



# Journal of Turkish Operations Management

## Yeşil araç rotalama problem araştırması: Geçmiş ve gelecek eğilimler

Esra Boz<sup>\*</sup>, Furkan Aydınca Aras<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KTO Karatay Üniversitesi, Konya

e-mail: esrayasaarr@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1522-1768>

<sup>2</sup>KTO Karatay Üniversitesi, Konya

e-mail: furkanaydncanaras99@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8141-8067>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 15.06.2021

Revize: 12.08.2021

Kabul: 17.08.2021

#### Anahtar Kelimeler

Sürdürülebilirlik,  
Yeşil araç rotalama problemi,  
Literatür taraması

### Özet

Araç Rotalama Problemi, geniş uygulama alanları ve küresel erişimi nedeniyle literatürde çeşitli açılardan ele alınan ve iyi bilinen bir problemdir. Günümüzde oldukça güncel Yeşil Araç Rotalama Problemi (YARP) ise bir Araç Rotalama Problemi çeşididir ve sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi amacıyla oluşturulmuştur. YARP, rotalama maliyetlerinin yanı sıra çevresel faktörleri de en iyilemeye çalışarak hem çevreye hem de şirketlere katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada, ele alınan problem olan YARP için 2015-2020 yılları arasında İngilizce dilinde yayınlanan çalışmalar belirli araştırma soruları kapsamında incelenmiş olup konu ile ilgili eğilimler ve geleceğe yönelik öneriler verilmiştir.

## Green vehicle routing problem research: Past and future trends

### Article Info

#### Article History:

Received: 15.06.2021

Revised: 12.08.2021

Accepted: 17.08.2021

#### Keywords

Sustainability,  
Green vehicle routing problem,  
Literature review

### Abstract

The Vehicle Routing Problem is a well-known problem that is addressed in the literature from a variety of perspectives due to the large range of application fields and its global reach. The Green Vehicle Routing Problem is a kind of Vehicle Routing Problem that was established in order to ensure sustainability. By trying to optimize environmental considerations as well as routing costs, the green vehicle routing problem improves both the environment and businesses. The studies published in English between 2015 and 2020 for the addressed problem, Green Vehicle Routing Problem, were reviewed within the scope of specific research questions in this study, and trends and recommendations for future works were provided.

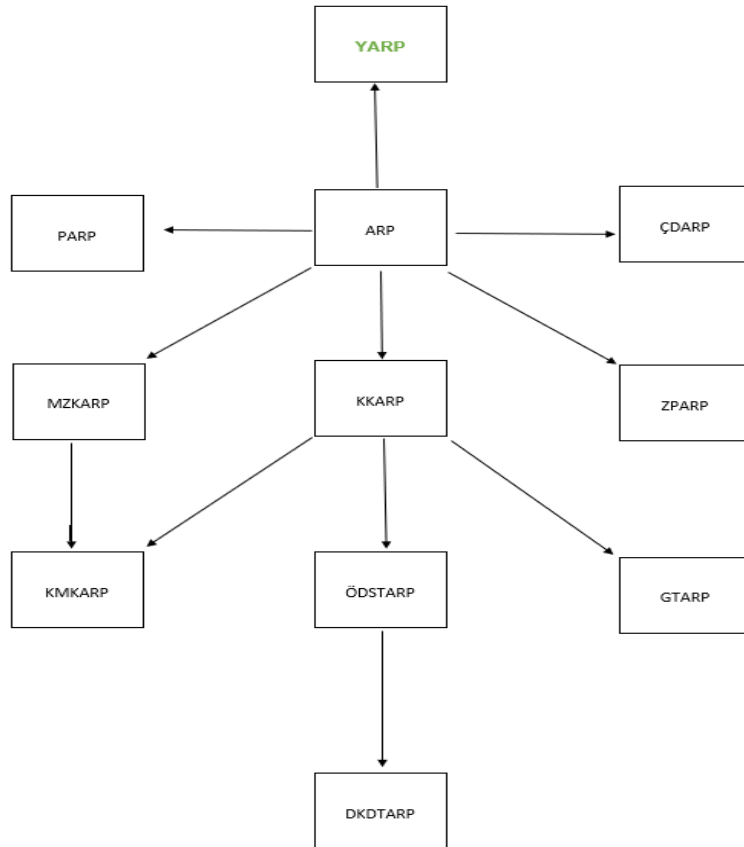
## 1. Giriş

Araç Rotalama Problemi, bir veya birkaç depodan müşterilere ürün dağıtımını ya da toplanmasıyla ilgilenen bir kombinatoriyal problem türüdür. Araç Rotalama Probleminin (ARP) amacı Keskinürk' e göre; "Merkezi bir depodan çeşitli konumlarda yer alan müşterilere benzer veya farklı kapasitelere sahip araçlarla ürünleri dağıtmak için gerekli toplam uzaklık ve seyahat sürelerini minimize etmektir" (Keskinürk, Topuk ve Özyeşil, 2015). ARP, kombinatoriyal bir optimizasyon problemi olan Gezgin Satıcı Probleminin geliştirilmiş halidir. Konuyla ilgili ilk

araştırma Dantzig ve Ramser (1959) tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada bir istasyondan yapılan benzin teslimatları düşünülmüştür. Bu çalışma ile birlikte literatürde çeşitli yönlerden, çeşitli uygulama alanlarında ARP çalışılmaya başlanmıştır.

Genel olarak bakıldığında ARP için farklı alanlarda uygulama fırsatları mevcuttur. Gerçek hayatta dağıtım ve toplama problemlerinde uygulanabilir. Bu problemin kullanım alanlarına; yakıt dağıtımı, banka teslimatları, ekmek dağıtımı, süt dağıtımı, servis araçlarının personel toplaması, atık toplama, şirketlerin ürün dağıtımları, palet toplama, belediye otobüslerinin rotalarının belirlenmesi şeklinde örnekler verilebilir. Kısacası her türlü dağıtım ve toplama problemleri olarak ifade edilebilir (Orhan ve diğ., 2010; Flood, 1956; Dantzig ve diğ., 1957; Irnishi, 2008; Demiral, 2008)

ARP gerçek hayatta da oldukça sık uygulanabilen bir problem olduğu için uygulama alanlarına göre farklı biçimlerde sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar sistem durumlarına göre (yol durumu, araç durumu vb.) değişmekle birlikte aşağıdaki şekilde ifade edildiği gibi genel anlamda Periyodik ARP (PARP), Çoklu Depolu ARP (ÇDARP), Mesafe ve Zaman Kısıtlı ARP (MZKARP), Kapasite Kısıtlı ARP (KKARP), Zaman Pencereci ARP (ZPARP), Kapasite Mesafe ve Zaman Kısıtlı ARP (KMKARP), Önce Dağıt Sonra Topla ARP (ÖDSTARP), Geri Toplamalı ARP (GTARP), Depo Kaynak ve Hedef Dağıt Topla ARP (DKHDTARP) ve Yeşil ARP (YARP) olmak üzere çeşitlere ayrılır.



