

Yeşil Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi: Bir Literatür Taraması

Sedat BELBAĞ*

Geliş Tarihi (Received): 14.03.2016 – Kabul Tarihi (Accepted): 22.11.2016

Öz

Araç rotalama probleminin (ARP) amacı merkezi bir depodan çeşitli konumlarda yer alan müşterilere benzer veya farklı kapasitelere sahip araçlarla ürünleri dağıtmak için toplam seyahat uzaklık ve sürelerini minimize etmektir. Diğer yandan, işletmeler yakıt tüketiminin azaltarak rakiplerine karşı maliyet avantajı elde etmek ve çevreye duyarlı müşteriler açısından olumlu bir imaj oluşturmayı istemektedir. Araç rotalama probleminin yeni bir çeşidi olan “yeşil araç rotalama problemi (YARP)” ise, geleneksel yaklaşımdan farklı olarak yakıt tüketimi ve gaz emisyonu gibi çevresel faktörleri dikkate alan bir rota tasarlamayı amaçlar. Yasal ve sosyal çerçevede artan çevre duyarlılığı araç rotalama probleminde çevreyi etkileyen faktörlerin ele alınmasını sağlamıştır. Böylece, sürdürülebilir dağıtım ağı daha az enerji kullanılarak ve çevreye daha az zarar vererek oluşturulabilir. Bu çalışmanın amacı son yıllarda akademik ve endüstriyel çevrelerde popüleritesi giderek artan yeşil kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (YKARP) için kapsamlı bir literatür taraması sunmaktır. Literatür taramasının kapsamını, 2007-2016 yılları arasında yabancı dildeki dergilerde yayınlamış 57 adet makale oluşturmaktadır. Bu literatür taramasının akademik çalışmalara sağlayacağı başlıca faydalar (i) YKARP konusuna odaklanan makaleler hakkında detaylı bir analizin sunulması, (ii) yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi, (iii) YKARP için çözüm yöntemlerinin değerlendirilmesi, (iv) ileride yapılacak çalışmalar için çeşitli önerilerin sunulmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil araç rotalama problemi, yakıt tüketimi, gaz emisyonu, kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, literatür taraması.

*Dr., Gazi Üniversitesi ,İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, sedatbelbag@gazi.edu.tr

Green Capacitated Vehicle Routing Problem: A Literature Review

Abstract

Vehicle routing problem (VRP) is the act of minimizing total traveled distance and travel time to dispatch products with same or different capacitated vehicles from a central depot to customer's locations. However, companies aim to decrease fuel consumption to reach cost advantage over rivals and constitute a better image among environmental considered customers. As a new variant of VRP, "green vehicle routing problem (GVRP)" aims, unlike the conventional approach, to design a route in consideration of environmental factors such as fuel consumption and gas emission. Increased environmental consideration in legal and social contexts addressed the factors that affect the environment in vehicle routing problem. Thus, a sustainable distribution network could be designed with less energy consumption and fewer negative impacts on the environment. The purpose of this study is to develop a comprehensive literature review in a popular topic within academic and industrial areas known as green capacitated vehicle routing problem. The scope of literature review consists of 57 articles published between 2007 and 2016. This literature provides major benefits to academic studies in four ways: (i) presenting a detailed investigation about the articles focused on GCVRP, (ii) evaluating the factors that affect the fuel consumption and gas emissions, (iii) determining the solution method for GCVRP, (iv) presenting several suggestions about future works.

Keywords: *Green vehicle routing problem, fuel consumption, gas emission, capacitated vehicle routing problem, literature review.*

Giriş

Araç Rotalama Problemi (ARP), merkezi bir depodan aynı veya farklı kapasitelere sahip araçlar yardımıyla belli konumlardaki müşterilerin taleplerini karşılamak amacıyla bu araçların aldığı toplam mesafeyi ve toplam süreyi minimize edecek rotanın belirlenmesidir. Dantzig ve Ramser (1959), bu problemi ilk defa “Kamyon Sevkiyat Problemi (*Truck Dispatch Problem*)” adı altında bir dağıtım merkezinden belli sayıdaki benzin istasyonunun talebini aynı kapasiteli kamyonlarla karşılanmasını sağlayan modeli oluşturarak ele almıştır. Klasik ARP’nin amacı, tüm araçların aldığı toplam seyahat uzaklığını veya toplam uzaklığın doğrusal fonksiyonu olarak hesaplanan toplam seyahat maliyetinin minimize edilmesidir (Bektaş ve Laporte, 2011). ARP üzerine yapılan çalışmalar zaman içinde gerçek hayatta karşılaşılan zorlukları aşabilmek için farklılaşmış ve ARP’nin çeşitli türevleri olarak tanımlanmıştır. ARP literatüründeki farklı varsayımlar altındaki problemler, dağıtım araçlarının belli bir kapasite ile kısıtlandığı kapasite kısıtlı ARP (KARP - *Capacitated VRP*), dağıtım ve toplama faaliyetlerinin bir arada ele alındığı dağıtım ve toplama ARP (*Pickup and Delivery VRP*), birden çok depodan araçların dağıtım yaparak dönüşte herhangi bir depoda rotalarının sonlanabildiği çok depolu ARP (*Multiple Depot VRP*), müşterilere teslimatın belli bir süre içerisinde yapılmasını zorunlu kılan zaman pencereli ARP (*VRP with Time Windows*) olarak sıralanabilir (Xiao vd., 2012).

Klasik ARP’de araçların seyahat uzunluğuna bağlı olarak hesaplanan taşıma maliyeti yakıt tüketimini dikkate almadığından dolayı gerçeklikten uzaklaşmıştır. Şahin vd. (2009) 20 ton kapasiteli ve tamamen yüklü bir aracın 1000 km’lik bir mesafede harcadığı yakıt maliyetinin toplam taşıma maliyetinin %60’ını oluşturduğunu belirtir. Yakıt tüketiminin azaltılması bir yandan yakıt maliyetlerinin düşmesi ile işletmelere ekonomik yönden fayda sağlarken, diğer yandan düşük miktardaki sera etkisi yapıcı gazların havaya karışmasına sebep olduğu için topluma sosyal yönden fayda sağlar. Doksanlı yılların başından itibaren doğal çevrenin korunumuna yönelik yasal ve sosyal yaptırımlar işletmeleri çevreci politikalar geliştirmeye yöneltmiştir. Çevreye karşı artan duyarlılık ve çevreyi korumaya yönelik yasalar özellikle kara taşımacılığını doğrudan etkilemektedir. Bu durumla başa çıkabilmek amacıyla son yıllarda ARP literatürü içerisinde yakıt tüketimi ve gaz emisyonu gibi unsurlar dikkate alınmaktadır (örneğin, Hsu vd., 2007; Apaydın ve Gönüllü, 2008; Tavares vd., 2009; Maden vd., 2010; Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012; Pradenas vd., 2013; Ramos vd., 2014).

