



## Araç Rotalamada Karbon Ayak İzi Ve Endüstriyel Bir Uygulama

### Carbon Footprint In Vehicle Routing And An Industrial Application

Bensu Kaplanseren <sup>1</sup> , Betül Mercan <sup>1</sup> , Büşra Özdemir <sup>1</sup> , Hatice Hazel Kadioğlu <sup>1</sup> , Çağrı Sel <sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050 Karabük, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 25/04/2018

Kabul/Accepted: 07/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

#### Öz

Firmaların çoğunda bir lojistik ağı bulunmakta ve taşıma faaliyetleri neticesinde bir karbon ayak izi meydana gelmektedir. Taşıma araçlarının bu ağ çerçevesinde uygun bir şekilde rotalanması ve düşük bir karbon ayak izinin sağlanması sürdürülebilirlik açısından bir gerekliliktir. Bu çalışmada, bir firmanın personel servislerinin rotalama problemi ele alınmıştır. Toplam CO<sub>2</sub> salınımı ve toplam maliyetlerin azaltılması amaçlanmıştır. Problemin çözümü için, karbon ayak izi Tier-1 yaklaşımı ile hesaplanarak tasarruf algoritması uygulanmıştır. Uygulama sonucunda önerilen yeni rota ile firmada CO<sub>2</sub> salınımı %24,7 ve toplam maliyetler %24,5 oranında azalmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Araç Rotalama Problemi, Karbon Ayak İzi, Tasarruf Algoritması, Tier Yaklaşımı”

#### Abstract

Most of the companies have a logistics network and transportation activities cause a carbon footprint. A shortest route for vehicles and a low carbon footprint in the network is a requirement in terms of sustainability. In this study, a vehicle routing problem is considered on the personnel vehicles of a company. The aim is to minimize the total CO<sub>2</sub> emission and the total costs. To solve the problem, the savings algorithm is applied to the carbon footprint that is calculated by Tier-1 method. As a result, the CO<sub>2</sub> emission is reduced by 24.7% and the total costs are reduced by 24.5% with a new route in this company.

#### Key Words

“Vehicle Routing Problem, Carbon Footprint, Savings Algorithm, Tier Approach”

## 1. GİRİŞ

Canlılar yaşamlarını idame ettirebilmek için yeme, içme, ısınma, barınma gibi temel ihtiyaçlarını doğadan karşılar. Ancak, fosil yakıt kullanımı (kömür, petrol, doğalgaz vb.), elektrik kullanımı, bireysel araç kullanımı, hazır gıda tüketiminin ve nüfusun giderek artması, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi doğanın dengesini bozan olumsuzluklara neden olmaktadır. Karbon ayak izi, canlıların gerçekleştirdikleri aktiviteler sonucunda biriken toplam karbondioksit emisyonunun ölçümüdür. Doğal kaynaklara olan ihtiyaç gün geçtikçe artarak karbon ayak izinin büyümesine neden olmaktadır. Ancak artan bu ihtiyaçlar, dünyanın kaldırabileceğinden fazladır. Dünyanın bu talebi karşılayabilmesi için kendini yenileme kapasitesinin 1,5 katına ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyanın yenileme kapasitesini aşmamak için gereksinim duyulan enerjiyi verimli bir şekilde kullanarak, ağaç dikerek, geri dönüşüme katkı sağlayarak, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak, araçlarının lastik basınçlarını kontrol ederek, mümkün oldukça kısa mesafeleri yürüyerek veya bisiklet ile ulaşım sağlayarak karbon emisyonu azaltılabilir.

Karbon ayak izinin büyümesinde rol oynayan endüstriyel etkenlerden birisi de firmaların gerçekleştirmiş oldukları lojistik faaliyetleridir. Firmalar, personel ulaşımı, hammadde tedarigi ve nihai ürün dağıtımında ulaşım araçlarını kullanmaktadır. Kullanılan araçların sayısı, kat ettikleri mesafe, kullanılan yakıt türü ve miktarına bağlı olarak doğada oluşturdukları karbon ayak izi miktarında değişiklik görülmektedir. Bu değişiklikler firmalarda olumlu ya da olumsuz sonuçlar doğurabilir. Örneğin; kullanılan yakıt miktarındaki artış, karbon emisyonunun artmasının yanı sıra firmanın lojistik maliyetlerinin artmasına da neden olmaktadır. Karbon ayak izinin azaltılmasının hem firmaya hem de çevreye yararı bulunmaktadır.

Bu çalışmada, bir firmanın personel servislerinin rotalanması problemi ele alınmıştır ve toplam CO<sub>2</sub> salınımı azaltılmaya çalışılmıştır. Araç rotalama problemlerine (ARP) uygulanan yaygın çözüm yöntemlerinden biri olan tasarruf algoritmasının uygulaması esnasında karbon ayak izi Tier-1 yaklaşımı kullanılmıştır. Bu açıdan çalışmanın literatüre katkısı iki farklı açıdan değerlendirilebilir; Bunlardan ilki, tasarruf algoritması ve Tier-1 karbon ayak izi hesaplaması ile araç rotalama problemlerinin çevreye duyarlı çözümü için yeni bir yaklaşım ortaya koyulmasıdır. İkincisi ise, personel servislerinin rotalanması üzerine endüstriyel bir uygulamanın ele alınmasıdır.

Tablo 1'de karbon ayak izi ile ilgili literatürde yer alan araştırmalar incelenmiştir, çalışmada kullanılacak yöntemlerden bahsedilmiştir ve endüstriyel uygulama anlatılarak sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taramasında öncelikle karbon ayak izi ile ilgili yapılan Türkçe çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda hangi konuların üstünde durulduğu, konuların ne şekilde ele alındığı ve yapılacak çalışmaya olan benzerlikleri ve farklılıkları analiz edilmiştir. Tablo 1'de karbon ayak izi ile ilgili çalışmalara ait literatür özeti verilmiştir.

**Tablo 1.** Karbon Ayak İzi için Literatür Taraması

Literatür	Çalışma Konusu
Atabey (2013)	Tier yaklaşımıyla Diyarbakır iline ait karbon salınımında en önemli payın tüketimden kaynaklanan karbon salınımı olduğunu gözlemlenmiştir.
Demir ve Taşkın (2013)	Yaşam döngüsü değerlendirmesi ile rüzgâr türbinlerinin fosil yakıt ile elektrik üreten teknolojilerden daha az CO <sub>2</sub> emisyonuna sebep olduğunu gösterilmiştir
Karakoç (2012)	Karbon emisyon muhasebesi üzerine çalışılmıştır ve Türkiye'de uygulanabilirliği tartışılmıştır
Özlem (2013)	Kütle dengesi hesabı ile seçilen bir kâğıt fabrikasında karbon ayak izi belirlenmiştir
Pehlivan (2016)	Karbon ayak izi ve sera etkisi incelenmiştir, limanlar için örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir.
Turanlı (2015)	Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin karbon ayak izi hesaplanarak bir monte-carlo simülasyonu yapılmıştır
Vargün vd. (2015)	Sürdürülebilir bir çevre için karbon muhasebesi ve faaliyet tabanlı maliyetlendirme sistemi açıklanmıştır

Atabey (2013) Tier yaklaşımını kullanarak Diyarbakır iline ait karbon emisyonunu hesaplamıştır. Demir ve Taşkın (2013) rüzgâr türbini sistemleri ile elektrik üretim teknolojilerini CO<sub>2</sub> emisyonu açısından kıyaslamıştır. Karakoç (2012), Özlem (2013) ve Vargün vd. (2015) karbon emisyonunun hesaplanması üzerine araştırma gerçekleştirmiştir. Pehlivan (2016) karbon ayak izini ve sera etkisini incelemiştir. Turanlı (2015) Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde karbon ayak izini hesaplamış ve bir monte carlo simülasyonu hazırlamıştır.