**Şekil 1.** ARP ve çeşitleri

ARP çeşitlerinden biri olan (YARP) alternatif yakıtla çalışan araç filolarına sahip kuruluşların, sınırlı yakıt ikmal altyapısı ile birlikte sınırlı araç sürüş menziline bir sonucu olarak ortaya çıkan zorlukların üstesinden gelmelerine yardımcı olmak için formüle edilmiş olan bir problemdir (Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012).

YARP, temelde yakıt tüketimi ve gaz emisyonu gibi çevresel faktörleri önemseyen bir yol planı tasarlanmasını amaçlamaktadır. Klasik ARP 'de ise bunlar dikkate alınmaz yalnızca seyahat uzunluğu dikkate alınır ve böylelikle gerçeklikten uzaklaşmaktadır. Böylelikle, YARP, Klasik ARP 'den farklı olarak Klasik ARP' nin önemsemekte olduğu toplam seyahat uzunluğunu ve bununla birlikte araçların yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu da önemseyerek

en aza indirgemeye çalışmaktadır. YARP' nin amacı, müşteri taleplerini karşılamak için tek bir depodan ayrılan bir dizi homojen araç filosunun en uygun rotalarını bulmaktır (Karadurmuş ve diğ. 2019).

YARP' nin ve yeşil olmanın tanımlarına bakıldığında zaman görülür ki ikisi de çevrenin korunmasına yönelik hedefler içermektedir. Çevrenin korunması, kirliliği azaltmak ve doğal kaynakları korumak gibi amaçlarla sağlanmaktadır. Bu konuda, bu amaçlar doğrultusunda olan bir terim daha dikkat çekmektedir. Bu terim ise son yıllarda artan önemiyle göze çarpan bir kavram olan sürdürülebilirliktir. Sürdürülebilirlik, üretim ve çeşitliliğin devamlılığı sağlanırken insanlığın yaşamının daimi olması anlamına gelmektedir. İşletme faaliyetlerinin içerisinde çok önemli bir görevi bulunmasından dolayı, özellikle tedarik zinciri sistemleri içerisinde oldukça önem arz eden bir konu durumuna gelmiştir. Sürdürülebilir lojistik; çevresel, finansal ve sosyal faktörleri dikkate alarak sürdürülebilir bir şekilde mal üretmek ve dağıtmak anlamına gelmektedir. Lojistik alanında sürdürülebilirliğin en büyük uygulama alanı ise tedarik zinciridir.

Sürdürülebilir tedarik zincirlerinin artan önemi ile birlikte, sadece parasal olarak maliyetleri düşürmekle kalmayıp aynı zamanda iklim değişikliği, hava kirliliği ile ilgili maliyetleri de düşürerek müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, kaçınılmaz olarak lojistik faaliyetlerin yeşillendirilmesine odaklanılmıştır (Wichaisri ve Sopadang, 2013).

YARP 'ler çevresel nedenlerle birçok firma için dikkat çeken bir konudur. Fosil yakıtla çalışan araçların sayısındaki artış tüm dünyada kirli hava emisyonlarını artırmaktadır. Sera Gazı ile ilgili farklı ülkelerdeki ölçümler sorunun ciddiyetini göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın 2016 raporuna göre, ulaşımdaki sera gazı emisyonlarının %83'ünün nedeni hafif, orta ve ağır hizmet kamyonlarıdır. Yayılan toplam GHG'nin %96,7'si CO<sub>2</sub>'dir. 1990'dan 2016'ya kadar sera gazı emisyonlarına hafif hizmet kamyonlarının neden olduğu zarar %14,4, orta ve ağır hizmet kamyonlarının neden olduğu zarar %84,9 artmıştır (EPA, 2018). (Kazım, 2019). Bu veriler yeşilin ve bahsedilen konu olan YARP' nin uluslararası düzeyde önem verilen bir konu olma gerekliliğini göstermektedir. Bu konuyla alakalı bazı anlaşmalar yapılmıştır. Bunlardan biri de çevreye verilen zararın azalmasını hedefleyen, uluslararası bir anlaşma olan, Kyoto Protokolü'dür. Kyoto Protokolü, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarını ve atmosferdeki sera gazlarının (GHG) varlığını azaltmayı amaçlayan uluslararası bir anlaşmadır. Kyoto Protokolünün temel ilkesi, sanayileşmiş ülkelerin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaları gerektiğidir.

Kyoto Protokolünün temel başlıklarından bazıları ifade edildiği gibidir (Şahin, 2016): (I) Fosil yakıtlar yerine farklı yakıtlar, örneğin bio-dizel yakıt kullanılmalıdır. (II) Atmosferde bulunan metan ve karbondioksit oranlarının azaltılması için alternatif enerji kaynaklarına yönlendirilmelidir. (III) Daha az enerji tüketen araçlarla daha uzun yolların alınması, daha az enerji tüketen teknolojik sistemlerin sanayiye yerleştirilmesi sağlanmalı; dağıtımda, toplamada çevrecilik temel ilke olmalıdır.

Kyoto Protokolünün temel başlıkları incelendiğinde, YARP' nin amaç fonksiyonları ile birebir örtüştüğü görülmektedir. Örnek olarak; toplam gaz emisyonunu ve tüm rotaların maksimum seyahat süresini en aza indirmek gibi maddeler aynı doğrultuda ilerlendiğini ifade etmektedir. Böylelikle; Kyoto protokolü ve YARP aynı amaçlara hizmet etmektedir.

Bu çalışmada YARP konusu için bilimsel bir yazın taraması yapılmış ve geçmiş ve gelecekteki trendler tespit edilmeye odaklanılmıştır. Çalışmanın amacı, araştırmacılara konu ile ilgili genel bir yazın sunmak ve alandaki ilgili boşlukları ifade ederek araştırmacıların yararlanmasını sağlamaktır.

Bu çalışmanın devamında 2. başlık olarak bilimsel yazın taraması ifade edilmiştir. Bu başlık altında konu ile ilgili tespit edilen araştırma soruları, araştırma kapsamı, yöntemi verilmiş, çalışmalar genel anlamda aktarılmıştır. 3. başlıkta çalışmaya ilişkin bulgulara yer verilmiştir. Bilimsel yazın taramasından elde edilen bulgular gösterilmiş, analiz sonucunda ortaya çıkan sonuçlar detaylı bir şekilde eklenmiştir. Son başlık olan 5. başlıkta ise bulgulara dayanarak sonuçlar ifade edilmiş, geleceğe yönelik çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Mevcut literatürde YARP ile ilgili çeşitli bilimsel yazın tarama çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalarda YARP için mevcut kaynakların analizleri yapılmış, çeşitli yönleri ile problem incelenmiştir (Park ve Chae, 2014; Lin ve diğ., 2014; Moghdani ve diğ., 2020; Asghari ve Al-e, 2020).