Yeşil araç rotalama problemi klasik ARP’den farklı olarak toplam seyahat uzunluğu ile beraber araçların yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu da minimize etmeye çalışır. İşletmeler sahip olduğu araçların yakıt tüketimini ve gaz emisyon değerlerini hem sosyal sorumluluk çerçevesinde müşterilerin gözünde olumlu bir imaj yaratmak hem de maliyet avantajı sağlamak

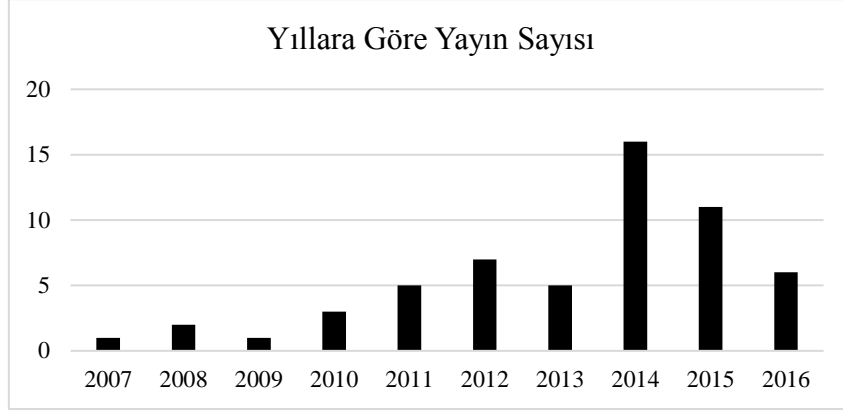
için azaltmaya çalışır (Figliozi, 2010). Yakıt tüketimi ve gaz emisyonuna bağlı maliyetler seyahat uzunluğu, araç yükü, araç hızı, zamana bağlı hız, yolun eğimi gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Yeşil araç rotalama probleminde alternatif yakıt kullanımı, yeni nesil elektrikli veya hibrid araçların kullanımı, çevre dostu rotalama yapılması gibi konular ele alınmaktadır (Lin vd., 2014b).

Çalışmanın amacı, son yıllarda araştırmacıların ilgi odağı haline gelen yeşil kapasite kısıtlı araç rotalama problemini (YKARP) ele alan çalışmalar hakkında kapsamlı bir literatür taraması yapmaktır. Bu literatür taramasının akademik çalışmalara yönelik sağlayacağı faydalar: (i) YKARP'yi dikkate alan çalışmaların ayrıntılı bir şekilde incelenmesi, (ii) yakıt tüketimi ve gaz emisyonu gibi çevresel unsurları etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi, (iii) YKARP'nin çözümünde kullanılan yöntemlerin belirlenmesi, (iv) ileride YKARP hakkında yapılabilecek çalışmalar için öneri ve yönlendirmeler de bulunması şeklinde sıralanabilir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde yapılandırılmıştır. İkinci bölümde araştırmanın metodolojisi ve kapsamı hakkında bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu etkileyen faktörler açıklanmıştır. YKARP'nin çözümü için kullanılan yöntemler dördüncü bölümde incelenmiştir. Son bölümde ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

1. Araştırma Metodolojisi

Bu çalışmadaki literatür taramasında yer alan makaleler üç farklı yöntem kullanılarak belirlenmiştir. (1) Üniversite kütüphanelerinden çevrimiçi olarak ulaşılabilen *Science Direct*, *Springer Link*, *EBSCO* gibi akademik veritabanları kullanılmıştır. Veritabanlarında konu ile ilgili makaleler “yeşil araç rotalama (*green vehicle routing*), yakıt tüketimi (*fuel consumption*), gaz emisyonu (*gas emission*), çevre duyarlılığı (*environmental considerations*) gibi anahtar kelimeler yardımıyla aranmıştır. (2) ARP ve YKARP üzerine önceki yıllarda hazırlanmış literatür taramalarının kaynakçaları incelenmiştir. (3) Konu ile ilgili makalelere atıf yapan diğer makalelere *Google Scholar* kullanılarak ulaşılmıştır. Bu çalışmadaki literatür taraması 2007 ile 2016 yılları arasında yayınlanmış ve sadece YKARP'yi dikkate alan yabancı dildeki (İngilizce) makaleleri içermektedir. Literatür taramasında toplamda 57 adet makaleye ulaşılmış olup, bu makalelerin yayınlandığı yıllara göre dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Makalelerin yıllara göre dağılımı

Bu çalışmada yer alan makaleler, yöneylem araştırması (*operations research*), yönetim bilimi (*management science*) ve ulaştırma (*transportation*) konu başlıklarında bulunan *Applied Soft Computing*, *Computers & Operations Research*, *European Journal of Operational Research*, *Expert Systems with Applications*, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, *Transportation Research (Part B, C, D, E)* gibi dergilerde yayınlanmıştır. YKARP yönelik çalışmaların yaklaşık olarak %90'ı *Social Science Citation Index (SSCI)*'te taranan dergilerde basılmıştır. Tablo 1, YKARP literatüründe yer alan makalelerin yayınladığı akademik dergiler açısından genel bir görünüm sunmaktadır. Buna göre, YKARP dikkate alan çalışmalar en çok sırasıyla *European Journal of Operational Research*, *Transportation Research Part B-D* ve *Expert Systems with Applications* isimli dergilerde kendilerine yer bulmuştur.

Şekil 2, YKARP literatüründe yer alan çalışmaların atıf haritasını göstermektedir. Bir başka deyişle, bu çalışmaların birbirilerine yaptıkları atıflar doğrultusunda YKARP alandaki başlıca çalışmaları göstermektedir. Atıf haritasının amacı, YKARP literatüründe yer alan çalışmaları önem düzeyine göre gruplamak ve literatüre yön veren temel makaleleri tespit etmektir. Böylece bir anlamda ileride yapılacak potansiyel çalışmalar için YKARP alanında öncelikle taranması gereken makalelerin listesi çıkarılmıştır. Şekil 2'de YKARP literatürüne yön veren çalışmalar Figliozzi (2010), Kuo (2010), Maden vd. (2010), Bektaş ve Laporte (2011), Suzuki (2011), Ubeda vd. (2011), Demir vd. (2012), Erdoğan ve Miller-Hooks (2012), Jabali vd. (2012), Xiao vd. (2012), Franceschetti vd. (2013) olarak belirlenmiştir.

