

PAPER DETAILS

TITLE: SEZGİSEL ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNDE BULANIK MANTIK TEMELLİ

KAPASİTE OPTİMİZASYONU: BİR ÜN FABRİKASI ÖRNEĞİ

AUTHORS: Aysun ALTINKAYA, Mustafa Zihni TUNCA

PAGES: 31-41

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2389878>

Geliş Tarihi / Received : 22.04.2022 / 04.22.2022

Kabul Tarihi / Accepted : 26.04.2022 / 04.26.2022

Araştırma Makalesi - Research Article

DOI: <https://www.doi.org/10.55580/oguzhan.1107296>

SEZGİSEL ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNDE BULANIK MANTIK TEMELLİ KAPASİTE OPTİMİZASYONU: BİR UN FABRİKASI ÖRNEĞİ

FUZZY LOGIC BASED CAPACITY OPTIMIZATION IN HEURISTIC VEHICLE ROUTING PROBLEMS: A CASE STUDY IN A FLOUR MILL

Aysun ALTINKAYA^a, Mustafa Zihni TUNCA^b

Öz: Araç Rotalama Problemi (ARP), müşteri gereksinimlerinin zamanında ve minimum maliyetle karşılanmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. ARP ile sabit bir depodan, sınırlı kapasiteli araç veya araçların farklı bölgelerde yer alan müşterilere en düşük maliyetle hareketlerini sağlayan rotalar oluşturulması hedeflenmektedir. O yüzden de, depo ile müşteriler arasında ürün dağıtımıyla ilgilenen Araç Rotalama Problemi'nin amacı, toplam seyahat maliyetlerini en aza indirerek tüm müşterilere hizmet verecek şekilde araç rotalarının belirlenmesidir. Bu çalışmada, Isparta il merkezinde faaliyet gösteren bir un fabrikasının merkez deposundan Isparta, Denizli, Burdur, Afyonkarahisar ve Antalya il ve ilçe merkezlerindeki müşterilere teslimat seferleri için kullanılan araçların kapasite kullanımları iyileştirilerek, ulaşım maliyetlerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Kazançlar Algoritması ile dağıtım rotaları belirlendikten sonra, araçların doluluk oranlarının iyileştirilmesi amacıyla Bulanık Mantık yardımıyla talep verileri bulanıklaştırılarak alternatif çözümler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Araç Rotalama Problemi, Kazançlar Algoritması, Bulanık Mantık, Un Fabrikası.

ABSTRACT: Vehicle Routing Problem (VRP) is used to ensure that customer requirements are met on time and at minimum cost. With VRP, it is aimed to create routes that enable the movement of limited capacity vehicles or vehicles to customers in different regions, with the lowest cost from a depot. Therefore, the purpose of the Vehicle Routing Problem, which deals with product distribution between the depot and the customers, is to determine the vehicle routes in a way that will serve all customers by minimizing the total travel costs. In this study, it is aimed to minimize transportation costs by improving the capacity utilization of the vehicles, used for deliveries from the central depot of a flour mill, operating in the city center of Isparta to customers in the city and district centers of Isparta, Denizli, Burdur, Afyon and Antalya. Within the scope of the study, after the routes were determined with the Savings Algorithm, alternative solutions were obtained by fuzzifying the demand data with the help of Fuzzy Logic in order to improve the capacity ratios of the vehicles.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Savings Algorithm, Fuzzy Logic, Flour Mill.

^a Öğr. Gör., Yozgat Bozok Üniversitesi, Çekerek Fuat Oktay Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, aysun.altinkaya@bozok.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0250-5489>

^b Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, mustafatunca@sdu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-2315-905X>

1. GİRİŞ

Taşıma maliyetlerindeki artış ve müşterileri tarafından ürünlerin zamanında teslimine yönelik beklentileri ve çevreci önlemlerin artırılması yönündeki beklentiler günümüzde lojistik sektöründe verimliliğin artırılması ve sürdürülebilirliğin sağlanabilmesine yönelik çabaları ön plana çıkarmıştır.

