Doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.386473>

Düzakın, E. & Demircioğlu, M. (2009). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13 (1). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cuiibfd/issue/4151/54476>

Eryavuz., M. & Gencer, C. (2001). Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6 (1). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduibfd/issue/20850/223589>

Furugi A., (2021). “Tıbbi atık toplama araçlarının rotalaması için matematiksel model önerisi: Samsun ilinde bir uygulama”, Journal of Turkish Operations Management, 5 (2), 862-871. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/67597/971270>

Güvez H., Dege M., Eren T., (2012). “Kırıkkale’de araç rotalama problemi ile tıbbi atıkların toplanması”, International Journal of Engineering Research and Development, 4 (1), 41-45. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/umagd/issue/31723/345863>

Kaçtıoğlu, S., Şengül Ü. (2010), Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı ve Bir Karma Tamsayı Programlama Modeli, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 24(1), 89-112. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniiibd/issue/2698/35571>

Kuşçu, Ö. (2009), Araç Rotalama Sistemlerinde Sezgisel Yöntem, Süleyman Demirel Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta. Erişim adresi: <https://acikerisim.sdu.edu.tr/xmlui/handle/123456789/28746>

Özdemir, M., Inkaya, B., & Bilgen, B. (2017). Uluslararası İntermodal Taşıma Ağında Optimal Rota Seçimi. III. Ulusal Liman Kongresi, Doi: <https://doi.org/10.18872/DEU.df.ULK.2017.005>

Sıfır Atık Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://sifiratik.gov.tr/sistem-kurulumu/belediyeler-icin> (Son Erişim:19.03.2022)

Taş, C., Bedir, N., Eren, T., Alakaş, H.M., Çetin, S., (2018). “Evde sağlık hizmetlerinde araç rotalama ile güzergahların belirlenmesi: Devlet hastanesinde bir uygulama”, Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi, 4 (3), 264-283. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/usaysad/issue/42056/506115>

Tezcan, B., Alakaş, H.M., Özcan, E.C., Eren, T., (2021). “Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi ve Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama”, Journal of Polytechnic, Baskıda. Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.906704>

TÜİK Resmî Web Sitesi, Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500> (Son Erişim:19.03.2022)

Yurdakul, K., Alakaş, H.M., Eren, T., (2021). “Evde sağlık hizmetlerinin planlanması: Araç rotalama ve ekip çizelgeleme”, Journal of Turkish Operations Management, 5 (2): 703-720. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/67597/896608>

Yurdakul, K., Alakaş, H.M., Eren, T., Gür, Ş., (2020). “Yaşlılara Evde Bakım Hizmetinde Bulunan Ekiplerin Rotalanması: Büyükşehir Belediyesinde Bir Uygulama”, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1): 206-223. Doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.602180>