Dergi	Etki Faktörü	Makale Sayısı	Makaleler
European Journal of Operational Research	2.358	7	Demir vd. (2012), Demir vd. (2014a), Goeke ve Schneider (2015), Kramer vd. (2015a), Kramer vd. (2015b), Ehmke vd. (2016b), Hiermann vd. (2016)
Transportation Research Part B	2.952	5	Bektaş ve Laporte (2011), Franceschetti vd. (2013), Koç vd. (2014), Zhang vd. (2015), Koç vd. (2016)
Transportation Research Part D	1.937	4	Suzuki (2011), Fahimnia vd. (2013), Kwon vd. (2013), Zhang vd. (2014), Velázquez-Martínez vd. (2016)
Expert Systems with Applications	2.240	3	Pradenas vd. (2013), Cirovic vd. (2014), Jovanovic vd. (2014)
Applied Soft Computing	2.810	2	Xiao ve Konak (2015), Koç ve Karaoğlan (2016)
Computers & Operations Research	1.861	2	Xiao vd. (2012), Wen ve Eglese (2015)
Flexible Services and Manufacturing Journal	1.872	2	Kopfer vd. (2014), Treitl vd. (2014)
International Journal of Production Economics	2.752	2	Soysal vd. (2015), Ubeda vd. (2011)
Management of Environmental Quality: An International Journal	0	2	Tavares vd. (2008), Kuo ve Wang (2011)
Transportation Research Part E	2.676	2	Erdoğan ve Miller-Hooks (2012), Felipe vd. (2014)
Waste Management	3.220	2	Tavares vd. (2009), Bing vd. (2014)
Computers & Industrial Engineering	1.783	1	Kuo (2010)
Environmental Science and Pollution Research	2.828	1	Küçükoğlu vd. (2015)
International Journal of Advanced Operations Management	0	1	Salimifard ve Raesi (2014)
International Journal of Logistics Research and Applications	0.482	1	Gajanand ve Narendan (2013)
International Journal of Scientific & Engineering Research	0	1	Adiba ve Ahemd (2014)
Journal of Cleaner Production	3.844	1	Zhu vd. (2014)
Journal of Computers	0	1	Li (2012)
Journal of Food Engineering	2.771	1	Hsu vd. (2007)
Journal of Manufacturing Systems	1.682	1	Tajik vd. (2014)
Journal of the Operational Research Society	0.953	1	Maden vd. (2010)
Journal of Transportation Engineering	0.797	1	Saberi ve Verbas (2012)
Networks	0.83	1	Qian ve Eglese. (2014)
Omega	4.376	1	Ramos vd. (2014)
OR Spectrum	0.987	1	Schneider vd. (2015)
Optimization Letters	0.934	1	Norouzi vd. (2016)
Procedia - Social and Behavioral Sciences	0.420	1	Cranic vd. (2012)
Production and Operations Management Society	0	1	Jabali vd. (2012)
Sadhana	0.476	1	Apaydın ve Gönüllü (2008)

Sustainability	0.942	1	Liu vd. (2014)
The International Journal of Logistics Management	0	1	Glock ve Kim (2015)
Transportation Journal	0.386	1	Suzuki ve Kabir (2015)
Transportation Research Part C	2.818	1	Figliozzi (2011)
Journal of the Transportation Research Board	0	1	Figliozzi (2010)

Tablo 1: YKARP literatüründeki makalelerin yayınlandığı dergiler

Ekşioğlu vd. (2009)'ne göre ARP literatürü yaklaşık olarak yıllık %6'lık bir büyümeye sahiptir. ARP'ye olan ilginin artması hem bu literatürü takip etmeyi hem de ARP türevlerine ve ARP'ye yönelik çözüm yöntemlerine ilişkin genel değerlendirmeler yapılmasını zorlaştırmaktadır. ARP hakkında yapılan literatür taramaları ARP'nin çeşitli varsayımlar altındaki özel durumlarına odaklanmıştır (örneğin KARP – Laporte, 2009; dağıtım ve toplamalı ARP – Berbeglia vd., 2007; çok depolu ARP – Montoya-Torres vd., 2015; parça dağıtımlı ARP – Archetti ve Speranza, 2012). ARP literatürünün bir türü olan YKARP konusunda Lin vd. (2014a) ile Demir vd. (2014b)'nin literatür çalışmaları ön plana çıkmaktadır. Lin vd. (2014a) çalışmasında öncelikle her bir ARP türevini özetleyerek, yeşil ARP problemine odaklanan makaleleri incelemiştir. Bu çalışmanın kapsamı 2006-2012 yılları olmakla birlikte toplamda 280 adet makaleyi içermektedir. Demir vd. (2014b) yeşil ARP'yi genel çerçeveden incelemek yerine kara taşımacılığında uygulanan yakıt tüketimi modelleri üzerine odaklanmıştır. Bu modeller, çevre dostu bir taşımacılıkta yakıt tüketimini mikro (anlık hıza göre emisyon değerleri tespit edilir) ve makro (ortalama hıza göre emisyon değerleri tespit edilir) düzeyde hesaplamaktadır.

Bu literatür taraması, Lin vd. (2014a) çalışmasına benzemekle birlikte iki yönden farklılaşmaktadır. Birincisi, bu çalışma çevre duyarlı ARP literatüründe bulunan ve kapasite kısıtını da dikkate alan makaleleri incelemektedir. Bu sebeple, daha dar bir alanda kapsamlı bir literatür taraması sunmaktadır. İkinci olarak, bu çalışma Lin vd. (2014a)'nin zaman aralığını 2016'ya taşımaktadır. Böylece, özellikle son yıllarda popüler bir konu başlığı haline gelen YKARP hakkında güncel makaleler sunulmaktadır. Bu literatür taraması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu etkileyen faktörler açıklanmakla birlikte, makaleler bu faktörlere ve problemin karakteristik özelliklerine (araç filosunun yapısı, zaman penceresi) göre değerlendirilmiştir. İkinci aşamada YKARP'nin çözümünde kullanılan yöntemler (optimal algoritmalar, sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler) belirlenerek her bir çalışmanın kullandığı çözüm yöntemi sunulmuştur.

2. Yakıt Tüketimini ve Gaz Emisyonunu Etkileyen Faktörler

İşletmelerin dağıtım amacıyla kullandıkları araçların yakıt tüketim miktarları taşıma maliyetlerini etkilemektedir. Bununla beraber tüketilen yakıt miktarı, çevreye salınan karbondioksit gibi sera etkisi gösteren gaz miktarlarını da etkiler (Kirby vd., 2000). Taşıma maliyetlerinin artması ve gaz emisyonu konusunda Kyoto Protokolü (sera gazı salınımının ortalama %5'lik seviyeye düşürülmesini öngörür.) gibi yasal yaptırımlar işletmelerin dağıtım işlemlerinde bu unsurları dikkate almasını sağlamıştır. İşletmeler yakıt tüketimini ve gaz emisyonunu hem maliyetleri düşürmek hem de tüketicilerin gözünde çevreci bir algı oluşturmak için azaltmaya çalışmaktadır (Figliozi, 2010).

Yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu etkileyen faktörler çeşitli çalışmalarda incelenmiştir (Bigazzi ve Bertini, 2009; Demir vd., 2011). Yakıt tüketimi doğrudan aracın seyahat uzunluğuna bağlı olsa da, aracın hızı, trafik yoğunluğu, yol eğimi, sürüş biçimi, gibi faktörler de tüketilen yakıt miktarını etkiler (Ericsson, 2001). Demir vd. (2014b) bu faktörleri araç, çevre, trafik, sürücü ve operasyon olarak beş ana başlıkta toplamıştır. Çalışmaya göre yakıt tüketimini hesaplayan modellerin çoğunluğu araç, trafik ve çevre başlıkları üzerinde yoğunlaşırken, aynı modeller sürücü ile bağlantılı faktörleri görmezden gelmektedir. Bu çalışmada dikkate alınan yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir;

i) Seyahat Uzunluğu: Yakıt tüketimini etkileyen en temel faktörlerden biri aracın gerçekleştirdiği toplam seyahat uzunluğudur (Eglese ve Black, 2010). Seyahat uzunluğuna göre yakıt tüketimi genellikle yakıt tüketimini etkileyen diğer ekonomik unsurlara ulaşamadığı zaman kullanılır (Ubeda vd., 2011). Diğer yandan, sadece seyahat uzunluğu ile yakıt tüketiminin hesaplanması gerçekçi sonuçlardan uzaklaşmaya yol açabilir.

ii) Aracın Yüğü: Bir aracın taşıdığı yük miktarının artması ile harcanan yakıt miktarı da giderek artmaktadır (Suzuki, 2011). Araç yükünün artması lastiklerin yolla olan sürtünmesini arttırıp, aracın ivmelenmesini geciktirir. Yüğü fazla olan bir araç eğimli bir yolda daha fazla güce ihtiyacı duyduğu için aracın yakıt tüketimi ve gaz emisyonu artar.