Tablo 1'deki bu çalışmalar incelendiğinde karbon ayak izinin genel olarak sürdürülebilirlik ve küresel ısınma kavramları ile birlikte ele alındığı ya da karbon muhasebesi üzerinde durulduğu gözlenmiştir. Yapılan araştırmalarda servis araçlarının meydana getirdiği karbon ayak izinin hesaplanmasına dair bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Araçlara ait karbon emisyon hesaplamalarının yapıldığı araştırmalarda ise Tier yaklaşımının kullanıldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde araç rotalama problemi üzerine yapılan

çalışmalarda genel olarak hangi yöntemler ile ilgili çalışma yapıldığı ve ne gibi sonuçlar ortaya koyulduğu incelenmiştir. Tablo 2’de araç rotalama problemi ile ilgili bu çalışmalar kullanılan çözüm yöntemleri açısından incelenmiştir.

**Tablo 2.** Araç Rotalama Problemi için Literatür Taraması

Literatür	Çözüm Yöntemi
Ak ve Koç (2016)	Genetik Algoritma
Atmaca (2012)	Matematiksel Modelleme
Bozyer vd. (2014)	Gruplayarak rotalama sezgiseli
Çalışkan (2011)	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
Çeyrekoğlu (2017)	Genetik Algoritma
Çiçekli vd. (2016)	Dağınmık Arama, Genetik Algoritma ve GRASP
Ekizler (2011)	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
Keçeci vd. (2015)	Matematiksel Model, Clarke-Wright ve Tasarruf Algoritması
Kemer (2010)	Genetik Algoritma
Kiremitçi vd. (2014)	Genetik Algoritma
Koç ve Karaoğlan (2014)	Matematiksel Modelleme
Kosif ve Ekmekçi (2012)	Tasarruf Algoritması
Şahin ve Eroğlu (2015)	Genetik Algoritma, Tasarruf Algoritması, En Yakın Komşu Algoritması, 2-opt Algoritması ve Or-opt Algoritması
Şen vd. (2015)	Kümeleme Algoritması ve Genetik Algoritma
Şimşir ve Altunkaynak (2016)	Tasarruf Algoritması
Uzumer ve Eren (2012)	Matematiksel Modelleme
Uzun ve Tezel (2016)	Değişken Komşuluk Arama

Tablo 2’deki çalışmalar incelendiğinde, Ak ve Koç (2016), Çeyrekoğlu (2017), Çiçekçi vd. (2016), Kemer (2010), Kiremitçi vd. (2014), Şahin ve Eroğlu (2015), Şen vd. (2015) yaptıkları çalışmalarda genetik algoritmaları kullanarak en uygun sonucu bulmaya çalışmıştır. Çalışkan (2011), Ekizler (2011) karınca kolonisi optimizasyonundan yararlanarak çözüm üretmiştir. Bozyer vd. (2014), Uzun ve Tezel (2016) diğer sezgisel yöntemlere başvurmuştur. Koç ve Karaoğlan (2014), Uzumer ve Eren (2012) ve Atmaca, (2012) ise çalışmalarında matematiksel modeller sunmuştur. Şimşir ve Altunkaynak (2016), Keçeci vd. (2015), Kosif ve Ekmekçi (2012) yaptıkları çalışmalarda tasarruf algoritmasını kullanmıştır.

Genel olarak belirlenen problemlerde genetik algoritma, matematiksel modelleme ve tasarruf algoritması yöntemleri çalışılarak veya birkaç çözüm yöntemi birlikte ele alınarak en iyi sonuç bulunmaya çalışılmıştır. Bunlara ek olarak literatürde önce grupla sonra rotala prensibine dayanan yaklaşımlar, karışık tamsayı doğrusal programlama modeller ve kümeleme algoritması gibi farklı yöntemler de söz konusudur. Yöntemler incelendiğinde uygulama kolaylığı ve esneklik açısından tasarruf algoritması öne çıkmaktadır.

Firmalar farklılık yaratmak için sadece maddi yönden sağlanan faydaları düşünmemeli, aynı zamanda çevre sorunlarını da göz önüne almalıdır. Her organizasyon doğaya az ya da çok karbon salmaktadır. Büyüyen lojistik organizasyonları neticesinde firmaların karbon ayak izi gün geçtikçe belirgin hale gelmektedir. Geleneksel araç rotalama problemlerinde mesafeyi ve maliyeti minimize etmek temel amaçtır. Ancak, bu çalışmanın dikkat çeken yönlerinden birisi de çevre sorunlarını da ele almasıdır. Bu çalışmada gerçekleştirilen karbon ayak izi hesaplaması ile araçların doğaya saldığı CO<sub>2</sub> oranı da minimize edilecektir. Çalışmanın amacı sadece klasik araç rotalarını elde etmek değil aynı zamanda karbon ayak izini azaltmaktır. Her firmanın lojistik faaliyetleri çerçevesinde maliyetlerini azaltmaları ve çevreye duyarlı olabilmek açısından karbon ayak izi hesabı yapmaları bir gerekliliktir.

### 3. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde problemin çözümü için literatürdeki yaygın çözüm yöntemlerinden olan tasarruf algoritması ve karbon ayak izi hesaplamalarından birisi olan “Tier-1” yaklaşımı anlatılmıştır.

#### 3.1. Tasarruf Algoritması

Tasarruf algoritması, araç rotalama probleminin çözümü için geliştirilmiş sezgisel bir yöntemdir (Clarke ve Wright, 1964). Değişken araç sayılarının bulunduğu problemlerde kullanılmaktadır. Temel fikir her bir turun iyileştirilmek üzere aşamalı olarak değiştirilmesidir. Başlangıçta belirli bir rota üzerinden ilerleyen taşıtlar tasarrufların hesaplanmasıyla uygun rotada birleştirilir. Algoritma vasıtasıyla yeni rota oluşturmanın yanı sıra gerekli olan araç sayısı da tespit edilmektedir. Çözüm yönteminin amacı araçların toplam kat ettiği mesafeyi minimize etmek veya araç sayısını düşürmektir.

Algoritma, tüm varış noktalarına hizmet veren ve tekrar başlangıç noktasına geri dönen hayali bir araç ile başlar. Yapılan bu işlem neticesinde elde edilen, araç rotalamada hesaplanabilecek en uzun mesafedir. Daha sonra iki tane güzergâh noktası aynı rota üzerinde birleştirilir. Böylece bir araç elimine edilmiş ve başlangıç noktasından bir noktaya, diğer noktadan başlangıç noktasına

olan mesafe eksilmiştir. Ancak iki nokta arasına bir yol ilave edilmiştir. Bir rota üzerinde hangi noktaların birleştirileceğini belirlemek için mesafeler birleşme öncesi ve sonrası hesaplanır (Şeker, 2007).

Algoritmada, ilk olarak bir başlangıç noktası belirlenir. Bu başlangıç noktasından hareketle tüm noktalara ulaşıldığı varsayılır. Devamında, Denklem (1) ile tasarrufları hesaplanarak iki alt tur birleştirilir. Denklemde (1)'de belirtilen (i,j) problemde ele alınan bir çift duraktır. Hesaplanan tasarruflar büyükten küçüğe sıralanarak birleştirilmektedir. Birleştirilen bu noktalar büyük bir müşteri olarak kabul edilir. Yeni rotalar araç kapasitesi de dikkate alınarak peş peşe sıralı ya da her bir araç için kısmi rotalar oluşturularak paralel şekilde oluşturulur (Eryavuz ve Gencer, 2001).

$$S_{ij} = c_{0i} + c_{0j} - c_{ij} \quad (1)$$

Tasarruf algoritmasında izlenecek adımlar şu şekildedir (Eryavuz ve Gencer, 2001);

Adım 1 : Tüm i ve j çiftleri için tasarrufları hesapla.