Literatürdeki bu konu ile ilgili ilk çalışma Palmer (2007) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, karayolu taşımacılığının CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisi üzerinde durulmuştur. Çalışmanın amacı karayolu taşımacılığından yayılan

toplam CO2 miktarının yanı sıra zaman ve mesafeyi minimize edecek bir rotalama modeli geliştirmektedir. Bu çalışmanın ardından ise ikinci çalışma Apaydın ve Gonullu (2008) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada emisyonların ve yakıt tüketiminin en aza indirilmesi üzerine çalışılmış ve bu konuda formülasyon ve çözüm yöntemleri sunulmuştur. Bu çalışmanın da ardından konu ile ilgili çalışmalar literatüre eklenmeye başlanmıştır. (Figliozzi, 2010; Bektaş ve Laporte, 2011; Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012)

Aşağıdaki tabloda ifade edildiği üzere YARP konusu literatürde son zamanlarda yoğun bir şekilde çalışılmaya başlanmıştır. Bu literatür kapsamında belirli veri tabanlarına göre başlığında “Yeşil Araç Rotalama Problemi” geçen çalışmaların analizi Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü üzere yayın sayısı fazla olduğu için incelenecek olan çalışma sayısının azaltılması yoluna gidilmiştir.

**Tablo 1.** Literatür Analizi

Veri tabanları	2010-2020	Tüm zamanlar
Google scholar	190	210
Web of Science	106	111
Scopus	136	146

Bu çalışmada, başlığında “Yeşil Araç Rotalama Problemi” geçen çalışmaların Ek-1 de verildiği üzere yalnızca 40 tanesi analiz edilmiştir. Bu makalelerin seçimi ise atıf sayıları ve dergi indeksine göre düzenlenmiştir.

Literatür analizine başlamadan önce, çalışmalara ulaşıldığı zaman neye göre analiz edileceğini belirlemek gerekmektedir. Bu yüzden araştırma soruları oluşturulmuş ve çalışmalar bu kapsamda analiz edilmişlerdir. Bu araştırma soruları aşağıdaki gibidir:

1. YARP farklı problemlerle entegre olarak çalışılmış mıdır?
2. Problem hangi yöntemlerle çözülmüştür?
3. Çözümün performans analizi neye göre yapılmıştır?
4. Çalışmanın literatüre sağladığı katkı nedir?

Bu araştırma soruları kapsamında analiz edilmek istenen konunun mevcut durumu, geçmiş ve gelecek trendlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. İncelenen çalışmalar çözüm yöntemlerine göre gruplanacak olursa;

YARP için çözüm yöntemi olarak birçok farklı algoritma seçilmiş ve kullanılmıştır. Bunlar arasında dal kesme algoritması Leggieri ve Haouari (2017); yinelenen ışın arama algoritması Yavuz (2017); kelebek optimizasyon algoritması Utama, Vidodo, İbrahim ve Dewi, (2020); memetik algoritma Peng, Zhang, Gaipa ve Chen, (2019) tarafından yapılan çalışmalar vardır. Bunların yanı sıra Li, Soleimani ve Zohal, (2019) ve Zhang, Gaipal, Appadoo ve Wei, (2020) çalışmalarında karınca kolonisi optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Sruthi ve diğ. (2019) ve Xiao ve Konak (2017) çalışmalarında genetik algoritma; Zulvia, Kuo ve Nuhroho, (2020) ve Zhang ve diğ. (2020) çalışmalarında evrim algoritması; Wang, Assogba, Fan, Xu, Liu ve Wang, (2019b) ve Alinaghian, Kaviani ve Khaledan, (2015) çalışmalarında Clarke ve Wright algoritmasını kullanmışlardır. YARP için benzetilmiş tavlama algoritması ile çözüm yöntemi geliştirilen çalışmalar da literatürde mevcuttur. (Küçüköğlü ve diğ. 2015; Normasari ve diğ. 2019; Nosrati ve Khamseh 2020; Kazemian ve Aref 2017; Gao ve Zhao 2018). Bu problemi komşuluk arama algoritması kullanarak çözen çalışmalar ise literatürde geniş bir yer bulmaktadır. (Affi diğ., 2018; Macrina ve diğ., 2019a; Majidi ve diğ., 2017; Xiao ve Konak, 2016; Messaoud ve diğ., 2018; Matos ve diğ., 2018; Yu ve diğ., 2020; Peng ve diğ., 2020).

Literatürde metasezgisel ve kesin yöntemle çözülen çalışmalara ilave olarak sezgisel algoritmalar ile çözülen çalışmalar da mevcuttur (Karadurmuş ve Erdoğan, 2019; Bakeshloo ve diğ., 2016; Bruglieri ve diğ., 2016); Mirmohammadi ve diğ., 2017; Poonthalir ve Nadarajan, 2019; Çimen ve Soysal, 2017; Macrina ve Guerriero, 2018; Zhou ve Lee, 2017; Macrina ve diğ., 2019b; Rezaei ve diğ., 2019; Ene ve diğ., 2016; Abdoli ve diğ., 2019; Soysal ve Çimen, 2017; Wang ve diğ., 2019b; Masghati-Amoli ve Haghani, 2020).

İncelenen çalışmalarda yalnızca YARP'ın yanı sıra 7 farklı problem çeşidi bulunmaktadır. Bunlar arasında Kapasite kısıtlı YARP (Normasari ve diğ., 2019); dinamik YARP (Messaoud ve diğ., 2018); müşteri memnuniyet kriterli YARP (Bakeshloo ve diğ., 2016) vardır.

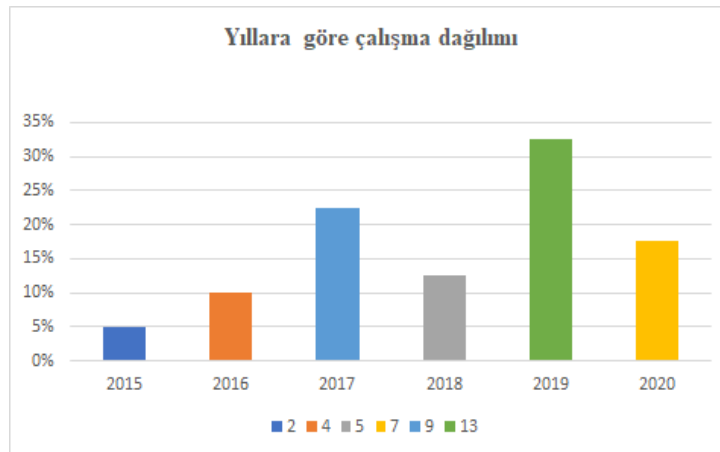
Problem çeşidi çok depolu YARP olan çalışmalar Wang ve diğ. (2019b) ve Zhang ve diğ. (2020) tarafından, Bulanık YARP olan çalışmalar ise Wang, Zhou, Yi ve Pantelous, (2019a) ve Majidi, Hosseini-Motlagh, Yaghoubi ve Jokar, (2017) tarafından yapılmıştır.