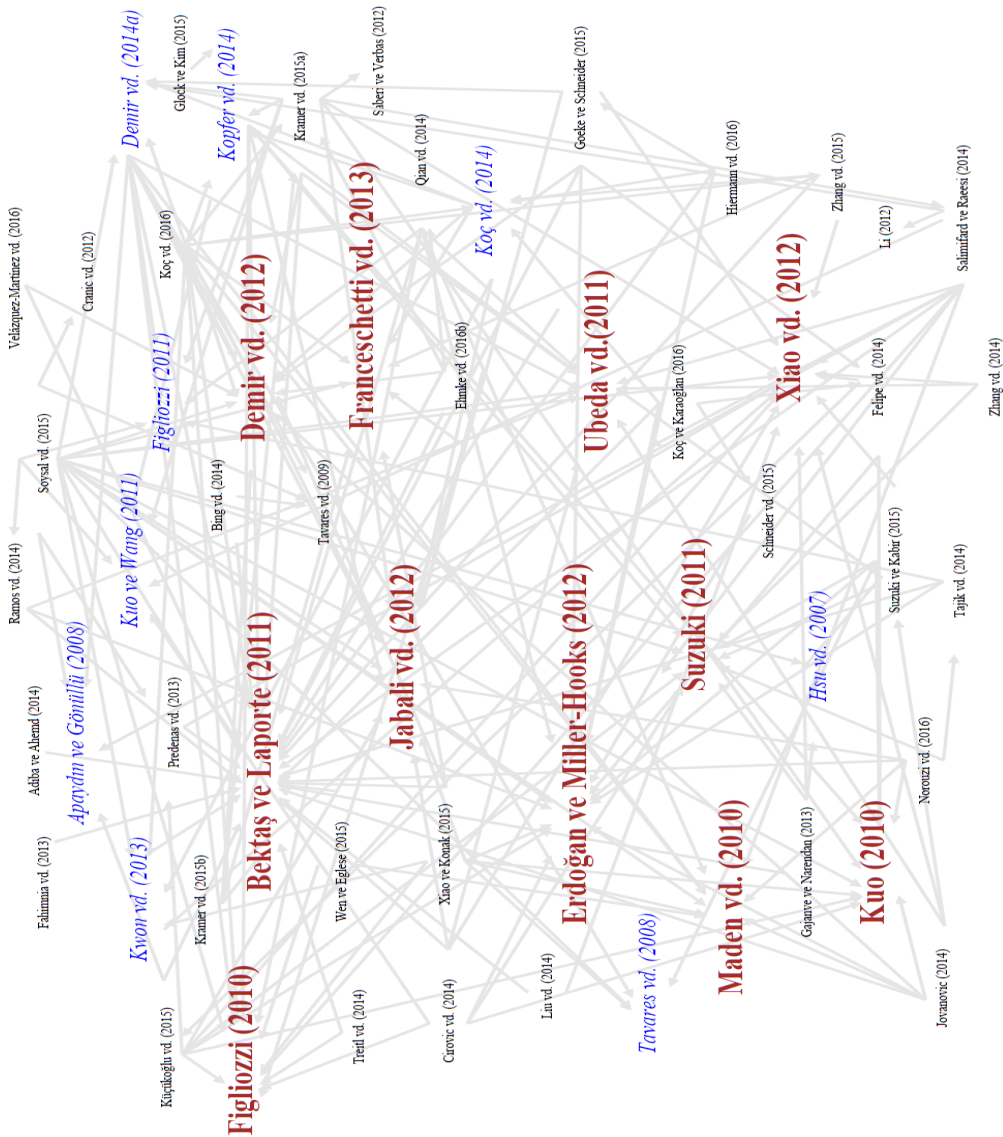
iii) Aracın Hızı: Bir aracın hızı alınan yolun eğimi, hava sürtünmesi, yolun yapısı gibi çeşitli durumlardan doğrudan etkilenir. Bu sebeple, aracın sabit bir hızla ile yol alması ile değişken hızla yol alması arasında yakıt tüketimi açısından farklılık bulunabilir. Demir vd. (2011) seyahat boyunca hızı değişen bir aracın en uygun sürüş hızını hesaplayarak, aracın yakıt tüketimi ve gaz emisyonunda azalmalar olduğunu göstermiştir. Optimal hız bölgesel olarak değişen hız limitleri ve trafik sıkışıklığı gibi durumlardan dolayı değişebilir.

iv) Zamana Bağlı Hız: Başta şehir içi olmak üzere trafiğin yoğun olduğu bölgelerde araç hızında dikkate değer değişimler yaşanabilir. İşe gidiş ya da iş çıkışı gibi yoğun saatlerde araçlar

sabit bir hızla yol alamazlar. Bu sebeple, trafiğin yoğun olduğu bölge ve zamanlarda kullanılan araçların yakıt tüketimi, sabit bir hızda seyir halinde giden araçlara göre yüksektir.

v) Yol Eğimi: Eğimli bir yolda aracın yüküne bağlı olarak ihtiyaç duyduğu motor gücü de artmaktadır. Bu yüzden, yolun eğiminin artan ya da azalan yönde olması yakıt tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır. Demir vd. (2011) yüklü araçların %1’lik bir eğime sahip bir yolda 100 kilometrede 6 litre daha fazla yakıt tükettiğini tespit etmiştir.

vi) Araç Filosu: Araç filosunun yapısı hizmet verilen bölgenin özelliklerine göre farklılık yaratır. Örneğin, şehir içi dağıtımda küçük araçlar daha düşük yakıt tüketimi ile avantaj sağlarken, şehirlerarası taşımacılıkta ağır yük araçları sayesinde daha az sayıda araç kullanılarak avantaj sağlanır (Demir vd., 2014a). Koç vd. (2014) hızları 100 km/saat’e sabitlenmiş karma araç filosunun benzer araçlardan oluşan bir filoya göre daha düşük toplam maliyet ile yol aldığını tespit etmiştir.



Şekil 2: Makalelerin atıf haritası (Kırmızı renk ile belirtilen çalışmalar 5 ve üzeri sayıda, mavi renk ile belirtilenler 3 ve 4 defa, siyah renk ile belirtilenler 3 defadan az atıf almıştır).