Adım 2 : Tasarrufları büyükten küçüğe doğru sırala.

Adım 3 : Listenin başından başlayarak sürüm çeşidine göre aşağıdaki adımları uygula.

Adım 4 : Listenin başından alınan dal, problem kısıtlarına uyararak bir mümkün çözüm üretiyorsa, bu tura ilave et, aksi durumda çıkar.

Adım 5 : Listedeki sıradaki dalı al ve 4.adımı listede dal kalmayana kadar tekrarla.

Adım 6 : Mevcut rotanın iki ucundan birini geliştirecek mümkün dalı listeden bul.

Adım 7 : Rota daha fazla geliştirilemiyorsa, rotayı sonlandır. İlk mümkün dalı yeni bir rotaya başlamak üzere seç.

Adım 8 : Seçilecek dal kalmayıncaya kadar 4. Adımı ve 5. Adımı tekrarla.

### 3.2.Tier Yöntemi

Tier-1 yaklaşımında yapılan hesaplarda yakıtın yanması temel alınmıştır. Yakıt kullanımı kadar emisyon ortaya çıkmaktadır. Yakılan yakıt türüne göre yakıt miktarı ve sadece varsayılan dönüşüm faktörleri ile hesaplamalar yapılmaktadır.

CO<sub>2</sub> emisyonu hesaplanmasında ilk aşama; enerji tüketim miktarını bulmaktır. Denklem (2)'de belirtilen yakıt tüketim değerleri (ton) yakıt tiplerine göre belirlenmelidir. Daha sonra TJ/kt birimindeki net kalori değerleri ile çarpılır ve yakıtın enerji değerleri TJ biriminde elde edilir (Pekin, 2006).

$$Enerji \ Tüketimi \ [TJ] = Yakıt \ Tüketimi \ [t] \ 10 \times Dönüşüm \ Faktörü \ [TJ / kt] \quad (2)$$

Tüketilen yakıtın karbon içeriği Denklem (3)'de verilmiştir. Karbon emisyon faktörü (TJ enerji birimi başına ton karbon içeriği) ile bulunan enerji faktörü çarpımı sonucu elde edilen karbon içeriği 10<sup>-3</sup> ile çarpılarak Denklem (4)'de verilen Gg (gigagram) birimine dönüştürülür.

$$Karbon \ İçeriği \ [t \ C] = Karbon \ Emisyon \ Faktörü \ [t \ C / TJ] \times Enerji \ Tüketimi \ [TJ] \quad (3)$$

$$Karbon \ İçeriği \ [Gg \ C] = Karbon \ İçeriği \ [t \ C] \times 10^{-3} \quad (4)$$

Karbonun ne kadarının oksidasyona uğradığı Denklem (5) ile hesaplanmaktadır. Karbon oksitlenme oranı ile karbon içeriği çarpılarak elde edilir.

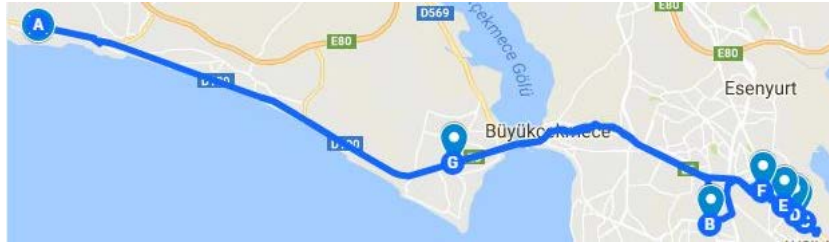
$$Karbon \ Emisyonu \ [Gg \ C] = Karbon \ İçeriği \ [Gg \ C] \times Karbon \ Oksitlenme \ Oranı \quad (5)$$

CO<sub>2</sub> emisyonunu hesaplamak için Denklem (6)'dan yararlanılır. Karbondioksitin ve karbonun mol ağırlıkları sırasıyla; 44 ve 12'dir. Hesaplanan karbon emisyon değeri ile mol oranları (44/12) ile çarpılarak CO<sub>2</sub> emisyonu bulunur.

$$CO_2 \ Emisyonu \ [Gg \ CO] = Karbon \ Emisyonu \ [Gg \ C] \times (44/12) \quad (6)$$

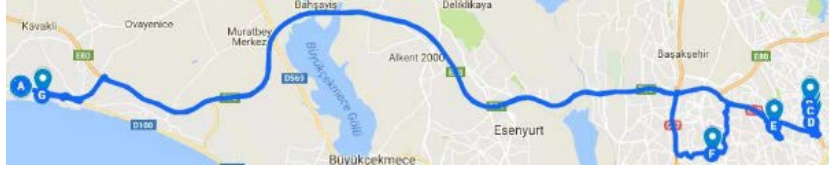
## 4. ENDÜSTRİYEL UYGULAMA

Bu bölümde, İstanbul'da mobilya üretimi yapan bir firmasının personel dağıtım ağı ele alınmaktadır. Firmanın bünyesinde 5 servis aracı bulunmaktadır. Her aracın kapasitesi 18 kişiliktir ve herhangi bir kapasite aşımı yapılmamaktadır. Servis araçlarının belirli güzergâhları ve durakları bulunmaktadır. Firmadan 28 durağa personel dağıtım ve toplama işlemi yapılmaktadır. Firmanın personel servis araçları tüm talepleri karşılayacak kapasitededir. İşletmede 5 adet servis aracı bulunmakta olup, her biri 18 kişilik kapasiteye sahiptir. Amaç, araç kapasiteleri aşılmadan, personel ihtiyacı karşılanırken maliyeti, süreyi, mesafeyi ve araçların doğa da oluşturdukları karbon ayak izi miktarının azaltılması için uygun rotanın belirlenmesidir.



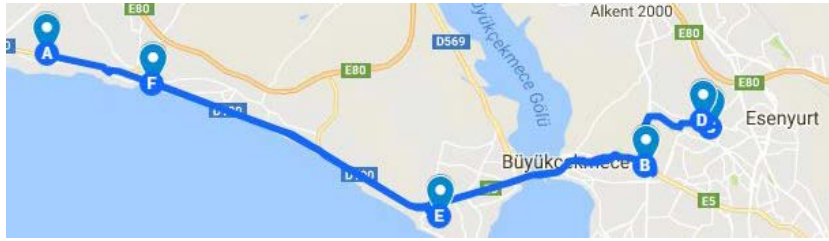
Şekil 1. Birinci Araca Ait Mevcut Güzergâh

Firmaya ait birinci servis Şekil 1’de gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak ilk olarak B (Hürriyet Caddesi) - C (Cihangir Mahallesi) - D (Avcılar Lisesi) - E (Türksan) - F (Saadetdere Mahallesi) - G (Ekinoba) duraklarına uğrayarak personelleri toplayıp firmaya gelmektedir. Akşam mesai bitiminde ise aynı güzergâhı izleyerek personelleri duraklara bırakmaktadır.



Şekil 2. İkinci Araca Ait Mevcut Güzergâh

İkinci servis aracı ise Şekil 2’de gösterilen A (Firma) başlangıç noktasından çıkarak B (Salihpaşa) - C (Alperenler) - D (Tuna Lisesi) - E (Ferhatpaşa) - F (12.Sokak) - G (Yalçın Sitesi) duraklarına uğrayarak personelleri toplayıp firmaya getirip, akşam mesai bitiminde aynı güzergâhı izleyerek personelleri duraklara bırakmaktadır.