Dağıtım planlaması açısından araçların teslimatlarda zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabilmeleri için rotalarının doğru bir şekilde belirlenmesi önem taşımaktadır. Literatürde bu kapsamda gerçekleştirilen Araç Rotalama Problemi (ARP) çalışmaları ile dağıtımların daha kısa zamanda ve minimum maliyetle gerçekleştirilmesini sağlayan rotaların oluşturulması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, Isparta il merkezinde faaliyet gösteren bir un fabrikasının merkez deposundan Isparta, Denizli, Burdur, Afyonkarahisar ve Antalya il ve ilçe merkezlerindeki müşterilere teslimat seferleri için kullanılan araçların kapasite kullanımları iyileştirilerek, ulaşım maliyetlerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Kazançlar Algoritması ile dağıtım rotaları belirlendikten sonra, araçların doluluk oranlarının iyileştirilmesi amacıyla Bulanık Mantık yardımıyla talep verileri bulanıklaştırılarak alternatif çözümler elde edilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın takip eden bölümünde Araç Rotalama Problemi tanıtılıp literatürde yer alan güncel çalışmalara yer verildikten sonra uygulama metodolojisi sunulmuştur. Ardından Kazançlar Algoritması ve Bulanık Kazançlar Yöntemi ile elde edilen bulgular mevcut durum verileri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç Rotalama Problemi (ARP), ilk olarak Dantzig ve Ramser (1959) tarafından benzin istasyonlarındaki benzin dağıtım problemlerinin incelenmesinde kullanılmış ve bu problemi çözmek için matematiksel bir planlama modeli ve algoritmik yaklaşım tanıtılmıştır (Atmaca, 2012, s. 12). Genel olarak araç rotalama, bir depo ile müşteriler arasında ürün dağıtımı ya da toplanmasına yönelik süreçleri kapsamaktadır. O yüzden de ARP, depo ve müşteriler arasında çok yönlü araç hareketlerinden oluşmaktadır (Keskintürk, vd., 2015, s. 78).

Araç Rotalama Problemi, müşteri gereksinimlerinin zamanında ve minimum maliyetle karşılanmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. ARP ile sabit bir depodan, sınırlı kapasiteli araç veya araçların farklı bölgelerde yer alan müşterilere en düşük maliyetle hareketlerini sağlayan rotalar oluşturulması hedeflenmektedir. O yüzden depo ile müşteriler arasında ürün dağıtımıyla ilgilenen Araç Rotalama Problemi'nin amacı, toplam seyahat maliyetlerini en aza indirerek tüm müşterilere hizmet verecek şekilde araç rotalarının belirlenmesidir.

Araç rotalamalarını gerçekleştirebilmek için depo ile müşteriler arasındaki mesafelerin yanı sıra araç sayısı ve kapasitelerinin bilinmesi gerekmektedir. ARP'nin temel bileşenlerini oluşturan araç, depo ve müşteri arasında gerçekleştirilen rotalama analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için varsayılan başlıca kısıtlar ise şunlardır (Bayzan, 2005: 7):

- Tüm araçların aynı özelliklere sahip olması,
- Tüm araçların sınırlı kapasiteye sahip olması,
- Seyahat hızının sabit olması,
- Araçların depodan hareket edecek şekilde hazır bulunmaları, ve
- Müşterilerin talep ettikleri ürün miktarının önceden bilinmesi.

Araç Rotalama Problemi'nin en temel hedefleri ise şunlardır (Atmaca, 2012, s. 12):

- Araçların seyahat mesafelerini ve maliyetlerini en aza indirmek,
- Araçların seyahat sayısını en aza indirmek,
- Müşterilere gerçekleştirilen kısmi dağıtımları en aza indirmek.

Araç rotalama problemi için kullanılan çözüm yöntemleri, “Kesin Çözüm Yöntemleri” ve “Sezgisel Yöntemler” olarak iki temel grupta incelenebilmektedir. Kesin çözüm yöntemleri, problem için en iyi çözümü bulana kadar araştırıp kesin sonuca ulaşmayı hedefleyen yöntemler olarak tanımlanmaktadır. Kesin çözüm yöntemleri ile müşteri sayısının belirli sayının altında olduğu problemlerde kabul edilebilir zamanlarda optimum sonuca ulaşılabilir. Ancak, problemin boyutları büyükçe çözüm süresi de uzamaktadır. En yaygın kullanılan kesin çözüm yöntemlerinin

başında; Dal Sınır (Carpaneto ve Toth, 1980), Dal-Kesme (Padberg ve Rinaldi, 1991; Augerat vd., 1995; Fukasawa, 2006) ve Dinamik Programlama (Taha, 2000) yaklaşımları gelmektedir (Keskintürk, 2010, s. 44)