Bunların dışında Zaman bağımlı YARP ve Zaman pencereli YARP de çalışmalarda yer almaktadır. Problemi Zaman bağımlı YARP olan çalışmalar Mirmohammadi, Babae Tirkolae, Goli ve Dehnavi-Arani, (2017), Amoli ve Haghani (2020), Soysal ve Çimen (2017) tarafından; problem çeşidi Zaman Pencereli YARP olan çalışmalar ise Zulvia, Kuo ve Nugroho, (2020), Küçüköğlü, Ene, Aksoy ve Öztürk, (2015), Kunnapapdeelert ve Klinsrisuk (2019), Macrina, Pugliese, Guerriero ve Laporte (2019b), Rezaei, Ebrahimnejad, Moosavi ve Nikfarjam, (2019), Kazemian ve Aref (2017) tarafından yapılmıştır.

Problem çeşidi yalnızca YARP olan çalışmalar ise Leggieri ve Haouari (2017), Li ve diğ. (2019), Karadurmuş, Erdoğan, Özkan ve Köseoğlu, (2019), Bruglieri, Mancini, Pezzella ve Pisacane, (2016), Affi, Derbel ve Jarboui, (2018), Poonthalir ve Nadarajan (2019), Macrina, Pugliese, Guerriero ve Laporte, (2019a), Çimen ve Soysal (2017), Macrina ve Guerriero (2018), Yavuz (2017), Zhou ve Lee (2017), Xiao ve Konak (2016), Sruthi, Anbuudayasankar ve Jeyakumar (2019), Peng, Zhang, Gajpal ve Chen (2019), Xiao ve Konak (2017), Ene ve diğ. (2016), Abdoli, MirHassani ve Hooshmand, (2019), Matos, Frota ve Ochi (2018), Utama ve diğ. (2020), Yu ve diğ. (2020), Nosrati ve Khamseh (2020), Alinaghian ve diğ. (2015), Peng ve diğ. (2020), Gao ve Zhao (2018) tarafından yapılmıştır.

### 3. Bulgular

YARP üzerine yapılan çalışmalar içerisinde belirli çalışmalar seçilmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 3' de bu çalışmalara ait grafik verilmiştir. Buna göre çalışmaların %32 si 2019 yılında, %17, si ise 2020 yılında yapılmıştır. 2015 ve 2016 yıllarında yapılan çalışmalar genel çalışmanın %15'ini kapsamaktadır. 2017 ve 2018 yıllarında yapılan çalışmaların yüzdesi sırasıyla %22, %15 dir. İncelenen çalışmalar çerçevesinde en fazla çalışma yapılan yıl 2019'dur ve bu sırayı %22 ile 2017 yılı takip etmektedir.



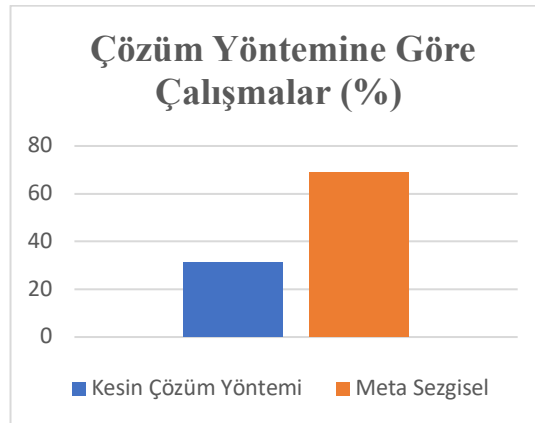
Şekil 2. Yıllara göre çalışmaların dağılımı

Araştırma soruları kapsamında çalışmalardaki ele alınan ve YARP' yi kapsayan problem tipleri de Şekil 3' te verildiği gibi analiz edilmiştir. Buna göre en çok çalışılan konu YARP, en az çalışılan konu ise Dinamik YARP, Bulanık YARP ve Müşteri Memnuniyeti Kriterli YARP' dir.

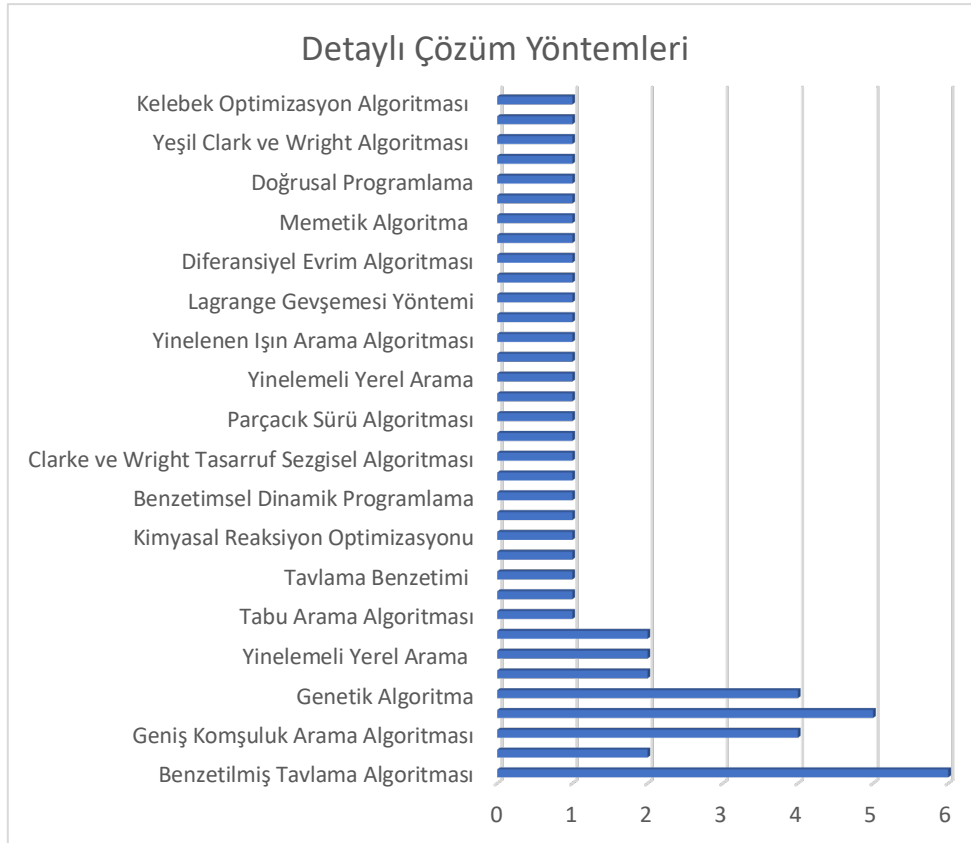


**Şekil 3.** Çalışmalardaki problem çeşitleri

İncelenen çalışmaların çözüm yöntemlerine göre yüzdeler dağılımı Şekil 4’te verilmiştir. Buna göre, çalışmaların %31,11 i için kesin çözüm yönteminin geliştirildiği görülürken %68,88’lik kısmı için meta sezgisel yöntemler önerilmiştir. Ayrıca yöntemler içerisinde daha detaylı bilgi edinilmesi amacıyla çalışmalar içerisinde kullanılan çözüm yöntemleri daha detaylı analiz edilmiş ve Şekil 5’ te ifade edilmiştir.