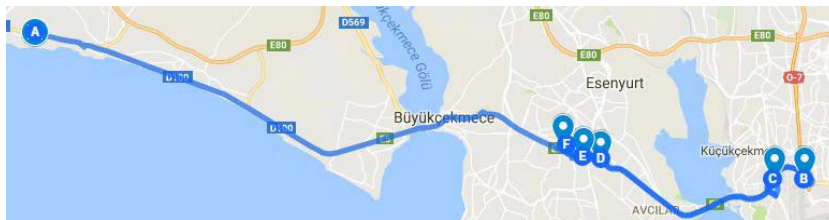
Şekil 3. Üçüncü Araca Ait Mevcut Güzergâh

Firmaya ait üçüncü servis aracı Şekil 3’de gösterilen A (Firma) başlangıç noktasından çıkarak B (Tüyap) - C (Dereboyu Sokak) - D (Mehtap Sokak) - E (Güzelkent) - F (Plaj Yolu) duraklarını izleyerek personellerin firmaya ulaşımını sağlamaktadır.



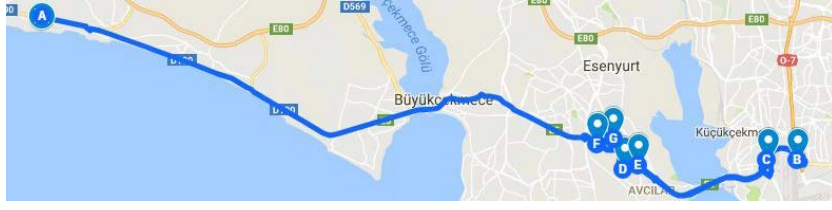
Şekil 4. Dördüncü Araca Ait Mevcut Güzergâh

Firmaya ait dördüncü servis aracı Şekil 4’de gösterilen A (Firma) başlangıç noktasından çıkarak B (Fatih Mahallesi) - C (Kazım Karabekir Caddesi) - D (Karabayır) - E (GOP Meydan) - F (GOP) - G (GOP Belediye) güzergâhını izlemektedir.



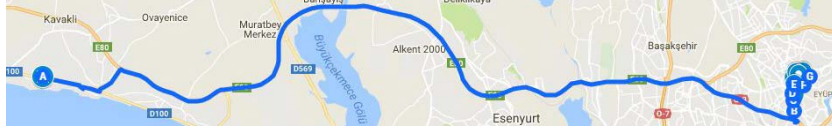
Şekil 4. Beşinci Araca Ait Mevcut Güzergâh

Beşinci servis aracı ise Şekil 5’de gösterilen A (Firma) başlangıç noktasından çıkarak B (Fidanlık) - C (Beşyol) - D (Haramidere Sanayi Sitesi) - E (Haramidere) - F (Güzelyurt) güzergâhını izlemektedirler.



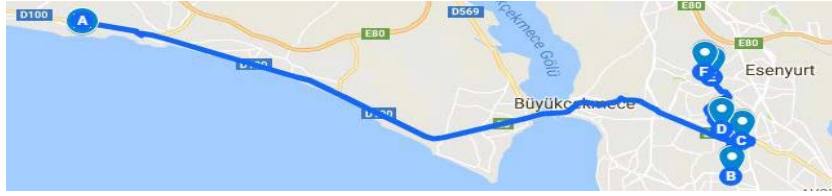
Şekil 5. Birinci Araca Ait Önerilen Güzergâh

Tasarruf algoritmasının çalıştırılmasının sonucunda servis araçlarının güzergahlarında uygun bir rotaya ulaşılmıştır. Ulaşılan rotaya göre firmaya ait birinci servis aracı Şekil 6'da gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Fidanlık) - C (Beşyol) - D (Cihangir Mahallesi) - E (Avcılar) - F (Türksan) - G (Saadetdere Mahallesi) duraklarını izleyip personel toplama ve bırakma işlemini gerçekleştirmektedir.



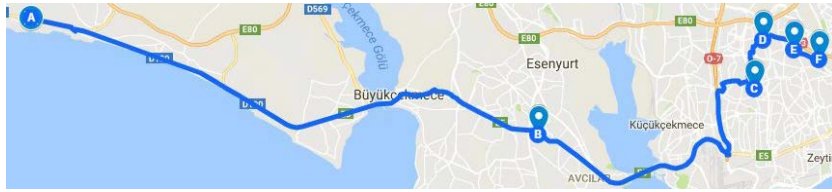
Şekil 6. İkinci Araca Ait Önerilen Güzergâh

Yapılan iyileştirme sonucunda firmaya ait ikinci servis aracının güzergâhı Şekil 7'de gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Tuna Lisesi) - C (Alperenler) - D (Salihpaşa) - E (GOP Meydan) - F (GOP) - G (GOP Belediye) duraklarını izlemektedir.



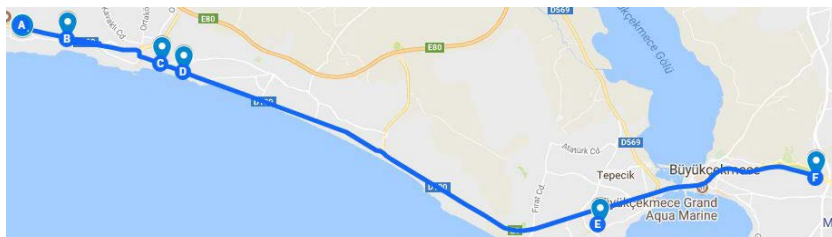
Şekil 7. Üçüncü Araca Ait Önerilen Güzergâh

İyileştirme sonucunda üçüncü servis aracının güzergâhı Şekil 8'de gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Hürriyet Caddesi) - C (Haramidere) - D (Güzelyurt) - E (Dereboyu) - F (Mehtap Sokak) duraklarını izlemektedir.



Şekil 8. Dördüncü Araca Ait Önerilen Güzergâh

Firmaya ait dördüncü servis aracının güzergâhı iyileştirme sonucunda Şekil 9'da gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Haramidere Sanayi Sitesi) - C (12. Sokak) - D (Fatih Mahallesi) - E (Karabayır) - F (Ferhatpaşa) duraklarını izlemektedir.



Şekil 9. Beşinci Araca Ait Önerilen Güzergâh

Yapılan çalışma sonucunda beşinci personel servis aracı için önerilen güzergâh Şekil 10'da gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Yalçın Sitesi) - C (Plaj Yolu) - D (Güzelkent) - E (Ekinoba) - F (Tüyap) duraklarını izlemektedir.

**Tablo 3.** Mevcut Durumdak Güzergâh Bilgileri

Durak Kodu	Durak Adı	Servis talebi (adet)	Durak Kodu	Durak Adı	Servis talebi (adet)
0	Araptepe	0	15	Mehtap Sokak	3
1	Hürriyet Caddesi	3	16	Güzelkent	4
2	Cihangir Mah.	3	17	Plaj Yolu	5
3	Avcılar Lisesi	2	18	Fatih Mahallesi	2
4	Türksan	4	19	Kazım Karabekir	3
5	Saadetdere	3	20	Karabayır	5
6	Ekinoba	3	21	Gaziosmanpaşa Meydan	3
7	Salihpaşa	4	22	Gaziosmanpaşa	3
8	Alperenler	2	23	Gaziosmanpaşa Bel.	2
9	Tuna Lisesi	4	24	Fidanlık	3
10	Ferhat Paşa	3	25	Beşyol	3
11	12.Sokak	3	26	Haramidere Sanayi S.	2
12	Yalçın Sitesi	2	27	Haramidere	6
13	Tüyap	4	28	Güzelyurt	4
14	Dereboyu	2			

Mevcut güzergâh bilgileri göz önüne alınarak araçların uğradıkları her bir durağa durağı temsil eden kodlar atanmıştır. Google haritalar kullanılarak, duraklar arasında oluşan mesafeler bulunmuştur ve uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Mesafeler km cinsindedir. Uzaklık matrisi Ek 1' de verilmiştir.