	Seyahat Uzunluğu	Araç Yüktü	Araçın Hızı	Zamana Bağlı Hız	Yol Eğimi	Araç Filosu	Araç Tipi	Zaman Penceresi
Hsu vd. (2007)	✓	✓	✓	✓	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Apaydın ve Gönüllü (2008)	✓	-	-	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Tavares vd. (2008)	✓	✓	-	-	✓	Karma	Ağır yük araçları (7,5-16 ton)	-
Tavares vd. (2009)	✓	✓	✓	-	✓	Karma	Farklı teknik özelliklere sahip iki tür araç	-
Kuo (2010)	✓	✓	✓	✓	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Figliozi (2010)	✓	-	✓	✓	-	Benzer	Ağır yük araçları	✓
Maden vd. (2010)	✓	-	✓	✓	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Bektaş ve Laporte (2011)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Figliozi (2011)	✓	-	✓	✓	✓	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Kuo ve Wang (2011)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Suzuki (2011)	✓	✓	✓	-	✓	Benzer	Ağır yük araçları	✓
Ubeda vd.(2011)	✓	✓	-	-	-	Benzer	Ağır yük araçları	-
Cranic vd. (2012)	✓	-	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Demir vd. (2012)	✓	✓	✓	-	✓	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Erdoğan ve Miller-Hooks (2012)	✓	-	-	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Jabali vd. (2012)	✓	-	✓	✓	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Li (2012)	✓	✓	✓	-	✓	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Saberi ve Verbas (2012)	✓	✓	✓	✓	-	Benzer	Ağır yük araçları	-
Xiao vd. (2012)	✓	✓	-	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Fahimnia vd. (2013)	✓	-	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Franceschetti vd. (2013)	✓	✓	✓	✓	✓	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Gajanand ve Narendan (2013)	✓	✓	✓	-	✓	Benzer	Belirtilmemiş	-
Kwon vd. (2013)	✓	-	-	-	-	Karma	Farklı kapasite ve emisyon değerlerine sahip araçlar	-
Pradenas vd. (2013)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Adiba ve Ahemd (2014)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Bing vd. (2014)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Cirovic vd. (2014)	✓	✓	-	-	-	Benzer	Hafif taşıma araçları	-
Demir vd. (2014a)	✓	✓	✓	-	✓	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Felipe vd. (2014)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Elektrikli araçlar	-

Jovanovic vd. (2014)	✓	✓	-	-	-	Benzer	Düşük emisyonlu araçlar	-
Koç vd. (2014)	✓	✓	✓	-	-	Karma	Hafif-Orta-Ağır yük araçları	✓
Kopfer vd. (2014)	✓	✓	-	-	-	Karma	Farklı yakıt tüketimine sahip araçlar	-
Liu vd. (2014)	✓	✓	✓	✓	✓	Karma	Belirtilmemiş	✓
Qian ve Eglese. (2014)	✓	✓	✓	✓	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Ramos vd. (2014)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Salimifard ve Raeesi (2014)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Tajik vd. (2014)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Treitl vd. (2014)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Zhang vd. (2014)	✓	✓	-	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Zhu vd. (2014)	✓	-	-	-	-	Benzer	Ağır-Geniş-Yüksek yük araçları	-
Glock ve Kim (2015)	✓	✓	✓	-	-	Karma	Farklı yakıt tüketimine sahip araçlar	-
Goeke ve Schneider (2015)	✓	✓	✓	-	✓	Benzer	Belirtilmemiş	-
Kramer vd. (2015a)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Kramer vd. (2015b)	✓	✓	✓	✓	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Küçüköğlü vd. (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Schneider vd. (2015)	✓	-	-	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Soysal vd. (2015)	✓	✓	✓	✓	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Suzuki ve Kabir (2015)	✓	✓	-	-	✓	Benzer	Belirtilmemiş	-
Xiao ve Konak (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Wen ve Eglese (2015)	✓	-	✓	✓	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Zhang vd. (2015)	✓	✓	-	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	-
Ehmke vd. (2016)	✓	✓	✓	✓	-	Karma	Ağır yük araçları	-
Hiermann vd. (2016)	✓	✓	-	-	-	Karma	Farklı kapasitelere sahip elektrikli araçlar	✓
Koç ve Karaoğlu (2016)	✓	✓	✓	-	-	Benzer	Belirtilmemiş	✓
Koç vd. (2016)	✓	✓	✓	-	-	Karma	Farklı yakıt tüketimine sahip araçlar	-
Norouzi vd. (2016)	✓	✓	✓	✓	✓	Benzer	Belirtilmemiş	-
Velázquez-Martínez vd. (2016)	✓	✓	✓	-	✓	Benzer	Belirtilmemiş	-

Tablo 2: Yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu etkileyen faktörler

Tablo 2, YKARP literatüründe yer alan makaleleri iki açıdan değerlendirmektedir. İlk olarak, yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak makaleler incelenmiştir. Literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğu seyahat uzunluğu, araç yükü ve araç hızı faktörlerini dikkate alırken, zamana bağlı hız ve yol eğimi faktörlerini göz

ardı etmiştir. Diğer yandan, bu iki faktör yakıt tüketimi ve gaz emisyonunu dikkate değer bir şekilde etkilemekle birlikte daha detaylı bir şekilde incelenmelidir. İkinci olarak, makaleler araç filosunun yapısı ve zaman penceresi unsurlarını dikkate alma durumu açısından incelenmiştir. YKARP literatüründe araç filosunun heterojen yapıda olduğu varsayımı homojen yapı varsayımına göre daha az çalışmada yer almıştır. Makalelerin %50'sinden fazlası zaman penceresi varsayımını dikkate almamıştır. Zaman penceresini dikkate alan makaleler bu varsayımı modellerinde hiçbir koşulda ihlal edilemeyen sıkı kısıt (örn. Figliozzi, 2010; Li, 2012) veya bazı durumlarda ihlal edilebilen esnek kısıt (örn. Bing vd., 2014; Kramer vd. 2015b) olarak tanımlamıştır.

3. YKARP'deki Çözüm Yöntemleri

YKARP, geleneksel ARP'nin kapsamı genişletilmiş bir çeşidi olarak tanımlanır. Ayrıca, bu tür problemlerin karmaşıklık seviyesi arttıkça çözüm süresi de üssel olarak artan problem (NP-hard problem) yapısında olduğu belirtilmiştir (Demir vd., 2012). Literatürdeki çalışmalar YKARP'nin çözümü için optimal (*exact algorithms*), sezgisel (*heuristics*) ve meta-sezgisel (*meta-heuristics*) yöntemler adı altındaki üç başlıkta toplanabilen yöntemleri kullanmaktadır. Bu literatür taramasında yer alan çalışmaların YKARP için kullandıkları model türü ve çözüm yöntemleri Tablo 3'te verilmiştir.

i) Optimal yöntemler: Bu yöntemler yaygın olarak küçük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılır. Problemin boyutu büyüdükçe optimal çözümü bulabilmek için gereken süre ve hafıza ihtiyacı optimal yöntemlerin kullanılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Laporte (1992) ARP literatüründe kesin çözüm sunan yöntemleri ağaç arama yöntemleri (*tree search methods*), dinamik programlama ve tam sayılı programlama olarak belirtmiştir. Bunların yanında bir çok çalışmada optimal çözüm bulmaya yarayan CPLEX, GAMS ve Lingo gibi yazılımlar da kullanılmaktadır. YKARP literatüründe optimal yöntemleri kullanan çalışmalar karma tamsayılı doğrusal programlama ile model oluşturup, çözüm için CPLEX yazılımından faydalanmıştır.

ii) Sezgisel Yöntemler: Büyük boyuttaki problemleri makul sürelerde optimal değere yakın bir şekilde çözebilen yöntemlerdir. Bu tür yöntemlerin uygulanması kolay olduğundan dolayı yaygın olarak kullanılır. Laporte vd. (2000) ARP'de kullanılan sezgisel yöntemleri tasarruf algoritması (*saving algorithm*), ardışık iyileştirme algoritması (*sequential improvement algorithm*), süpürme algoritması (*the sweep algorithm*), petal algoritması (*petal algorithm*), Fisher ve Jaikumar algoritması (*The Fisher and Jaikumar algorithm*) olarak belirtmiştir. YKARP literatüründe yer alan çalışmaların kullandığı sezgisel yöntemlerin başlıcaları zaman uyarlamalı en yakın komşu algoritması (*time-oriented nearest-neighbor heuristic*), yinelemeli

rota oluşturma ve geliştirme algoritması (*iterative route construction and improvement algorithm*), deterministik yerel arama (*deterministic local search*), uyarlamalı arama (*the adaptive searching*) şeklinde özetlenebilir.