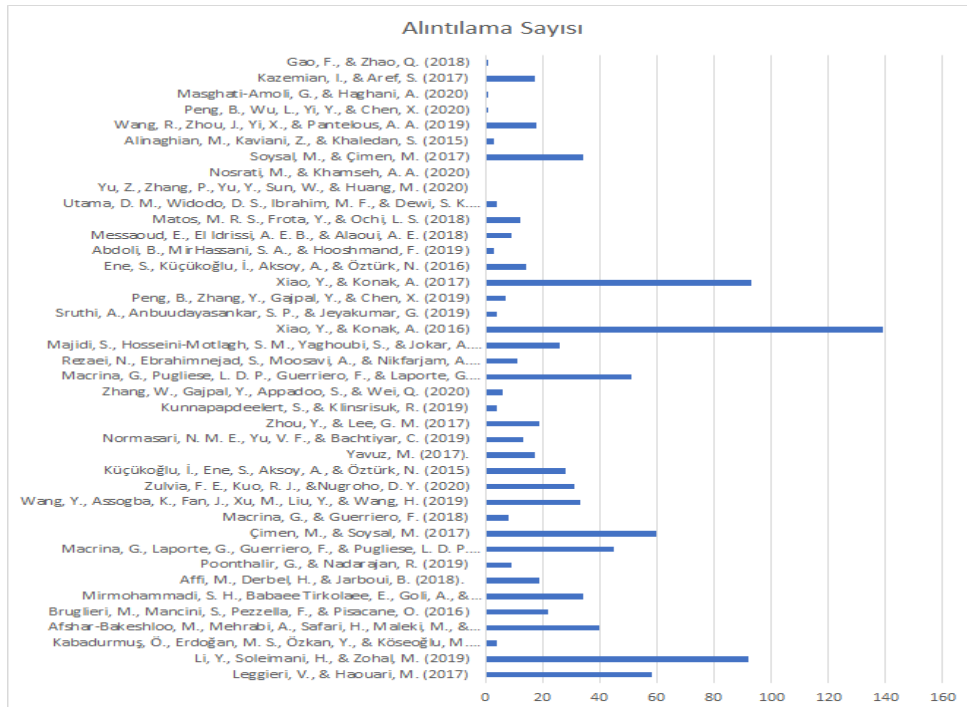


**Şekil 4.** Çözüm yöntemine göre çalışmalar



Şekil 5. Detaylı çözüm yöntemleri

Çalışmalar içerisindeki atıf sayıları yıllara ve çalışmaya göre değişiklik göstermektedir. Bununla ilgili çalışmaların atıf sayıları Şekil 6' da verilmiştir. Buna göre incelenen çalışmalar arasındaki en çok atıf alan çalışmalar sırasıyla Xiao ve Konak (2016), Xiao ve Konak (2017) ve Liv ve diğ. (2019) tarafından yapılmıştır.



Şekil 6. Çalışmaların alıntılanma sayısı

#### 4. Sonuç ve Öneriler

ARP' nin amacı genel anlamda müşterilere ürünleri ulaştırırken en az maliyete ulaşabilmektir. ARP, literatürde uzun yıllardan beri çalışılmakta olup dinamik bir problem olduğu için değişen dünya şartlarına uyum sağlamaktadır. YARP, bu uyumla birlikte ortaya çıkmış ve halen üzerinde geliştirmeler yapılmaktadır.

Bu çalışmada, öncesinde bahsedildiği gibi YARP için genel bir bilimsel yazın taraması yapılmış, problemin farklı boyutları, problem ile ilgili boşluklar belirlenmeye çalışılmıştır. YARP günden güne önem kazanan ve hem uygulama hem de teorik olarak üzerinde önemle durulması gereken bir konu olduğu için bu çalışmada yalnızca YARP' ye odaklanılmış ve ilgili araştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın amacı problemin ilgili bilimsel yazın taraması yapılarak geçmiş ve gelecekteki eğilimlerini ortaya çıkarmak ve böylece araştırmacılara konu ile ilgili çalışma boşluklarını sunmaktır. Bu araştırmaya göre, sürdürülebilirliğin sağlanabilmesini hedefleyen bu problem, son yıllarda çalışıldığı için güncel bir problemdir. Problemin güncel olması hem problem tiplerinin hem de çözüm yöntemlerinin geliştirilmeye açık olduğu anlamına gelmektedir. Bu yüzden araştırmacılar, bu problem üzerinde farklı katkı noktalarını bulabilmektedirler.

Bu analiz ışığında, ilgili yazında en az çalışılan problem tipleri; Dinamik YARP, Müşteri Memnuniyeti Kriterli YARP ve Bulanık YARP' dir. Bu problem tipleri hem çözüm yöntemi hem de problemin boyutu açısından oldukça az ele alınmıştır. Bu yüzden gelecekteki önemli eğilimlerden bir tanesi bu problem tipleri üzerine olmalıdır. Ayrıca, YARP oluşturulurken gözetilen farklı performans kriterleri vardır. Buna göre problemin amacı belirlenmektedir. Bu yüzden performans analizi, problemin analizi için önemli bir noktadır. Bundan dolayı ilgili alan incelenirken çalışmaların performans analizleri de kontrol edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en az kullanılan performans analizleri, sera gazı emisyonu, enerji emisyonu ve gaz emisyonlarının en aza indirgenmesidir. En çok kullanılan performans analizi ise maliyet ve mesafenin en aza indirgenmesidir. Bu yüzden problem üzerindeki bir diğer gelecek eğilimi, bu zehirli gaz emisyonunun minimize edilmesi üzerine olmalıdır.

Çalışmalardaki önemli olan noktalar, ilgili alana katkıların sunulabilmesi için çözüm yönteminin etkin bir şekilde oluşturulmasıdır. Bu yüzden ilgili alan taramasında çözüm yöntemleri detaylı olarak incelenmiş, daha az kullanılan çözüm yöntemlerinin genel anlamda kesin çözüm yöntemleri olduğu görülmüştür. Metasezgisel algoritmalar YARP çözümü için oldukça yaygın olarak kullanılmıştır. Metasezgisel algoritmalar kendi içerisinde incelendiği zaman ise benzetilmiş tavlama algoritmasının daha yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ardından bu sırayı genetik algoritma ve geniş komşuluk arama algoritmaları takip etmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak araştırmacılar, alan taramasındaki makale sayısını ve çeşidini güncel tutarak ya da araştırma sorusuna farklı noktaları ekleyerek katkıda bulunabilirler. Ayrıca, oluşturulan matematiksel model çeşitleri detaylı incelenebilir ve bu inceleme göre analizler yapılabilir.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada Esra Boz, metodoloji, yazım, makalenin oluşturulması, makalenin kontrolü, sürecin takibi; Furkan Aydınca Aras ise ilgili literatür taraması, literatür tablosunun oluşturulması, makalenin oluşturulması konularında katkıda bulunmuşlardır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

#### Kaynaklar

Abdoli, B., MirHassani, S. A., & Hooshmand, F. (2019). On different formulations of green vehicle routing problem. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 40(4), 883-903. <https://doi.org/10.1080/02522667.2018.1460137>

Affi, M., Derbel, H., & Jarboui, B. (2018). Variable neighborhood search algorithm for the green vehicle routing problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(2), 195-204. [10.5267/j.ijiec.2017.6.004](https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2017.6.004)

Alinaghian, M., Kaviani, Z., & Khaledan, S. (2015). A novel heuristic algorithm based on clark and wright algorithm for green vehicle routing problem. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2(2), 784-797.



- Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2008). Emission control with route optimization in solid waste collection process: A case study. *Sadhana*, 33(2), 71-82. <https://doi.org/10.1007/s12046-008-0007-4>
- Asghari, M., & Al-e, S. M. J. M. (2020). Green vehicle routing problem: A state-of-the-art review. *International Journal of Production Economics*, 107899. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107899>
- Bakeshloo, M., Mehrabi, A., Safari, H., Maleki, M., & Jolai, F. (2016). A green vehicle routing problem with customer satisfaction criteria. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(4), 529-544. <https://doi.org/10.1007/s40092-016-0163-9>
- Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232-1250. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.02.004>
- Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., & Pisacane, O. (2016). A new mathematical programming model for the green vehicle routing problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 55, 89-92. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2016.10.023>
- Çimen, M., & Soysal, M. (2017). Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 82-98. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.016>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Dantzig, G. B., Fulkerson, R., Johnson, J., (1957). *Solution of a Large Scale Travelling Salesman Problem*, *J. Opns. Res. Soc.* 4, 266-277. <https://doi.org/10.1287/opre.2.4.393>
- Demiral, M. F. 2008. "Servis Araçlarının Rotalanmasında Optimizasyon ve Bir Uygulama," Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Ene, S., Küçükoğlu, İ., Aksoy, A., & Öztürk, N. (2016). A hybrid metaheuristic algorithm for the green vehicle routing problem with a heterogeneous fleet. *International Journal of Vehicle Design*, 71(1-4), 75-102. [doi/abs/10.1504/IJVD.2016.078771](https://doi.org/10.1504/IJVD.2016.078771)
- Erdoğan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 48(1), 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.08.001>
- Figliozzi, M. (2010). Vehicle routing problem for emissions minimization. *Transportation Research Record*, 2197(1), 1-7. <https://doi.org/10.3141/2197-01>
- Flood, M. M. (1956). The traveling-salesman problem. *Operations research*, 4(1), 61-75. <https://doi.org/10.1287/opre.4.1.61>
- García-Nájera, A., Bullinaria John, A., Gutiérrez-Andrade, Miguel A., (2015). An evolutionary approach for multi-objective vehicle routing problems with backhauls", *Computers & Industrial Engineering* 81 90–108. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.12.029>
- Gao, F., & Zhao, Q. (2018). A Hybrid Simulated Annealing Algorithm for Load Varying Green Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands. *Journal of Computers*, 29(6), 96-110. <https://doi.org/10.3966/199115992018122906009>
- Kabadurmuş, Ö., Erdoğan, M. S., Özkan, Y., & Köseoğlu, M. (2019). A multi-objective solution of green vehicle routing problem. *Logistics & Sustainable Transport*, 10(1), 31-44. <https://doi.org/10.2478/jlst-2019-0003>
- Kazemian, I., & Aref, S. (2017). A green perspective on capacitated time-dependent vehicle routing problem with time windows. *International Journal of Supply Chain and Inventory Management*, 2(1), 20-38. <https://doi.org/10.1504/IJSCIM.2017.086372>

- Keskintürk, T., Topuk, N., & Özyeşil, O. (2015). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77-107. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jobs/issue/22921/245436>
- Kunnapadeelert, S., & Klinsrisuk, R. (2019). Determination of green vehicle routing problem via differential evolution. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 34(3), 395-410. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJLSM.2019.103091>
- Küçüköğlü, İ., Ene, S., Aksoy, A., & Öztürk, N. (2015). A memory structure adapted simulated annealing algorithm for a green vehicle routing problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3279-3297. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3253-5>
- Leggieri, V., & Haouari, M. (2017). A practical solution approach for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 97-112. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.003>
- Li, Y., Soleimani, H., & Zohal, M. (2019). An improved ant colony optimization algorithm for the multi-depot green vehicle routing problem with multiple objectives. *Journal of cleaner production*, 227, 1161-1172. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.185>
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert systems with applications*, 41(4), 1118-1138. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.107>
- Macrina, G., & Guerriero, F. (2018). The green vehicle routing problem with occasional drivers. In *New Trends in Emerging Complex Real Life Problems* (pp. 357-366). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00473-6\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00473-6_38)
- Macrina, G., Laporte, G., Guerriero, F., & Pugliese, L. D. P. (2019a). An energy-efficient green-vehicle routing problem with mixed vehicle fleet, partial battery recharging and time windows. *European Journal of Operational Research*, 276(3), 971-982. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.067>
- Macrina, G., Pugliese, L. D. P., Guerriero, F., & Laporte, G. (2019b). The green mixed fleet vehicle routing problem with partial battery recharging and time windows. *Computers & Operations Research*, 101, 183-199. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.07.012>
- Majidi, S., Hosseini-Motlagh, S. M., Yaghoubi, S., & Jokar, A. (2017). Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows. *RAIRO-operations research*, 51(4), 1151-1176. <https://doi.org/10.1051/ro/2017007>
- Masghati-Amoli, G., & Haghani, A. (2020). Time-Dependent Green Vehicle Routing Problem. In *Green Transportation and New Advances in Vehicle Routing Problems* (pp. 177-211). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-45312-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-45312-1_7)
- Matos, M. R. S., Frota, Y., & Ochi, L. S. (2018). Green vehicle routing and scheduling problem with split delivery. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 69, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.07.003>
- Messaoud, E., El Idrissi, A. E. B., & Alaoui, A. E. (2018, April). The green dynamic vehicle routing problem in sustainable transport. In *2018 4th International Conference on Logistics Operations Management (GOL)* (pp. 1-6). IEEE. [10.1109/GOL.2018.8378096](https://doi.org/10.1109/GOL.2018.8378096)
- Mirmohammadi, S. H., Babae Tirkolae, E., Goli, A., & Dehnavi-Arani, S. (2017). The periodic green vehicle routing problem with considering of time-dependent urban traffic and time windows. *دانشگاه علم و صنعت ایران*, 7(1), 143-156. <http://ijoc.e.iust.ac.ir/article-1-289-fa.html>
- Moghdani, R., Salimifard, K., Demir, E., & Benyettou, A. (2020). The green vehicle routing problem: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 123691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123691>