Tasarruf matrisi oluşturulurken  $1 \leq i \leq j \leq 28$  aralığındaki tüm (i, j) çiftlerinin tasarrufları hesaplanır; Örneğin;  $s_{38} = c_{03} + c_{08} - c_{38} = 35,90 + 62,40 - 26,60 = 71,70$

Tüm tasarruflar değerlerinin hesaplanmasıyla bir tasarruf matrisi elde edilmiştir. Tasarruf matrisi Ek 2' de verilmiştir. Daha sonra bu değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak her bir değer konum 1 (sütunda yer alan durak kodu) ve konum 2 (satırda yer alan durak kodu) değerleri alınır. Bulunan konum 1 ve konum 2 değerlerinin talep miktarları Tablo 3'den yararlanarak toplam talep miktarı elde edilmektedir. Örneğin tasarruf matrisindeki en büyük değer olan 125,80'nin tablodaki konumuna bakıldığında kod numarası 21 ve 22 olan durakları kapsamaktadır. 21 ve 22 kod numaralı durakların talep miktarları 3'er kişi olup toplam talep miktarı 6 kişidir. Araç kapasitesi 18 kişi olup toplam talep miktarı araç kapasitesini aşmadığı ve daha önceden kullanılan konumlar (aynı güzergâh) olmadığı sürece tüm rakamlar değerlendirilerek rotalar oluşturulur. Tasarruf miktarlarının ve rotalar ile ilgili bilgilerin yer aldığı Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Tasarruf Miktarları ve Rota Bilgileri

Tasarruf Miktarı (km)	Konum 1	Konum 2	Talep (adet)	Rota
125,80	21	22	6	21-22
125,60	22	23	8	21-22-23
124,80	7	22	12	7-21-22-23
124,80	8	22	14	7-8-21-22-23
122,20	9	22	18	7-8-9-21-22-23
117,00	10	11	6	10-11
111,30	11	18	8	10-11-18
111,00	11	20	13	10-11-18-20
110,00	11	19	16	10-11-18-19-20
85,60	24	25	6	24-25
83,10	10	26	18	10-11-18-19-20-26
72,90	2	24	9	2-24-25
72,80	2	4	13	2-4-24-25
72,50	4	5	16	2-4-5-24-25
71,80	3	4	18	2-3-4-5-24-25
66,40	14	15	5	14-15
62,8	14	28	9	14-15-28
62,4	1	28	12	1-14-15-28
62,4	1	27	18	1-14-15-27-28
39,5	6	13	7	6-13
11,3	6	16	11	6-13-16
9,9	16	17	16	6-13-16-17
5,3	12	13	18	6-12-13-16-17



**Tablo 5.** Mevcut Duruma Ait Araç Bilgileri

Araç Modeli	Mevcut Güzergâh	Toplam Mesafe (km)	Toplam Yakıt Miktarı (lt)	Yakıt Türü	Toplam Maliyet (₺)
Renault Master 2015	Tüyap - Dereboyu Sokak - Mehtap Sokak - Güzelkent - Plaj Yolu	102,8 km	7,2 lt	Dizel	38,02 TL
Renault Master 2014	Salihpaşa - Alperenler - Tuna Lisesi - Ferhatpaşa - 12.Sokak - Yalçın Sitesi	262,1 km	18,2 lt	Dizel	96,01 TL
Renault Master 2011	Fidanlık - Beşyol - Haramidere Sanayi Sitesi - Haramidere - Güzelyurt	170,6 km	12 lt	Dizel	63,36 TL
Renault Master 2011	Hürriyet Caddesi- Cihangir Mahallesi- Avcılar Lisesi- Türksan- Saadetdere- Ekinoba	120,6 km	8,5 lt	Dizel	44,88 TL
Renault Master 2011	Fatih Mahallesi - Kazım Karabekir Caddesi - Karabayır- GOP Meydan - GOP - GOP Belediye	142,8 km	10 lt	Dizel	52,80 TL

Tablo 5’de firmada yapılan analiz ve gözlemler sonucu her araç için elde edilen güzergâhlar, toplam mesafe, toplam yakıt miktarı, yakıt türü ve toplam maliyetler yer almaktadır.

**Tablo 6.** Önerilen Duruma Ait Araç Bilgileri

Araç Modeli	İyileştirilmiş Güzergâh	Toplam Mesafe (km)	Toplam Yakıt Miktarı (lt)	Yakıt Türü	Toplam Maliyet (TL)
Renault Master 2015	Yalçın Sitesi - Plaj Yolu - Güzelkent - Ekinoba - Tüyap	61,8 km	4,5 lt	Dizel	23,76 TL
Renault Master 2014	Tuna Lisesi - Alperenler - Salihpaşa - GOP Meydan - GOP - GOP Belediye	139,7 km	10 lt	Dizel	52,80 TL
Renault Master 2011	Haramidere Sanayi Sitesi- 12.Sokak - Fatih Mahallesi - Karabayır - Ferhatpaşa	165,9 km	11,5 lt	Dizel	60,72 TL
Renault Master 2011	Hürriyet Caddesi - Haramidere - Güzelyurt - Dereboyu - Mehtap Sokak	101 km	7 lt	Dizel	36,96 TL
Renault Master 2011	Fidanlık - Beşyol - Cihangir Mahallesi - Avcılar - Türksan - Saadetdere Mahallesi	132,6 km	9,2 lt	Dizel	48,58 TL

Tablo 6’de tasarruf algoritması yöntemi kullanılarak her araç için elde edilen güzergâhlar, toplam mesafe, toplam yakıt miktarı, yakıt türü ve toplam maliyetler yer almaktadır.



**Tablo 7.** Mevcut Duruma Ait Karbondioksit Emisyon Miktarı

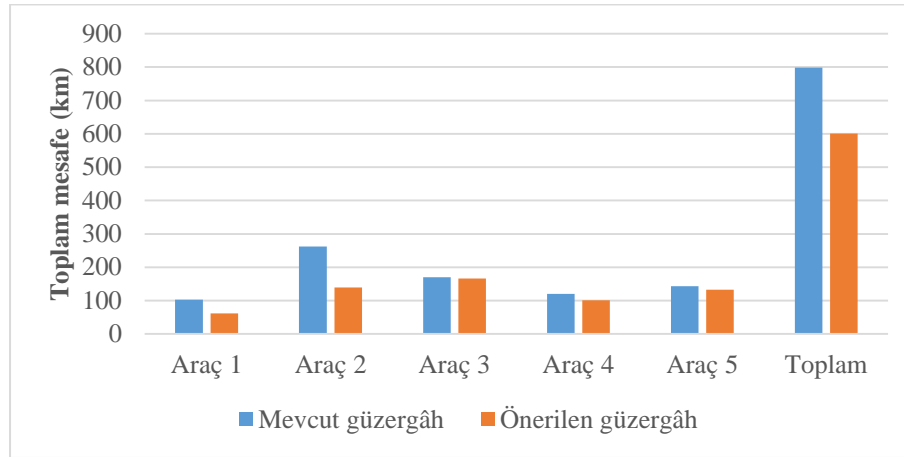
Yakıt Miktarı (lt)	Ton Miktarı	Yağ Katsayısı (1,035)	Joule (41,868)	EF1 (TC/TJ) (20,2)	EF2 (%Verimlilik) (0,99)	EF3 (CO2 M.) (3,6667)	Gigagram (0,001)
7,2 lt	0,0072	0,0074	0,3120	6,3024	6,2394	22,8779	0,0229
18,2 lt	0,0182	0,0188	0,7887	15,9311	15,7718	57,8304	0,0578
12 lt	0,0120	0,0124	0,5200	10,5040	10,3990	38,1299	0,0381
8,5 lt	0,0085	0,0088	0,3683	7,4403	7,3659	27,0087	0,0270
10 lt	0,0100	0,0103	0,4333	8,7533	8,6658	31,7749	0,0318
TOPLAM						177,6218	0,1776

Tablo 7 'de Tier-1 yaklaşımı kullanılarak mevcut duruma ait karbondioksit emisyon miktarı bulunmuştur.