ARP çözümünde yaygın olarak kullanılan diğer yaklaşım ise klasik sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerden oluşmaktadır. Klasik sezgisel yöntemlerin arasında Kazançlar, Süpürme, İki Aşamalı Yöntem, En Yakın Komşu ve Geliştirilmiş Petal gibi yaklaşımlar yer alırken; Tabu Arama, Benzetimli Tavlama, Karınca Kolonisi, Yapay Sinir Ağları ve Kabul Eşiği gibi algoritmalar Meta-Sezgisel yöntemlerinden başlıcalarıdır.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Araç rotalama problemi literatürü incelendiğinde alanda çok sayıda çalışmanın yer aldığı görülmektedir. ARP çalışmalarına yönelik yapılan çalışmalar farklı dönemlerde çeşitli literatür tarama çalışmalarında toplanarak araştırmacılara yol gösterici olmaya devam etmektedir. Son yıllarda yapılan literatür tarama çalışmalarına örnek olarak Laporte (1992); Fisher (1995); Toth ve Vigo (2002); Cordeau, vd. (2007); Eksioğlu, vd. (2009); Potvin (2009); Campbell ve Wilson (2014); Irnich, vd. (2014); Breakers, vd. (2016), Asghari ve Mirzapour Al-e-Hashem (2020); Elshaer ve Awad (2020); Konstantakopoulos (2020); Tan ve Yeh (2021) gösterilebilir.

Ayrıca, spesifik olarak farklı ARP alt disiplinlerinde yapılan araştırmaların tarandığı çalışmalara ise Stokastik ARP (Gendreau, vd. (1996)); Çok Amaçlı ARP (Jozefowicz (2008)); Dinamik ARP (Pillac, vd. (2013)); Çoklu Depo ARP (Montoya-Torres, vd. (2015)); Zengin ARP (Lahyani, vd. (2015)); Heterojen ARP (Koç (2016)); ve Yeşil ARP (Asghari, vd. (2021)) örnek verilebilir.

Yerli literatürde son yıllarda gerçekleştirilen ARP problemlerinden bazıları aşağıda yer almaktadır:

Dağıtım ve toplama işlemlerini aynı anda gerçekleştiren kargo şirketlerini matematiksel modelleme ile inceleyen Atmaca (2012), ARP çalışmasında mevcut ve planlanan durum araç doluluk ve kilometre açısından karşılaştırılmıştır. Keskintürk vd. (2015) literatürde yer alan çalışmaların sınıflandırılmasının incelediği çalışma ile dağıtım ve teslim alma kategorilerinde kapasite ve mesafe limitleri, zaman dilimleri, münferit teslimatlar, alımlar, tarifeli teslimatlar ve araç tahsisi türleri ve rota sorunları ile her bir sorun türü için çözümler kesin klasik sezgisel ve meta-sezgisel olarak üç grupta ele almıştır.

Filiz ve Eroğlu (2017) bulanık hedef programlama yaklaşımının kapasite kısıtlı araç rotalama problemi üzerinde uygulanabilirliği inceleyerek, bulanık talep durumunda ARP çözümü için bir bulanık hedef programlama yaklaşımı önermiştir. Taş vd. (2018) evde bakım ve tedavi hizmeti veren araçların rotalamasını gerçekleştirerek araçların optimal rotalarının belirlendiği çalışmalarında mevcut duruma göre daha az mesafe kat eden ve buna bağlı olarak daha düşük maliyetli sonuçlar elde etmiştir.

Havuç (2018) çalışmasında, verimlilik ve kârlılık oranlarını arttırmak için bir boya firmasının lojistik biriminde, kara lojistiğinin önemli bir problemlerinden olan depo yeri seçimi ve rotalama problemlerine farklı yaklaşımlarla çözümler aramıştır. Çalışmada iki farklı model önerilmiş olup, ilk modelde şehirlerarası mesafeler dikkate alınarak çözüm yolu önerisi getirilirken ikinci modelde ise çevreye karşı farkındalığı arttırmak için dünyada hızla artan küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden kabul edilen sera gazlarından CO2 emisyon miktarlarını yolların eğimini dikkate alarak azaltan çözüm yolu önerisi sunulmuştur.