- Normasari, N. M. E., Yu, V. F., & Bachtiyar, C. (2019). A simulated annealing heuristic for the capacitated green vehicle routing problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2358258>
- Nosrati, M., & Khamseh, A. A. (2020). Distance discount in the green vehicle routing problem offered by external carriers. *SN Applied Sciences*, 2(8), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03245-5>
- Orhan, B., Kapanoğlu, Muzaffer. ve Karakoç, T. Hikmet,(2010). *Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme Planning and Scheduling of Airline Operations*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- Palmer, A. (2007). The development of an integrated routing and carbon dioxide emissions model for goods vehicles. <http://hdl.handle.net/1826/2547>
- Park, Y., & Chae, J. (2014). A review of the solution approaches used in recent G-VRP (Green Vehicle Routing Problem). *International Journal of Advanced Logistics*, 3(1-2), 27-37. <https://doi.org/10.1080/2287108X.2014.956976>
- Peng, B., Wu, L., Yi, Y., & Chen, X. (2020). Solving the Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem by a Hybrid Evolutionary Algorithm. *Sustainability*, 12(5), 2127. <https://doi.org/10.3390/su12052127>
- Peng, B., Zhang, Y., Gajpal, Y., & Chen, X. (2019). A memetic algorithm for the green vehicle routing problem. *Sustainability*, 11(21), 6055. <https://doi.org/10.3390/su11216055>
- Poonthalir, G., & Nadarajan, R. (2019). Green vehicle routing problem with queues. *Expert Systems with Applications*, 138, 112823. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112823>
- Rezaei, N., Ebrahimnejad, S., Moosavi, A., & Nikfarjam, A. (2019). A green vehicle routing problem with time windows considering the heterogeneous fleet of vehicles: two metaheuristic algorithms. *European Journal of Industrial Engineering*, 13(4), 507-535. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/EJIE.2019.100919>
- Soysal, M., & Çimen, M. (2017). A simulation based restricted dynamic programming approach for the green time dependent vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 88, 297-305. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.023>
- Sruthi, A., Anbuudayasankar, S. P., & Jeyakumar, G. (2019). Energy-Efficient Green Vehicle Routing Problem. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM)*, 12(4), 27-41. [10.4018/IJISSCM.2019100102](https://doi.org/10.4018/IJISSCM.2019100102)
- Şahin, Ö. U. (2016). Kyoto protokolü ve kopenhag mutabakatının karşılaştırmalı analizi. *Journal of Awareness (JoA)*, 1(1), 5-16. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=567092>
- Yavuz, M. (2017). An iterated beam search algorithm for the green vehicle routing problem. *Networks*, 69(3), 317-328. <https://doi.org/10.1002/net.21737>
- Utama, D. M., Widodo, D. S., Ibrahim, M. F., & Dewi, S. K. (2020). A New Hybrid Butterfly Optimization Algorithm for Green Vehicle Routing Problem. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8834502>
- Wang, R., Zhou, J., Yi, X., & Pantelous, A. A. (2019a). Solving the green-fuzzy vehicle routing problem using a revised hybrid intelligent algorithm. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(1), 321-332. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0703-9>
- Wang, Y., Assogba, K., Fan, J., Xu, M., Liu, Y., & Wang, H. (2019b). Multi-depot green vehicle routing problem with shared transportation resource: Integration of time-dependent speed and piecewise penalty cost. *Journal of Cleaner Production*, 232, 12-29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.344>

- Wichaisri, S., & Sopadang, A. (2013, December). Sustainable logistics system: A framework and case study. In 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 1017-1021). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6962564>
- Xiao, Y., & Konak, A. (2016). The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 88, 146-166. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.01.011>
- Xiao, Y., & Konak, A. (2017). A genetic algorithm with exact dynamic programming for the green vehicle routing & scheduling problem. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1450-1463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.115>
- Yu, Z., Zhang, P., Yu, Y., Sun, W., & Huang, M. (2020). An Adaptive Large Neighborhood Search for the Larger-Scale Instances of Green Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Complexity*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8210630>
- Zhang, W., Gajpal, Y., Appadoo, S., & Wei, Q. (2020). Multi-depot green vehicle routing problem to minimize carbon emissions. *Sustainability*, 12(8), 3500. <https://doi.org/10.3390/su12083500>
- Zhou, Y., & Lee, G. M. (2017). A Lagrangian relaxation-based solution method for a green vehicle routing problem to minimize greenhouse gas emissions. *Sustainability*, 9(5), 776. <https://doi.org/10.3390/su9050776>
- Zulvia, F. E., Kuo, R. J., & Nugroho, D. Y. (2020). A many-objective gradient evolution algorithm for solving a green vehicle routing problem with time windows and time dependency for perishable products. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118428>

## EK-1

Çalışma	Problem	Çözüm Yöntemi	Ana katkı	Performans Analizi
Alinaghian ve diğ., 2015	YARP	Green Clark ve Wright Algoritması Diferansiyel Evrim Algoritması	Yakıt tüketimine ilişkin araç yönlendirme problemi için Clark ve Wright Algoritmasına dayalı yeni bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.	Maliyet
Küçüköğlü ve diğ. 2015	Zaman pencereli YARP	Benzetilmiş tavlama algoritması CO2 emisyonu hesaplama algoritması	Karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Afshar-Bakeshloo ve diğ., 2016	Müşteri memnuniyet kriterli YARP	Karma tamsayılı doğrusal programlama	Müşteri memnuniyeti dikkate alınmıştır.	Maliyet
Bruglieri ve diğ., 2016	YARP	Karma tamsayılı doğrusal programlama	Yeni bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Xiao ve Konak, 2016	YARP	Yinelemeli mahalle araması Kesin çözüm yöntemleri	Zaman pencereli, karma araç yapısına sahip, zamlı değişen trafik sıkışıklığına sahip yeşil arp için karma tamsayılı doğrusal programlama model önermişler, mat-sezgisel çözüm yöntemi geliştirmişlerdir.	Seragazi emisyonunu en aza indirmek
Ene, 2016	YARP	Benzetilmiş tavlama algoritması	YARP için metasezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.	CO2 emisyonunu en aza indirmek
Leggieri ve Haouari, 2017	YARP	Dal kesme algoritması	Karışık tamsayılı doğrusal formülasyon ve indirgeme prosedürü geliştirilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Kazemian ve Aref, 2017	Zaman pencereli YARP	Karma tamsayılı programlama Benzetilmiş tavlama algoritması	Ulaşımında hız ve programı birleştirmek için zaman pencerelerine sahip zamana bağlı bir model geliştirilmiştir.	Maliyet
Mirmohammadi ve diğ., 2017	Zaman bağımlı periyodik YARP	Tamsayılı doğrusal programlama	Yeni bir tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.	Toplam CO2 emisyon hacmi
Çimen ve Soysal, 2017	YARP	Benzetimsel Dinamik Programlama	Markov karar süreci uygulanmıştır.	Mesafeyi en aza indirmek
Yavuz, 2017	YARP	Yinelenen ışın arama algoritması	Matematiksel model önerilmiş ve çözümü için ise kesin çözüm yöntemi hem de sezgisel algoritma olarak kullanılabilen bir algoritma önerilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Zhou ve Lee, 2017	YARP	Lagrange gevşemesi yöntemi	Doğrusal olmayan tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir.	Gaz emisyonunu en aza indirmek
Majidi ve diğ., 2017	Bulanık YARP	Geniş mahalle arama algoritması	Eş zamanlı topla dağıt ve zaman pencereli yeşil arp ye bulanıklık eklenmiş, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiş ve metasezgisel algoritma ile	Maliyet