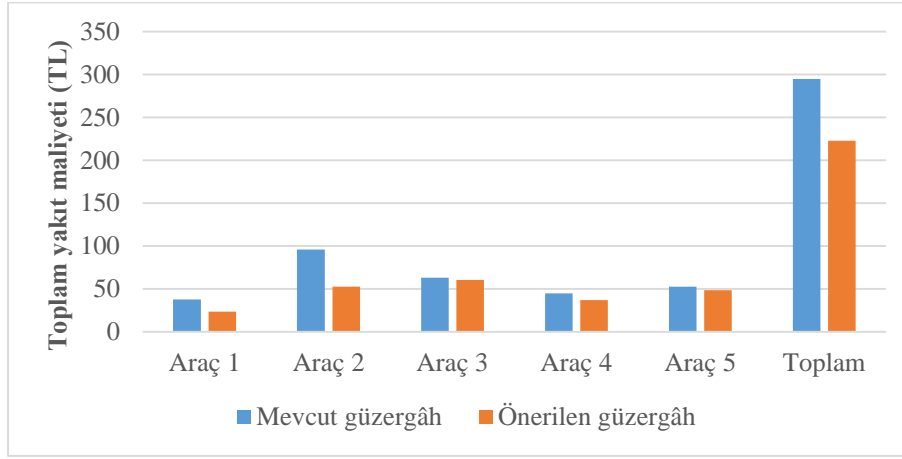
**Tablo 8.** Önerilen Duruma Ait Karbondioksit Emisyon Miktarı

Yakıt Miktarı (lt)	Ton Miktarı	Yağ Katsayısı (1,035)	Joule (41,868)	EF1 (TC/TJ) (20,2)	EF2 (%Verimlilik) (0,99)	EF3 (CO2 M.) (3,6667)	Gigagram (0,001)
4,5 lt	0,0045	0,0047	0,1950	3,9390	3,8996	14,2987	0,0143
10 lt	0,0100	0,0103	0,4333	8,7533	8,6658	31,7749	0,0318
11,5 lt	0,0115	0,0119	0,4983	10,066	9,9657	36,5412	0,0365
7 lt	0,0070	0,0072	0,3033	6,1273	6,0661	22,2424	0,0222
9,2 lt	0,0092	0,0095	0,3987	8,0531	7,9725	29,2329	0,0292
TOPLAM						134,0901	0,1340

Tablo 8 'de Tier-1 yaklaşımı kullanılarak önerilen duruma ait karbondioksit emisyon miktarı bulunmuştur.

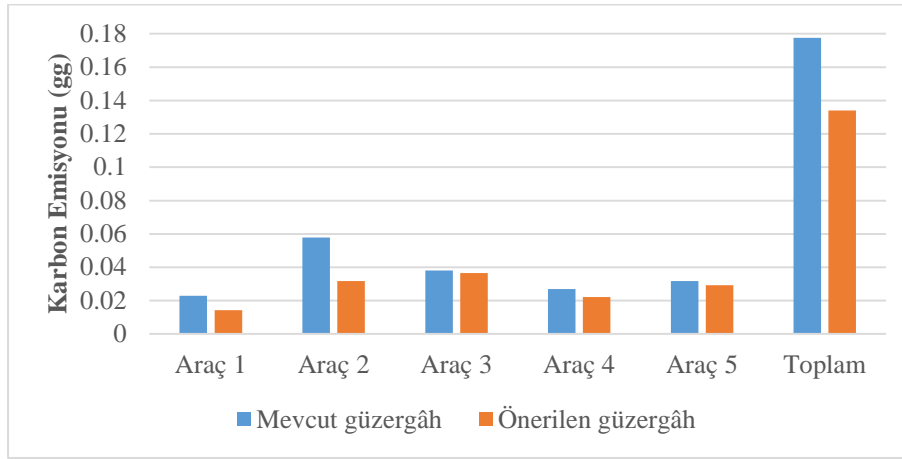
**Şekil 11.** Araç Başına Toplam Km

Mevcut güzergâhlar ve tasarruf algoritması yöntemi ile güncellenmiştir, önerilen güzergâhlara ait toplam km miktarları Şekil 11 'de grafik ile gösterilmiştir. Araç başına toplam km miktarlarına bakıldığında mevcut durumdaki birinci aracın kat ettiği mesafe 102,8 km iken önerilen durumda 61,8 km'dir. Aynı şekilde ikinci araç 262,1 km'den 139,7 km'ye, üçüncü araç 170,6 km'den 165,9 km'ye, dördüncü araç 120,6 km'den 101 km'ye, beşinci araç ise 142,8 km'den 132,6 km'ye düşmüştür. Toplam km bakıldığında ise mevcut durumdaki mesafenin 798,9 km'den 601 km'ye indiği görülmektedir.



Şekil 12. Araç Başına Toplam Yakıt Maliyeti

1 litre dizel yakıtın fiyatı 5,28 TL olarak ele alınarak yapılan hesaplar sonucunda toplam yakıt maliyetleri Şekil 12’de grafik olarak gösterilmiş. Araç başına toplam yakıt maliyeti kıyaslandığında mevcut durumdaki birinci aracın yakıt maliyeti 38,02 TL iken önerilen durumda 23,76 TL’dir. Aynı şekilde ikinci araç için 96,01 TL’den 52,8 TL’ye, üçüncü araç için 63,36 TL’den 60,72 TL’ye, dördüncü araç için 44,88 TL’den 36,96 TL’ye, beşinci araç için ise 52,8 TL’den 48,58 TL’ye düşmüştür. Toplam yakıt maliyetine bakıldığında mevcut durumun 295,07 TL, önerilen durumun ise 222,82 TL olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Araç Başına Toplam Karbon Emisyon Miktarı (gg)

Toplam yakıt miktarı göz önüne alınarak Tier-1 yaklaşımı ile hesaplamalar yapılmış ve Şekil 13’de toplam karbon emisyon miktarları grafikte gösterilmiştir. Araç başına toplam karbon emisyon miktarındaki değişimler incelendiğinde mevcut durumdaki birinci aracın karbon emisyon miktarı 0,023 gg iken önerilen durumda 0,014 gg’dir. Aynı şekilde ikinci araç 0,058 gg’den 0,032 gg’ye, üçüncü araç 0,038 gg’den 0,036 gg’ye, dördüncü araç 0,027 gg’den 0,022 gg’ye, beşinci araç ise 0,032 gg’den 0,029 gg’ye düşmüştür. Toplam karbon emisyon miktarına bakıldığında mevcut durumun 0,178 gg önerilen durumun ise 0,134 gg olduğu görülmektedir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada personel taşımacılığı için firma servis araçlarının bulunduğu bir vaka ele alınmıştır. Bu servis araçları personelleri işleme getiren, götürmek için belli güzergâhlar kullanmaktadır. Yapılan gözlemler ve incelemeler sonucunda mevcut duruma ait güzergâhlar, toplam mesafe, toplam yakıt miktarı ve toplam yakıt maliyeti ile ilgili bilgiler toplanmıştır. Kullanılan güzergâhların iyileştirilmesi, toplam mesafenin, toplam maliyetin ve toplam karbon emisyonunun azaltılması için işletmede çalışmalar yapılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda araç rotalama problemleri yöntemlerinden tasarruf algoritması kullanılarak yeni rotalar belirlenmiştir. Önerilen rotalara göre toplam mesafe, toplam yakıt miktarı ve toplam yakıt maliyeti bulunmuştur. Mevcut ve önerilen durumlara ait bilgiler elde edildikten sonra tier-1 yaklaşımı uygulanarak araç başına toplam karbondioksit emisyon miktarı hesaplanmıştır. Mevcut durum ile önerilen durum karşılaştırıldığında toplam mesafeden, yakıt miktarından ve yakıt maliyetinden tasarruf edilmiş ve kayda değer iyileştirme gerçekleştiği görülmüştür.