Pala ve Aksaraylı (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada servis araçlarıyla oteller ile havalimanı arası yolcu taşımacılığı yapan bir işletmenin toplam tur süreleri ile yolcuların ulaşımında geçirdiği ortalama sürenin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Araçlarda bulunan yolcu taşıma sınırlamaları nedeniyle problem 'Çok Amaçlı Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi' olarak ele alınmış ve çözüm için Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritması'ndan yararlanılmıştır. Çam ve Sezen (2018) Türkiye'de şehirlerarası yolcu taşıyan bir firmanın daha iyi yönetilebilmesi amacıyla diğer ARP'lerden farkı bir amaç fonksiyonu tanımlamıştır. Problemden, çalıştıkça para kazanabilen araçların, bekleme sürelerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

Ankara'da faaliyet gösteren bir personel servisi için Kapalı Uçlu Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi üzerinde çalışan Erdoğan (2019), Tamsayılı Doğrusal Programlama yönteminden yararlanarak çözüm önerilerinde bulunmuştur.

İl Sağlık Müdürlüğü ile birlikte yürütülen bir araştırmada Erzincan ili Evde Sağlık Hizmetleri biriminin bir haftalık gerçek ve mevcut rotaları inceleyen Çaybaşı (2019) mevcut rotaları sezgisel çözüm algoritması grubunda yer alan k en yakın komşu algoritması temel alarak Java ve PHP ile kodlayarak araştırmıştır. Babayigit ve Yıldız (2019) son yıllarda yaşanan ekonomik daralma sonucunda üretim maliyetlerini azaltmak ve kâr marjlarını arttırmak isteyen firmalar için önemli bir hedef haline gelen lojistik maliyetlerini düşürmelerini sağlamak amacıyla Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi'nin çözümü için en yakın komşu algoritması, Yapay Arı Koloni (YAK) ve 2-opt algoritmalarının birlikte kullanıldığı hibrit bir model önermiştir.

Türkiye'de akaryakıt dağıtım problemi için bir başlangıç çözümü önermeyi amaçlayan Çetin ve Özçakar (2019), Kompartmanlı Araç Rotalama Problemi (KARP) ile Tasarruf Algoritması (TA) ile bir yükleme algoritmasından entegre bir model oluşturmuştur. Önerilen yöntem mevcut veri setleri ile test edilmiş ve literatürdeki verilerle kıyaslandıktan sonra kabul edilebilir sonuçlar verdiğine kanaat getirilmiştir.

Eş zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi'ni (EZTDARP) temel alan Cömert vd. (2019) müşterilerin taleplerine göre dağıtım yaparken aynı zamanda toplama işleminin de yapıldığı bir araç rotalama problemi incelemiştir. Cömert vd (2020) çalışmasında ise bir boya fabrikasının Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en az maliyetli araç rotalarının belirlendiği Kapasiteli Araç Rotalama Problemi üzerine çalışmıştır. Clarke-Wright Kazançlar Algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma yardımıyla en az maliyetli rotalar belirlemeyi amaçlamıştır.

Çebi ve Yıldırım (2020) İstanbul'da faaliyet gösteren e-ticaret sitelerinden gelen kargo taleplerini toplayan ve sipariş veren müşterilere gönderimini sağlayan bir dağıtım şirketi için Araç Rotalama Problemi'ne yönelik NP-Zor problem sınıfında çözüm önerileri geliştirilen bir çalışma gerçekleştirmiştir. Süpürme Algoritmali 2-Opt Tur Geliştirici sezgiseli ve Google OR çözüm araçlarından Guided Local Search sezgiselinden yararlanılmıştır.

Yazgan vd. (2020) Bu çalışmada bir boya fabrikasının, Türkiye genelindeki müşterileri taleplerinin karşılayabilmesi için en az maliyetli araç rotalarının belirlendiği Kapasiteli Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Ele alınan rotalama problemi Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma ile çözülerek en az maliyetli rotalar elde edilmiştir. Gezin Satıcı Problemini En Yakın Komşu Yaklaşım Yöntemi ile çözmeyi amaçlayan Şenaras vd. (2020) MS Excel Visual Basic makro editöründen yararlanarak elde ettiği sonuçları paylaşmıştır.