iii) Meta-sezgisel Yöntemler: Klasik sezgisel yöntemlere göre meta-sezgisel yöntemler optimal çözüme daha yakın sonuçlar verebilmektedir. Bu durum meta-sezgisel yöntemlerin sezgisel yöntemlere göre daha geniş bir çözüm uzayında arama yapmasından kaynaklanır. Park ve Chae (2014), meta-sezgisel yöntemleri klasik sezgisel yöntemlere göre daha iyi sonuç elde etmek için yeni algoritmalar önerdiğini belirtmiştir. YKARP'nin karmaşıklık seviyesi ile çözüm süresi arasındaki ilişki üssel nitelikte olduğu için meta-sezgisel yöntemler literatürdeki birçok çalışma tarafından tercih edilmiştir. YKARP'de kullanılan başlıca meta-sezgisel yöntemler benzetimli tavlama (Xiao ve Konak, 2015), genetik algoritma (Liu vd., 2014), uyarlamalı komşu araması algoritması (Demir vd., 2014), tabu arama algoritması (Kwon vd., 2013), yapay arı kolonisi algoritması (Zhang vd., 2014) olarak sıralanabilir.

	Model Türü	Çözüm Yöntemi
Hsu vd. (2007)	Sezgisel Yöntem	Zaman Uyarlamalı En Yakın Komşu Algoritması
Apaydın ve Gönüllü (2008)	Optimal Yöntem	Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS)
Tavares vd. (2008)	Optimal Yöntem	ArcGIS, ArcInfo ve Ağ Analizi
Tavares vd. (2009)	Optimal Yöntem	Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS)
Kuo (2010)	Meta-Sezgisel Yöntem	Benzetimli Tavlama
Figliozzi (2010)	Sezgisel Yöntem	Yinelemeli Rota Oluşturma ve Geliştirme Algoritması (IRCI)
Maden vd. (2010)	Meta-Sezgisel Yöntem	Tabu Arama
Bektaş ve Laporte (2011)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - CPLEX
Figliozzi (2011)	Sezgisel Yöntem	Yinelemeli Rota Oluşturma ve Geliştirme Algoritması (IRCI)
Kuo ve Wang (2011)	Meta-Sezgisel Yöntem	Tabu Arama
Suzuki (2011)	Meta-Sezgisel Yöntem	Sıkıştırılmış Tavlama
Ubeda vd. (2011)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - Matlab
Cranic vd. (2012)	Sezgisel Yöntem	Simülasyon
Demir vd. (2012)	Meta-Sezgisel Yöntem	Uyarlamalı Komşu Araması (ALNS)
Erdoğan ve Miller-Hooks (2012)	Sezgisel Yöntem	Clarke and Wright Tasarruf Algoritması(MCWS) ve Yoğunluk Kümeleme Algoritması (DBCA)
Jabali vd. (2012)	Meta-Sezgisel Yöntem	Tabu Arama
Li (2012)	Meta-Sezgisel Yöntem	Tabu Arama
Saberi ve Verbas 2012	Sezgisel Yöntem	Sürekli Tahmin Modeli
Xiao vd. (2012)	Meta-Sezgisel Yöntem	Benzetimli Tavlama
Fahimnia vd. (2013)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - CPLEX
Franceschetti vd. (2013)	Optimal Yöntem	Matematiksel Modelleme

Gajanand ve Narendan (2013)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - CPLEX
Kwon vd. (2013)	Meta-Sezgisel Yöntem	Tabu Arama
Pradenas vd. (2013)	Sezgisel Yöntem	SS
Adiba ve Ahemd (2014)	Meta-Sezgisel Yöntem	Genetik Algoritma
Bing vd. (2014)	Meta-Sezgisel Yöntem	Tabu Arama
Cirovic vd. (2014)	Sezgisel Yöntem	Bulanık Çıkarım Algoritması
Demir vd. (2014a)	Meta-Sezgisel Yöntem	Uyarlamalı Komşu Araması (ALNS)
Felipe vd. (2014)	Sezgisel Yöntem	Deterministik Yerel Arama - Benzetimli Tavlama
Jovanovic vd. (2014)	Sezgisel Yöntem	Bulanık Çıkarım Algoritması
Koç vd. (2014)	Sezgisel Yöntem	Heterojen Uyarlamalı Komşu Araması
Kopfer vd. (2014)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - CPLEX
Liu vd. (2014)	Meta-Sezgisel	Genetik Algoritma
Qian ve Eglese. (2014)	Sezgisel Yöntem	Uyarlamalı Arama (AS)
Ramos vd. (2014)	Sezgisel Yöntem	Arttırılmış ϵ -kısıtı Yöntemi.
Salimifard ve Raeesi (2014)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - CPLEX
Tajik vd. (2014)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - GAMS
Treitl vd. (2014)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - CPLEX
Zhang vd. (2014)	Meta-Sezgisel Yöntem	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
Zhu vd. (2014)	Optimal Yöntem	Tamsayılı Programlama – Yay Eleme Prosedürü
Glock ve Kim (2015)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Olmayan Programlama
Goeke ve Schneider (2015)	Meta-Sezgisel Yöntem	Uyarlamalı Komşu Araması (ALNS)
Kramer vd. (2015a)	Meta-Sezgisel Yöntem	ILS-SP-SOA
Kramer vd. (2015b)	Meta-Sezgisel Yöntem	ILS-SP-SOA
Küçükoğlu vd. (2015)	Meta-Sezgisel Yöntem	Hafıza Yapısı Uyarlamalı Benzetimli Tavlama
Schneider vd. (2015)	Sezgisel Yöntem	Uyarlamalı Değişken Komşu Araması (AVNS)
Soysal vd. (2015)	Optimal Yöntem	Karma Tamsayılı Lineer Programlama - CPLEX
Suzuki ve Kabir (2015)	Sezgisel Yöntem	Süpürme – En yakın Komşu Algoritması
Xiao ve Konak (2015)	Meta-Sezgisel Yöntem	Benzetimli Tavlama
Wen ve Eglese (2015)	Sezgisel Yöntem	LANTIME Algoritması
Zhang vd. (2015)	Sezgisel Yöntem	Evrimsel Yerel Arama (ELS)
Ehmke vd. (2016)	Meta-Sezgisel Yöntem	Tabu Arama
Hiermann vd. (2016)	Optimal Yöntem	Karma Sayılı Lineer Programlama (MILP) – Dal ve Ödül
Koç ve Karaoğlu (2016)	Meta-Sezgisel Yöntem	Benzetimli Tavlama
Koç vd. (2016)	Meta-Sezgisel Yöntem	Uyarlamalı Komşu Araması (ALNS)
Norouzi vd. (2016)	Meta-Sezgisel Yöntem	Parçalı Küme Algoritması
Velázquez-Martínez vd. (2016)	Optimal Yöntem	İstatiksel–Matematiksel Metot

Tablo 3: YKARP için kullanılan çözüm yöntemleri

Sonuç ve Öneriler

Klasik ARP’de en önemli amaç araçların seyahat uzunluğunun minimize edilmesi olarak kabul edilir. Diğer yandan, yakıt tüketiminin gerek maliyetleri gerekse çevreye zararlı gaz emisyonunu arttırması çevreye duyarlı bir araç rotalama yapılması problemini ortaya çıkarmıştır. YKARP’ye olan ilgi özellikle son yıllarda gerek endüstriyel gerekse akademik alanda giderek artmaktadır. Akademik literatürde özellikle yöneylem araştırması ve yönetim bilimi alanında yer alan makaleler YKARP üzerine yoğunlaşmaktadır.