Servis araçlarının güzergâhları iyileştirilerek, firmanın ve çalışanlarının zamandan ve maliyetten tasarruf etmesi sağlanmıştır. Uygulamada tasarruf algoritması ve tier-1 yaklaşımı bir arada kullanılarak yeni bir bakış açısı geliştirilmiştir. Yöntem okul servisleri ve toplu taşıma gibi diğer lojistik hizmetlerinde, bu hizmetleri sağlayan yüklenici firmalarda da uygulanabilecek esnekliğe sahiptir. Bu bakış açısıyla, firmaların ekonomik kaygılarının yanında karbon ayak izinin azaltılması ile toplumun çevresel kaygıları dikkate alması gerektiğinin altı çizilmektedir.

Gelecek çalışmalarda, daha geniş kapsamlı bir lojistik ağına sahip küresel ölçekte bir uygulama ele alınabilir. Tier-1 yöntemi haricinde diğer varsayımlar kullanılarak (örneğin Tier-2, Tier-3) karbon emisyonuna yönelik hesaplar çeşitlendirilebilir. Karbon ayak izinin yanı sıra açığa çıkan metan ve azot dioksit gibi diğer zararlı gazların azaltılması için mevcut çalışma genişletilebilir.

## REFERANSLAR

- Ak, B., & Koç, E. (2016). Seçilmiş Bir Endüstriyel Tesiste Üretim Çizelgeleme Problemi Ve Genetik Algoritma İle Optimizasyon. Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırma Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi, Türkiye, 21-26.
- Atabey, T. (2013). Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Atmaca, E. (2012). Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi ve Uygulaması. TUBAV Bilim Dergisi, 5(2), 12-27.
- Barış Keçeci, F. A. (2015). Heterojen Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Modeller Ve Sezgisel Bir Algoritma. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 185-195.
- Bozyer, Z., Alkan, A., & Fıçlalı, A. (2014). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Önce Grupla Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 7(2), 29-37s.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations research, 12(4), 568-581.
- Çalışkan, K. (2011). Karınca Kolonisi Optimizasyonu İle Araç Rotalama Probleminin Maliyetlerinin Kümeleme Tekniği İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tobb Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Çeyrekoğlu, S. (2017). Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı Ve Örnek Bir Uygulama, Yüksek Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Çiçekli, U. G., Keskin, F. D., & Kocamaz, M. (2016). Bir İmalat Hücresindeki Çizelgeleme Problemi İçin Meta Sezgisel Yöntemlerin Karşılaştırılması: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırma Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi, Türkiye, 336-341.
- Demir, N., & Taşkın, A. (2013). Life cycle assessment of wind turbines in Pınarbaşı-Kayseri. Journal of cleaner production, 54, 253-263.
- Ekizler, H. (2011). Araç Rotalama Probleminin Çözümünde Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmasının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Eryavuz, M., & Gencer, C. (2001). Araç rotalama problemine ait bir uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6(1), 139-155.
- Karakoç, M. (2012). Karbon Emisyon Muhasebesi Ve Türkiye'de Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyon, Türkiye.
- Keçeci, B., Altıparmak, F., & Kara, İ. (2015). Heterojen Eş-Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Modeller Ve Sezgisel Bir Algoritma. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), 185-195.
- Kemer, B. (2010). Araç Rotalama Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı: Bir Gıda Dağıtım Firması Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Kiremitçi, B., Kiremitçi, S., & Kesintürk, T. (2014). Zaman pencereci çok araçlı dağıtım toplamalı rotalama problemi için gerçek değerli genetik algoritma yaklaşımı. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi Istanbul University Journal of the School of Business, 43(2), 391-403.

Koç, Ç., & Karaoğlan, İ. (2016). The Green Vehicle Routing Problem: A Heuristic Based Exact Solution Approach. *Applied Soft Computing*, 39, 154-164.

Kosif, B., & Ekmekçi, İ. (2012). Araç Rotalama Sistemleri ve Tasarruf Algoritması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(21), 41-51.

Özlem, B. (2013). Seçilen Bir Kağıt Fabrikasında Karbon Ayak İzi Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Pehlivan, Y. (2016). Waste Management And Evaluation Of Carbon Footprint in Harbours, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

Şahin, Y., & Eroğlu, A. (2015). Sipariş Toplama ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemlerinin Hiyerarşik Çözümü. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 15-28.

Şeker, Ş. (2007). Araç rotalama problemleri ve zaman pencereli stokastik araç rotalama problemine genetik algoritma yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Şen, T., Cömert, S. E., & Yazgan, H. R. (2015). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Yeni Bir Algoritma Geliştirilmesi: Bir Süpermarket Zincirinde Uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(1), 83-88.

Şimşir, F., & Altunkaynak, H. (2016). Havayolu Şirketi İkram Hizmeti Tedarik Sürecinde Araç Rotalama Problemi. *Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırma Sempozyumu*, İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi, Türkiye, 1057-1062.

Uzun, Y.i & Tezel, G. (2016). Engelli Servis Aracı Rotalama Probleminde Değişken Komşuluk Arama Yönteminin Kullanımı. *Uluslararası Engelsiz Bilişim Kongresi*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye.

Turanlı, A. M. (2015). Karbon Ayak İzi Kestirimi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi İçin Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Ulutaş, A., Bayrakçıl, A. O., & Kutlu, M. B. (2017). Araç Rotalama Probleminin Tasarruf Algoritması İle Çözümü: Sivas'ta Bir Ekmek Fırını İçin Uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18(1) 185-197.

Uzumer, E., & Eren, T. (2012). Okul Servisi Rotalama Problemi: Bir Uygulama. *Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 4(2), 26-29.

Vargün H., Gürkan, S., & Akbulut H. (2015). Sürdürülebilir Bir Çevre İçin Karbon Muhasebesi ve Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sisteminin Entegrasyonu. *Mali Çözüm Dergisi*, 25(132), 11-31.