Ocak ve Yapıcıoğlu (2020) seramik ve armatür grubunda faaliyet gösteren bir işletmenin İstanbul'daki deposundan şehir merkezi ve çevre illerdeki müşterilerine yapılan teslimatlar için günlük sevkiyat planlarının oluşturulması amacıyla bir ARP çalışması gerçekleştirmiştir. Bu amaçla işletmenin operasyonel kısıtları altında Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi esas alınarak çözüme ulaşımla yoluna gidilmiştir. Ankara Büyükşehir Belediyesi Yaşlı Hizmet Merkezi'nde evde temizlik ve kişisel bakım, bakım-onarım ve cami temizlik hizmetlerinde toplam kat edilen mesafenin en küçüklenmesi amacıyla bir ARP çalışması gerçekleştiren Yurdakul vd. (2020), bu problemin çözümünde tamsayılı programlama modelinden yararlanmıştır.

Yüksek rekabet ortamının getirdiği maliyetleri düşürmeye çalışan lojistik firmaları için bir planlama dönemi içinde sürekli olarak gelen müşterilerin, toplama ve dağıtım taleplerinin aynı zamanda ve araçla karşılandığı Dinamik Eş Zamanlı Toplamalı ve Dağıtmalı Araç Rotalama Problemi (DEZTDARP) modeli oluşturan Demirbilek (2021), yeni ve ziyaret edilmemiş eski müşterileri göz önüne alarak rotalama problemlerini her zaman periyodu için En Yakın Komşu Algoritması'ndan yararlanarak yeniden çözen bir çözüm metodu önerilmiştir.

Deprem olasılığı yüksek olan Kırıkkale ilinde geçici depo yeri seçim problemini üç aşamada ele alan Tezcan vd. (2021), depo yeri seçim ve dağıtım planlaması için bütünsel bir yaklaşım önermektedir. Birinci aşamada alternatif dört ilçe, ikinci aşamada alternatif altı lokasyon için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri kullanılarak altışar farklı sıralama sonucunu karşılaştırılmıştır. Çalışmada, geçici

deponun konumlandırılacağı yer belirlendikten sonra üçüncü aşamada yiyecek dağıtımının hangi rotalarla dağıtım yapacağı dört ayrı senaryo ile tespit edilmiştir.

4. UYGULAMA

Bu çalışmada, Isparta il merkezinde faaliyet gösteren bir un fabrikasının merkez deposundan Isparta, Denizli, Burdur, Afyonkarahisar ve Antalya il ve ilçe merkezlerindeki müşterilere teslimat seferleri için kullanılan araçların kapasite kullanımları iyileştirilirken, ulaşım maliyetlerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Araştırma kapsamında analizleri gerçekleştirilen işletme 1955 yılından beri Isparta il merkezinde faaliyet göstermektedir. Çalışmaya konu olan fabrikadan gerçekleştirilen mevcut dağıtım sistemi, işletmenin müşteri ilişkileri temel alınarak düzensiz bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Mevcut sistemde dağıtım çıkan araç rotalarında dağıtım noktalarının belirlenmesindeki temel kriter dağıtım yapılacak yerlerin birbirlerine yakınlığıdır. Bu durum, bazı rotalarda araç kapasitelerinin atıl ya da yetersiz kalmasına sebep olarak maliyetlerde artışa sebep olmaktadır. Dağıtımların düzensizliği sebebiyle firma tarafından sadece toplam yıllık dağıtım maliyetine ilişkin veri sağlanabilmiş olup, gerçekleştirilen toplam yıllık sefer sayısı ile yük miktarına ilişkin kayıtlara erişilememiştir.