Bu literatür taramasının amacı son yıllarda popülaritesi giderek artan YKARP’nin genel bir değerlendirmesini yapmaktır. YKARP literatüründe yer alan çalışmaların %50’sinden fazlası son üç yılda yayınlanmış ve %90’a yakını SSCI’da bulunan dergilerde basılmıştır. YKARP’nin karmaşıklık seviyesi yüksek olduğu için optimal yöntemlerin yanında sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Her ne kadar YKARP’ye olan ilgi artsa da, bu alanda araştırılması gereken birçok durum bulunmaktadır. İleriki çalışmalarda yapılabilecekler üç başlık altında ele alınabilir:

i) Belirsizlik unsuru: YKARP literatüründe belirsizlik unsuru çalışmaların çoğunluğu tarafından göz ardı edilmektedir. Diğer yandan YKARP’de talep miktarı, hizmet süresi, seyahat süresi, araçların bekleme süresi gibi unsurlar gerçek hayatta karşılaşılan problemlerde belirsizlik içermektedir. Her unsurun bilindiği varsayımı önerilen bu modellerin gerçek hayatta uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Bu sebeple, bahsedilen unsurların belirsiz olduğu varsayımı göz önünde bulundurularak yeni çalışmalar yapılması problemlerin gerçekçi bir şekilde çözülmesini sağlayabilir. Ayrıca, belirsizlik varsayımını içeren YKARP’nin çözümünde kuyruk teorisi ve stok modellerinden de faydalanılabilir.

ii) Çok-aşamalı dağıtım sistemi: YKARP literatüründe yer alan çalışmalardan Cranic vd. (2012) ve Soysal vd. (2015) dışında tamamı tek-aşamalı dağıtım sistemi üzerine odaklanmıştır. Çok-aşamalı dağıtım sisteminde tek-aşamalı dağıtım sisteminden farklı olarak tüm faaliyetler tek bir merkezden kontrol edilmez. Bunun yerine önce ana depodan belli kapasiteye sahip bölgesel depolara, daha sonra bölgesel depolardan müşterilere dağıtım yapılır. Akademik ve endüstriyel çevrenin yakından takip ettiği çok-aşamalı dağıtım sisteminin YKARP üzerinde yarattığı etkilerin tespiti yeni çalışmaları destekler niteliktedir. Örneğin, çok-aşamalı dağıtım sisteminin yakıt tüketimi ve gaz emisyonu değerlerinde azalmaya neden olup olmadığı araştırma konularından biridir.

iii) Farklı varsayımların entegrasyonu: YKARP literatüründe yer alan çalışmaların çoğunluğu aynı kapasiteye sahip homojen araç filosu, sabit hız, değişmeyen yol koşulları, tam kapasite araç kullanımı gibi ortak varsayımlara sahiptir. Bunun yanında, ARP literatüründeki

Çalışmalarda gerçek hayattaki problemleri çözebilmek için birçok farklı varsayım bulunmaktadır. YKARP'de heterojen araç filosu, parçalı dağıtım, tek ya da çok dönemli planlama, kısıtlı araç sayısı gibi çeşitli varsayımların etkilerinin incelenmesi ileriki çalışmalarda yer almalıdır. Böylece, farklı varsayımlar altındaki YKARP modellerinde yakıt tüketimi ve gaz emisyon değerlerinin ne ölçüde etkilendiği tespit edilebilir.

Özetle, mevcut YKARP literatürü gelişmekte bir alan olmakla birlikte dikkate alınması gereken birçok unsur ve varsayım bulunmaktadır. Diğer yandan, YKARP hakkında yapılan çalışma sayısındaki artış, bu literatürün ileriki zamanlarda daha da gelişeceğini göstermektedir. YKARP alanında yapılacak yeni çalışmalar gerçek hayatta karşılaşan problemlere çözüm üretmede önemli bir rol üstlenecektir.

Kaynakça

- Adiba, E., & Ahemd, H. A. (2014). Evolutionary Algorithm for the Bi-Objective Green Vehicle Routing Problem. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(9), 70-77.
- Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2008). Emission control with route optimization in solid waste collection process: A case study. *Sadhana*, 33(2), 71-82.
- Archetti, C., & Speranza, M. G. (2012). Vehicle routing problems with split deliveries. *International Transactions in Operational Research*, 19(1-2), 3-22.
- Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232-1250.
- Berbeglia, G., Cordeau, J. F., Gribkovskaia, I., & Laporte, G. (2007). Static pickup and delivery problems: a classification scheme and survey. *Top*, 15(1), 1-31.
- Bigazzi, A., & Bertini, R. (2009). Adding green performance metrics to a transportation data archive. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2121), 30-40.
- Bing, X., de Keizer, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & van der Vorst, J. G. (2014). Vehicle routing for the eco-efficient collection of household plastic waste. *Waste management*, 34(4), 719-729.
- Ćirović, G., Pamučar, D., & Božanić, D. (2014). Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. *Expert Systems with Applications*, 41(9), 4245-4258.
- Crainic, T. G., Mancini, S., Perboli, G., & Tadei, R. (2012). Impact of generalized travel costs on satellite location in the two-echelon vehicle routing problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 195-204.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(5), 347-357.
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2012). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 223(2), 346-359.
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2014a). The bi-objective pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 232(3), 464-478.

- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2014b). A review of recent research on green road freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 775-793.
- Eglese, R., & Black, D. (2010). Optimizing the routing of vehicles. 2010) Green Logistics: Improving the environmental sustainability of logistics, *KoganPage*, 215-228.
- Ehmke, J. F., Campbell, A. M., & Thomas, B. W. (2016). Vehicle routing to minimize time-dependent emissions in urban areas. *European Journal of Operational Research*, 251, 478-494.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483.
- Erdoğan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100-114.
- Ericsson, E. (2001). Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6(5), 325-345.
- Fahimnia, B., Reisi, M., Paksoy, T., & Özceylan, E. (2013). The implications of carbon pricing in Australia: An industrial logistics planning case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 18, 78-85.
- Felipe, Á., Ortuño, M. T., Righini, G., & Tirado, G. (2014). A heuristic approach for the green vehicle routing problem with multiple technologies and partial recharges. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 71, 111-128.
- Figliozzi, M. (2010). Vehicle routing problem for emissions minimization. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2197), 1-7.
- Figliozzi, M. A. (2011). The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO₂ emission levels: Results from a case study in Portland, Oregon. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(5), 766-778.
- Franceschetti, A., Honhon, D., Van Woensel, T., Bektaş, T., & Laporte, G. (2013). The time-dependent pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 56, 265-293.
- Gajanand, M. S., & Narendran, T. T. (2013). Green route planning to reduce the environmental impact of distribution. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 16(5), 410-432.
- Glock, C. H., & Kim, T. (2015). Coordinating a supply chain with a heterogeneous vehicle fleet under greenhouse gas emissions. *The International Journal of Logistics Management*, 26(3), 494-516.