			çözülmüştür.	
Xiao ve Konak, 2017	YARP	Dinamik programlama algoritması Genetik algoritma	Genetik algoritmayı tam dinamik programlama ile birleştiren bir hibrit çözüm yaklaşımı önerilmiştir.	CO2 emisyon optimizasyonu
Soysal ve Çimen, 2017	YARP Zaman bağımlı	Dinamik programlama Genetik algoritma	Zaman bağımlı yeşil arp için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiş, çözüm için dinamik programlama ve genetik algoritmayı kapsayan hibrit geliştirilmiştir.	Maliyet
Gao ve Zhao, 2018	YARP	Benzetilmiş tavlama algoritması	Enerji tüketim oranının aracın toplam ağırlığı ile doğru orantılı olduğu gerçeğinden yola çıkarak matematiksel bir model geliştirmişler.	Maliyet
Affi ve diğ., 2018	YARP	Değişken komşuluk arama algoritması	Yakıt deposu kapasitesi dikkate alınmış, metasezgisel algoritma geliştirilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Macrina ve Guerriero, 2018	YARP	Tamsayılı doğrusal programlama	Karma filoya sahip olan bir Y-ARP geliştirilmiştir.	Maliyet
Messaoud ve diğ., 2018	DYARP (Dinamik Yeşil Araç Yönlendirme Problemi)	Geniş komşuluk arama algoritması	Dinamik araç yönlendirme problemi ve yeşil araç yönlendirme problemini birleştirmişlerdir.	CO2 emisyonunu en aza indirmek
Matos ve diğ., 2018	YARP	Yinelemeli yerel arama Rastgele değişken komşuluk iniş algoritması	Matematiksel formülasyon hazırlamış ve hibrit bir algoritma önermişlerdir.	CO2 emisyonunu en aza indirmek
Li ve diğ., 2019	YARP	Karınca kolonisi optimizasyon algoritması	Geliri en üst düzeye çıkararak maliyetleri, zamanı ve emisyonu en aza indirerek çok depolu bir yeşil araç rotalama problemi geliştirilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek
Kabadurmuş ve diğ., 2019	YARP	Epsilon kısıt yöntemi	Çok amaçlı optimizasyon için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.	Seyahat süresi
Poonthalir ve Nadarajan, 2019	YARP	Kimyasal reaksiyon optimizasyonu	Araçların bekleme süreleri sürece dahil edilmiştir.	Bekleme süresinin genel rota maliyetine etkisi
Macrina ve diğ., 2019a	YARP	Geniş komşuluk arama algoritması	Hız, ivme, yavaşlama, yük ve eğimleri hesaba katabilen kapsamlı bir enerji tüketim modeli kullanılmıştır.	Şarj edilen enerji maliyeti
Wang ve diğ., 2019b	Çok depolu YARP	Clarke ve Wright Tasarruf Sezgisel Algoritması Süpürme algoritması Çok Amaçlı Parçacık Sürüsü Optimizasyon algoritması	Zaman bağımlı araç hızı ve parçalı ceza maliyeti düşünülmüştür.	Karbon emisyonunu en aza indirme
Normasari ve diğ., 2019	Kapasite kısıtlı YARP	Benzetilmiş tavlama algoritması	Karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir.	Mesafeyi en aza indirmek

Kunnappadeelert ve Klinsrisuk, 2019	Zaman pencereci, topladağıt YARP	Diferansiyel algoritması evrim	Zaman pencereci topladağıt ARP ile Zaman pencereci topladağıt Y-ARP kıyaslanmıştır.	Maliyet
Macrina ve diğ., 2019b	Zaman pencereci YARP	Yinelemeli yerel arama	Problem, karma araç yapısına sahip farklı noktalarda şarj istasyonları olan zaman pencereci YARP olarak geliştirilmiştir	Maliyet
Rezaei ve diğ., 2019	YARP zaman pencereci	Genetik algoritma Tavlama benzetimi	Karma araç yapısına sahip zaman pencereci yeşil arp nin çözümü için metasezgisel algoritmalar kıyaslanmıştır.	Maliyet ve emisyonu en aza indirmek
Sruthi ve diğ., 2019	YARP	Genetik algoritma	Matematiksel model geliştirilmiş, genetik algoritma ile çözülmüştür.	Enerji emisyonu
Peng ve diğ., 2019	YARP	Memetik algoritma Uyarlanabilir yerel arama algoritması	Yeşil arp için meta sezgisel çözümler önerilmiş ve kıyaslanmıştır.	Mesafeyi en aza indirmek
Abdoli ve diğ., 2019	YARP	Doğrusal programlama	Yeni bir yol tabanlı model sunulmuştur.	Mesafeyi en aza indirmek
Wang ve diğ., 2019a	BYARP	Bulanık şans kısıtlı programlama	Bulanık şans kısıtlı programlama modelini eşdeğer bir deterministik modele dönüştürüp gömülü bulanık simülasyonunun analitik fonksiyon hesaplamasıyla değiştirerek bir algoritma geliştirmişler.	Mesafeyi en aza indirmek
Utama ve diğ., 2020	YARP	Kelebek optimizasyon algoritması Tabu arama algoritması	YARP için meta sezgisel algoritma önerilmiştir.	Maliyet
Yu ve diğ., 2020	YARP	Geniş komşuluk arama algoritması	Büyük ölçekli YARP örneklerini çözmek için uyarlanabilir bir algoritma önermişlerdir.	Karbon emisyonunu en aza indirmek

Nosrati ve Khamseh, 2020	YARP	Karma tamsayı doğrusal programlama Benzetilmiş tavlama algoritması Tabu arama algoritması	Harici taşıyıcılar mesafe indirimi sunarken, zaman ve yakıt kısıtlaması olan farklı araç ve yolları seçerek sistemin toplam maliyetini en aza indirmeye çalışan bir model önermişlerdir.	Maliyet
Peng ve diğ., 2020	YARP	Değişken komşuluk arama algoritması Evrimsel algoritma	Çok depolu bir araç rotalama probleminde karbondioksit emisyonunun çevresel etkisi ele alınmış ve çözüm için hibrit bir algoritma sunulmuş.	CO2 emisyonunu en aza indirmek
Masghati-Amoli ve Haghani, 2020	Zaman bağımlı YARP	Karma tamsayı doğrusal programlama Sezgisel algoritma	Karma araç yapısına sahip zamana bağlı yeşil arp için matematiksel model geliştirilmiş çözümü için sezgisel algoritma önerilmiş	Maliyet
Zhang ve diğ., 2020	Çok depolu YARP	Karınca kolonisi optimizasyon algoritması	Bu çalışmada Y-ARP ye birden fazla depodan araçların rotaya başlama esnekliği getirilmiştir	Karbon emisyonunu en aza indirmek
Zulvia ve diğ., 2020	Zaman pencereli YARP	Çok amaçlı gradyan evrim algoritması	Çok amaçlı optimizasyon problemi oluşturulmuştur.	Maliyet, karbon emisyonu azaltmak; ürün bozulma maliyetini azaltmak, hizmet maliyetini artırmak