Çalışma kapsamında mevcut dağıtım rotalarına ilişkin araç kapasitesi ve taşıma maliyetlerini iyileştirebilmek amacıyla ilk aşamada Kazançlar algoritması ile dağıtım rotaları belirlenmiştir. Ardından, araçların doluluk oranlarının iyileştirilmesi amacıyla Bulanık Mantık yardımıyla talep verileri bulanıklaştırılarak alternatif çözümler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak en uygun rota alternatiflerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.1. Araştırmanın Varsayımları

Çalışma kapsamında, işletmenin mevcut durumuna ilişkin kısıtlar göz önüne alınarak, ARP modellerini oluştururken aşağıdaki varsayımlar oluşturulmuştur:

- Ürün dağıtımı 21 tonluk 10 adet araç ile gerçekleştirilmektedir.
- Dağıtım için depodan ayrılan araçlar, dağıtım tamamlandıktan sonra tekrar depoya dönmektedir.
- Her müşteriye yalnızca bir dağıtım aracı gönderilmektedir.
- Güzergâhlar üzerinde dağıtılan ürün miktarları araçların kapasitesini aşamaz.
- Dağıtım yapılan müşteri sayısı 39'dur.
- Dağıtım, her hafta iki kez olmak üzere yıllık toplam 50 hafta gerçekleşmektedir.
- Her araç sadece bir sürücü tarafından kullanılmaktadır.
- Araçların rota mesafesi 765 km'yi geçemez ve sürücülerin dokuz saatten fazla araç kullanmaları yasaktır.
- Dağıtım sürelerinin hesaplanmasında bekleme süreleri dikkate alınmaz.

4.2. Araştırma Yöntemi

Tablo 1'deki çalışmada kullanılan veriler, çalışmaya konu olan fabrikalardan alınmıştır. Fabrikada üretimi yapılan ürünler Isparta, Burdur, Antalya, Afyonkarahisar ve Denizli illerine dağıtılmaktadır ancak çevre il ve ilçeler dışındaki düzensiz dağıtımlar çalışmaya dahil edilmemiştir. Isparta merkezdeki fabrikanın müşterileri fabrikadan ürün aldıkları için merkezin dağıtımı çalışma kapsamı dışındadır.

Tablo 1. Mevcut Yıllık Talep

Müşteri Kodları	Dağıtım Noktası	Yıllık Talep	Müşteri Kodları	Dağıtım Noktası	Yıllık Talep
1	Aksu	200	21	Kaş	450
2	Atabey	250	22	Side	530
3	Eğirdir	200	23	Manavgat	518
4	Gelendost	200	24	Serik	400
5	Gönen	225	25	Kemer	410
6	Keçiborlu	250	26	Belek	300
7	Senirkent	220	27	Burdur	1150
8	Sütçüler	190	28	Tefenni	140
9	Şarkıkaraağaç	150	29	Karamanlı	160
10	Uluborlu	275	30	Bucak	170
11	Yalvaç	200	31	Ağlasun	150
12	Yenişarbademli	140	32	Çeltikçi	130
13	Kepez	1160	33	Afyon	1400
14	Konyaaltı	1100	34	Sandıklı	400
15	Lara	1210	35	Dinar	500
16	Güllük	850	36	Denizli	1050
17	B. Onat	800	37	Acıpayam	320
18	Finike	350	38	Çivril	150
19	Kumluca	450	39	Serinhisar	130
20	Demre	432			

5. KAZANÇLAR ALGORİTMASI

Araç Rotalama Problemi'ni çözmek için yaygın olarak kullanılan sezgisel yöntemlerden biri 1964 yılında Clarke ve Wright tarafından geliştirilen Kazançlar Algoritması'dır. Bu yöntem, değişen sayıda araçla ilgili problemler için kullanılabilir. Bu yöntemde, seçilen başlangıç noktasından en yüksek kazancı sağlayan noktaya doğru hareket ederek rota belirlenmeye başlanırken varış noktası olarak depo temel alınmaktadır (Şahin ve Kulak, 2013, s. 146).

Bu yöntem ile, aşağıda (1) numaralı formül esas alınarak her bir araç için rota oluşturulur. Yöntemde her bir dağıtım noktasını ziyaret ederek elde edilecek olan kazançlar, i ve j düğümlerine iki ayrı araç yerine bir tek araç ile hizmet verilmesi durumunda elde edilecek maliyet azalması olarak ifade edilir. En Yakın Komşu Yöntemi'nde olduğu gibi, bu yöntemde de deponun konumu 0 olarak gösterilirken, müşterilerin konumları ise sıra sayılarla '1, 2, 3, ..., n' olarak tanımlanmaktadır (Kosif ve Ekmekçi, 2012, s. 43).

$$S_{ij} = x_{0i} + x_{0j} - x_{ij} \quad \forall (i,j), i \neq j \quad (1)$$

x_{0i} = Referans noktası ile i düğümü arasındaki mesafe,

x_{0j} = Referans noktası ile j düğümü arasındaki mesafe,

x_{ij} = i düğümü ile j düğümü arasındaki mesafe

Bu verilerden yola çıkarak, i - j rotasındaki kazançlar diğer bir ifade ile depodan, müşterilere gitmenin maliyeti Formül (1) ile bulunabilmektedir.