## **EKLER**

Ek 1. Uzaklık Matrisi

Ek 2. Tasarruf Matrisi

**Ek 1. Uzaklık Matrisi (km)**

Durak No	0	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	27	28	
0	-																													
1	33,9	-																												
2	36,7	6,4	-																											
3	35,9	5,9	0,9	-																										
4	39,4	9,4	3,3	3,5	-																									
5	34,2	4,4	4,4	4,6	1,1	-																								
6	19,7	14,3	18,9	19,2	15,7	14,5	-																							
7	61,9	31,7	25,7	26,0	30,1	27,6	42,6	-																						
8	62,4	32,5	26,4	26,6	30,3	28,3	43,3	0,4	-																					
9	60,2	30,1	24,0	24,3	28,4	25,9	40,8	1,2	0,8	-																				
10	64,1	34,1	27,9	28,2	32,3	29,9	39,6	8,6	8,5	7,7	-																			
11	61,6	24,5	18,4	18,3	25,2	19,1	37,9	11,9	13,2	16,1	8,7	-																		
12	3,8	33,1	37,7	37,9	34,4	33,3	18,7	60,8	60,5	60,0	45,3	51,6	-																	
13	27,5	10,5	14,9	15,1	11,6	10,5	7,7	39,2	38,6	37,2	22,5	28,8	26,0	-																
14	34,4	6,5	10,5	10,8	7,3	6,6	14,6	27,5	28,2	28,4	18,2	24,1	32,9	6,7	-															
15	33,0	9,0	13,5	13,8	10,3	9,1	13,7	27,0	28,1	28,4	21,2	24,1	31,9	5,8	1,0	-														
16	6,2	29,2	7,7	33,8	30,3	29,1	14,6	60,0	55,5	46,0	28,4	47,5	4,7	24,1	27,2	14,9	-													
17	5,0	29,5	33,8	34,1	30,6	29,4	14,9	59,3	55,8	56,1	41,5	47,8	3,5	24,4	27,5	27,0	1,3	-												
18	55,2	31,1	25,0	25,2	29,3	26,9	37,7	7,6	8,9	8,4	14,1	5,5	58,6	33,5	21,0	21,0	57,4	56,1	-											
19	55,5	31,4	25,3	25,5	29,7	27,2	36,9	7,6	7,2	6,6	20,5	7,1	55,1	33,8	21,3	21,3	57,7	56,4	1,0	-										
20	55,8	30,7	24,5	24,8	28,9	26,4	37,3	7,1	8,4	7,8	13,7	6,4	58,2	33,1	20,6	20,6	57,0	55,7	0,7	1,5	-									
21	62,1	32,0	25,9	26,2	30,3	27,8	42,6	2,1	1,7	1,9	7,4	12,3	60,6	34,5	27,2	27,2	58,4	57,1	8,0	6,7	7,3	-								
22	66,2	36,5	30,0	30,3	34,8	32,3	42,0	3,3	3,8	4,2	11,8	14,0	65,0	38,9	29,5	29,5	58,2	56,9	12,4	11,1	11,7	2,5	-							
23	63,3	33,2	26,3	26,5	32,3	29,0	43,7	2,4	2,0	2,3	7,8	12,3	61,7	35,6	27,6	27,6	59,5	58,3	8,3	7,1	7,7	1,8	3,9	-						
24	46,6	16,6	10,4	10,7	14,8	13,1	26,9	21,3	20,9	21,5	4,3	12,6	45,1	19,0	19,1	23,8	42,9	41,6	23,9	22,7	23,3	21,7	26,9	26,1	-					
25	44,7	14,6	8,5	8,8	12,9	11,1	24,9	18,6	18,2	18,5	3,9	10,2	43,2	17,1	17,2	21,8	41,0	39,6	21,2	20,0	20,6	19,0	24,2	23,4	5,7	-				
26	33,3	3,5	7,6	7,8	4,3	3,2	13,6	31,6	29,5	31,6	14,3	21,5	31,8	5,7	7,7	10,5	29,6	28,3	30,8	30,2	30,2	30,3	31,4	34,6	17,1	14,0	-			
27	32,3	3,8	9,5	9,7	9,0	5,1	14,5	32,9	31,5	31,8	16,2	23,4	30,8	4,6	7,0	9,0	28,5	27,3	32,8	32,2	32,1	32,3	32,5	36,6	20,5	15,9	10,7	-		
28	31,9	3,4	7,7	8,0	4,5	3,4	12,2	30,8	29,7	30,1	14,5	21,7	30,4	6,1	3,5	4,2	28,2	2,7	31,0	31,5	30,4	30,5	31,9	34,8	18,6	14,2	7,4	8,3	-	

**Ek 2. Tasarruf Matrisi (km)**

Durak No	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	27	28
1	-																											
2	64,2	-																										
3	63,9	71,7	-																									
4	63,9	72,8	71,8	-																								
5	63,7	66,5	65,5	72,5	-																							
6	39,3	37,5	36,4	43,4	39,4	-																						
7	64,1	72,9	71,8	71,2	68,5	39,0	-																					
8	63,8	72,7	71,7	71,5	68,3	38,8	123,9	-																				
9	64,0	72,9	71,8	71,2	68,5	39,1	120,9	121,9	-																			
10	63,9	72,9	71,8	71,2	68,4	44,2	117,4	118,0	116,6	-																		
11	71,0	79,9	79,2	75,8	76,7	43,4	111,6	110,8	105,7	117,0	-																	
12	4,6	2,8	1,8	8,8	4,7	4,8	4,9	5,7	4,0	22,6	13,8	-																
13	50,9	49,3	48,3	55,3	51,2	39,5	50,2	51,3	50,5	69,1	60,3	5,3	-															
14	61,8	60,6	59,5	66,5	62,0	39,5	68,8	68,6	66,2	80,3	71,9	5,3	55,2	-														
15	57,9	56,2	55,1	62,1	58,1	39,0	67,9	67,3	64,8	75,9	70,5	4,9	54,7	66,4	-													
16	10,9	35,2	8,3	15,3	11,3	11,3	8,1	13,1	20,4	41,9	20,3	5,3	9,6	13,4	24,3	-												
17	9,4	7,9	6,8	13,8	9,8	9,8	7,6	11,6	9,1	27,6	18,8	5,3	8,1	11,9	11,0	9,9	-											
18	58,0	66,9	65,9	65,3	62,5	37,2	109,5	108,7	107,0	105,2	111,3	0,4	49,2	68,6	67,2	4,0	4,1	-										
19	58,0	66,9	65,9	65,2	62,5	38,3	109,8	110,7	109,1	99,1	110,0	4,2	49,2	68,6	67,2	4,0	4,1	109,7	-									
20	59,0	68,0	66,9	66,3	63,6	38,2	110,6	109,8	108,2	106,2	111,0	1,4	50,2	69,6	68,2	5,0	5,1	110,4	109,8	-								
21	64,0	72,9	71,8	71,2	68,5	39,2	121,9	122,8	120,4	118,8	111,4	5,3	55,1	69,3	67,9	9,9	10,0	109,3	110,9	110,6	-							
22	63,6	72,9	71,8	70,8	68,1	43,9	124,8	124,8	122,2	118,5	113,8	5,0	54,8	71,1	69,7	14,2	14,3	109,0	110,6	110,3	125,8	-						
23	64,0	73,7	72,7	70,4	68,5	39,3	122,8	123,7	121,2	119,6	112,6	5,4	55,2	70,1	68,7	10,0	10,0	110,2	111,7	111,4	123,6	125,6	-					
24	63,9	72,9	71,8	71,2	67,7	39,4	87,2	88,1	85,3	106,4	95,6	5,3	55,1	61,9	55,8	9,9	10,0	77,9	79,4	79,1	87,0	85,9	83,8	-				
25	64,0	72,9	71,8	71,2	67,8	39,5	88,0	88,9	86,4	104,9	96,1	5,3	55,1	61,9	55,9	9,9	10,1	78,7	80,2	79,9	87,8	86,7	84,6	85,6	-			
26	63,7	62,4	61,4	68,4	64,3	39,4	63,6	66,2	61,9	83,1	73,4	5,3	55,1	60,0	55,8	9,9	10,0	57,7	58,6	58,9	65,1	68,1	62,0	62,8	64,0	-		
27	62,4	59,5	58,5	62,7	61,4	37,5	61,3	63,2	60,7	80,2	70,5	5,3	55,2	59,7	56,3	10,0	10,0	54,7	55,6	56,0	62,1	66,0	59,0	58,4	61,1	54,9	-	
28	62,4	60,9	59,8	66,8	62,7	39,4	63,0	64,6	62,0	81,5	71,8	5,3	53,3	62,8	60,7	9,9	34,2	56,1	55,9	57,3	63,5	66,2	60,4	59,9	62,4	57,8	55,9	-