- Goeke, D., & Schneider, M. (2015). Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *European Journal of Operational Research*, 245(1), 81-99.
- Hiermann, G., Puchinger, J., Ropke, S., & Hartl, R. F. (2016). The electric fleet size and mix vehicle routing problem with time windows and recharging stations. *European Journal of Operational Research*, 252(3), 995-1018.
- Hsu, C. I., Hung, S. F., & Li, H. C. (2007). Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 465-475.
- Jabali, O., Woensel, T., & de Kok, A. G. (2012). Analysis of travel times and CO₂ emissions in time-dependent vehicle routing. *Production and Operations Management*, 21(6), 1060-1074.
- Jovanović, A. D., Pamučar, D. S., & Pejčić-Tarle, S. (2014). Green vehicle routing in urban zones—A neuro-fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3189-3203.
- Kirby, H. R., Hutton, B., McQuaid, R. W., Raeside, R., & Zhang, X. (2000). Modelling the effects of transport policy levers on fuel efficiency and national fuel consumption. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(4), 265-282.
- Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2014). The fleet size and mix pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 70, 239-254.
- Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2016). The impact of depot location, fleet composition and routing on emissions in city logistics. *Transportation Research Part B: Methodological*, 84, 81-102.
- Koç, Ç., & Karaoglan, I. (2016). The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach. *Applied Soft Computing*, 39, 154-164.
- Kopfer, H. W., Schönberger, J., & Kopfer, H. (2014). Reducing greenhouse gas emissions of a heterogeneous vehicle fleet. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1-2), 221-248.
- Kramer, R., Subramanian, A., Vidal, T., & Lucídio dos Anjos, F. C. (2015a). A matheuristic approach for the Pollution-Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 243(2), 523-539.
- Kramer, R., Maculan, N., Subramanian, A., & Vidal, T. (2015b). A speed and departure time optimization algorithm for the pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 247(3), 782-787.
- Kuo, Y. (2010). Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 157-165.

- Kuo, Y., & Wang, C. C. (2011). Optimizing the VRP by minimizing fuel consumption. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(4), 440-450.
- Küçükoğlu, 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.
- Kwon, Y. J., Choi, Y. J., & Lee, D. H. (2013). Heterogeneous fixed fleet vehicle routing considering carbon emission. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, 81-89.
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345-358.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J. Y., & Semet, F. (2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 7(4-5), 285-300.
- Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43(4), 408-416.
- Li, J. (2012). Vehicle routing problem with time windows for reducing fuel consumption. *Journal of Computers*, 7(12), 3020-3027.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014a). Survey of green vehicle routing problem: Past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1118-1138.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., & Ng, T. W. (2014b). A genetic algorithm-based optimization model for supporting green transportation operations. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3284-3296.
- Liu, W. Y., Lin, C. C., Chiu, C. R., Tsao, Y. S., & Wang, Q. (2014). Minimizing the Carbon Footprint for the Time-Dependent Heterogeneous-Fleet Vehicle Routing Problem with Alternative Paths. *Sustainability*, 6(7), 4658-4684.
- Maden, W., Eglese, R., & Black, D. (2010). Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study. *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), 515-522.
- Montoya-Torres, J. R., Franco, J. L., Isaza, S. N., Jiménez, H. F., & Herazo-Padilla, N. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Computers & Industrial Engineering*, 79, 115-129.
- Norouzi, N., Sadegh-Amalnick, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2016). Modified particle swarm optimization in a time-dependent vehicle routing problem: minimizing fuel consumption. *Optimization Letters*, 1-14.

- 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.
- Pradenas, L., Oportus, B., & Parada, V. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in vehicle routing problems with backhauling. *Expert Systems with Applications*, 40(8), 2985-2991.
- Qian, J., & Eglese, R. (2014). Finding least fuel emission paths in a network with time-varying speeds. *Networks*, 63(1), 96-106.
- Ramos, T. R. P., Gomes, M. I., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2014). Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns. *Omega*, 48, 60-74.
- Saberi, M., & Verbas, İ. Ö. (2012). Continuous approximation model for the vehicle routing problem for emissions minimization at the strategic level. *Journal of Transportation Engineering*, 138(11), 1368-1376.
- Salimifard, K., & Raeesi, R. (2014). A green routing problem: optimising CO₂ emissions and costs from a bi-fuel vehicle fleet. *International Journal of Advanced Operations Management*, 6(1), 27-57.
- Schneider, M., Stenger, A., & Hof, J. (2015). An adaptive VNS algorithm for vehicle routing problems with intermediate stops. *OR Spectrum*, 37(2), 353-387.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Bektaş, T. (2015). The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations. *International Journal of Production Economics*, 164, 366-378.
- Suzuki, Y. (2011). A new truck-routing approach for reducing fuel consumption and pollutants emission. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(1), 73-77.
- Suzuki, Y., & Kabir, Q. S. (2015). Green Vehicle Routing for Small Motor Carriers. *Transportation Journal*, 54(2), 186-212.
- Şahin, B., Yilmaz, H., Ust, Y., Guneri, A. F., & Gulsun, B. (2009). An approach for analysing transportation costs and a case study. *European Journal of Operational Research*, 193(1), 1-11.
- Tajik, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Vahdani, B., & Mousavi, S. M. (2014). A robust optimization approach for pollution routing problem with pickup and delivery under uncertainty. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(2), 277-286.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & da Graça Carvalho, M. (2008). A case study of fuel savings through optimisation of MSW transportation routes. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 19(4), 444-454.

- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. D. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 29(3), 1176-1185.
- Treitl, S., Nolz, P. C., & Jammerneegg, W. (2014). Incorporating environmental aspects in an inventory routing problem. A case study from the petrochemical industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1-2), 143-169.
- Ubeda, S., Arcelus, F. J., & Faulin, J. (2011). Green logistics at Eroski: A case study. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 44-51.
- Velázquez-Martínez, J. C., Fransoo, J. C., Blanco, E. E., & Valenzuela-Ocaña, K. B. (2016). A new statistical method of assigning vehicles to delivery areas for CO2 emissions reduction. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 43, 133-144.
- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1419-1431.
- Xiao, Y., & Konak, A. (2015). A simulating annealing algorithm to solve the green vehicle routing & scheduling problem with hierarchical objectives and weighted tardiness. *Applied Soft Computing*, 34, 372-388.
- Wen, L., & Eglese, R. (2015). Minimum cost VRP with time-dependent speed data and congestion charge. *Computers & Operations Research*, 56, 41-50.
- Zhang, S., Lee, C. K. M., Choy, K. L., Ho, W., & Ip, W. H. (2014). Design and development of a hybrid artificial bee colony algorithm for the environmental vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 85-99.
- Zhang, Z., Wei, L., & Lim, A. (2015). An evolutionary local search for the capacitated vehicle routing problem minimizing fuel consumption under three-dimensional loading constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*, 82, 20-35.
- Zhu, X., Garcia-Diaz, A., Jin, M., & Zhang, Y. (2014). Vehicle fuel consumption minimization in routing over-dimensioned and overweight trucks in capacitated transportation networks. *Journal of Cleaner Production*, 85, 331-336.