Kazançlar Algoritması yardımıyla müşterilerin ya da dağıtım noktalarının ikili eşleştirmeler sonucu elde edilen kazançlar hesaplandıktan sonra Kazançlar Matrisi oluşturulur. Ardından, başlangıç ve dönüş noktaları depo olacak şekilde her bir araç için kapasite kısıtının aşılmadığı en büyük kazanç bulunarak rotalar oluşturulmaya başlanır. En yüksek kazancı sağlayan müşteriler birleştirilerek oluşturulan rotalarda, iterasyon süreci birleştirilecek müşteri kalmayınca kadar sürdürülür (Çolak ve Güler, 2009, s. 180).

Tablo 2. Kazançlar Algoritması ile Elde Edilen Rotalara İlişkin Bulgular

Araç No.	Aracın Dağıtım Rotası	Toplam Yük (ton)	Toplam Mesafe (km)	Toplam Maliyet (Araç Başı, TL)
1	19-20-21	13,32	614	1065,15
2	29-28-37-39-36-38	19,5	451	906,40
3	14-25-18	18,6	479	940,36
4	22-23-24-26	17,48	369	807,07
5	8-4-11-9-12-1-31-32-30	15,3	532	1004,57
6	33-34	18	334	665,75
7	15-17	20,1	269	685,89
8	13-16	20,1	263	687,64
9	5-6-10-7-35-2-3	19,2	269	685,83
10	27	11,5	62	434,73
GENEL TOPLAM		173,1	3642	6818,24

Tablo 2’de çalışma kapsamında Kazançlar Algoritması ile elde edilen bulgular sunulmuştur. Görüldüğü üzere, mesafe ve talep kriterleri rotaların oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, Afyon bölgesi ile Antalya iline bağlı Manavgat yöresi gibi az sayıda dağıtım noktası bulunan uzak mesafeli müşteriler ile Antalya kent merkezinde yer alan yüksek talepli bazı dağıtım noktaları rotaların şekillenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu yöntem sonucunda tek bir aracın dağıtım yapması gereken Burdur ili talep miktarı 11,5 olarak kalması ve kalan 9,5 tonluk araç kapasitesinin diğer talep birimlerine yetecek miktarda olmaması sebebiyle 10 numaralı dağıtım aracının yaklaşık %45 atıl kapasite ile çalışması gerekmektedir. Toplam taşınan 173,1 tonluk yük miktarı ise toplam araç kapasitesinin yaklaşık %82’sine karşılık gelmektedir.

6. BULANIK KAZANÇLAR YÖNTEMİ

İlk olarak Zadeh tarafından geliştirilen Bulanık Mantık, günlük hayatta kullanılan değişkenlere bir üyelik derecesi atayarak bir olayın meydana gelme hızını belirler. Günlük hayatta bir şeyi açıklarken, olayları açıklarken ve daha birçok durumda kullanılan ifadeler bulanıktır. Örnekler arasında yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, hızlı, yavaş ve diğer birçok sözlü ifade yer alır. Kişinin yaşına göre o kişi için “yaşlı”, “orta yaşlı”, “genç”, “çok yaşlı” veya “çok genç” terimlerinden biri kullanılabilir (Altaş, 1999, s. 80-82).

Klasik mantığın 0-1 önermesinden farklı olarak, bulanık mantık, küme elemanlarını derecelendirerek üç veya daha fazla önerme oluşturur. Örneğin, yaşla ilgili önermeler kişilerin sadece genç veya yaşlı olup olmadığını değil, aynı zamanda kaç yaşında veya ne kadar genç olduğunu da gösterebilir (Çobanoğlu, 2000, s. 2).

Bir bulanık küme, bir kümenin üyelik derecesini temsil eder ve küme, üyelik değeri ile tanımlanır. Geleneksel küme kavramında, eleman kümenin ya üyesidir ya da değildir. Bulanık mantıkta, küme μ üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değişir. 0 kümeye ait olmamayı, 1 ise kesin olarak o kümenin üyesi olmayı göstermektedir. Küme aitlik derecesi üçgen, yamuk gibi standart fonksiyonlarla tanımlanabildiği gibi çok farklı fonksiyonlarda oluşturulabilir (Topuz vd., 2015, s. 2).

Bulanık kümeler, küme elemanlarının üyelik derecelerine göre sıralanması ve matematiksel olarak üyelik fonksiyonu tanımlamak şeklinde iki yöntemle gösterilmektedir. Çok sayıda üyelik fonksiyonu tipi vardır. Bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonu esas alınmıştır:

Bir üçgen üyelik fonksiyonu α , β ve λ olarak üç parametre ile tanımlanmaktadır (Mahmood, 2010, s. 4- 6).

$$\mu(x; \alpha, \beta, \lambda) = \begin{cases} \alpha \leq x \leq \beta \text{ ise } (x-\alpha) \div (\beta-\alpha) \\ \beta \leq x \leq \lambda \text{ ise } (\lambda-x) \div (\lambda-\beta) \\ x > \lambda \text{ veya } x < \alpha \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (2)$$

Formül (2)’ de görülen α en küçük değer, β en olası değeri ya da alt sınırı, λ ise en büyük değeri ya da en üst sınırı ifade etmektedir.

Bulanık olmayan küme gibi, bulanık olmayan sayı bir nokta ile tanımlanır ve bulanık olmayan sayının üyelik derecesi ya 0 ya da 1'dir. Bulanık sayı en az bir aralıkta tanımlanır ve [0,1] kapalı aralığı için herhangi bir değer alır. Bulanık sayı kesin bir değere sahip değildir ancak alınabilecek değerler ve bu değerlerin üyelik derecesi görülebilmektedir.

Bir üçgensel bulanık sayısı, gerçek sayıların sıralı üçlüsü gibidir. Ancak bulanık sayılar ile sıralı üçlüler arasındaki fark, elemanların minimumdan maksimuma doğru yazılmasıdır. Her sayı üç bileşenden oluşur, bu bileşenlerden birincisi minimum değeri, ikinci bileşen optimal değeri veya ara değeri ve üçüncü bileşen maksimum değeri gösterir. Üçgensel bulanık sayılar bir sayının komşuluğu olarak düşünülebilir. Bu durumda, sayıların üst ve alt sınırları en olası değerlerden eşit uzaklıktadır (Göksu, 2008, s. 12).

Uygulama için kullanılan üçgen üyelik fonksiyonu için en küçük değer $\alpha=1$, en olası değer $\beta=3.5$, ve en büyük değer $\lambda=15$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak müşteri talep değerleri bulanıklaştırıldıktan sonra Kazançlar Algoritması'na yönelik analizler yeniden gerçekleştirilerek sonuçlar mevcut bulgular ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. Taleplerin Bulanıklaştırılması Sonucu Kazançlar Algoritması ile Elde Edilen Rotalara İlişkin Bulgular

Araç No.	Araçın Dağıtım Rotası	Toplam Yük (ton)	Toplam Mesafe (km)	Toplam Maliyet (Araç Başı, TL)
1	19-20-21	16,06	582	1065,15
2	29-28-37-39-36	19, 79	407	853,12
3	14-25-18	20,87	479	940,36
4	22-23-24-26	20,89	369	807,07
5	3-8-4-11-9-12-1-31-32-30	20,22	444	897,84
6	38-33-34	20,73	398	842,22
7	15-17	20,95	269	685,89
8	13-16	20,95	263	678,64
9	5-6-10-7-35-2	20,94	231	639,85
10	27	11,8	62	434,73
GENEL TOPLAM		193,2	3504	7844, 87

Tablo 3'te müşteri taleplerinin bulanıklaştırılması sonucu Kazançlar Algoritması ile elde edilen yeni rotalara ilişkin bulgular yer almaktadır. Bulanıklaştırılan müşteri taleplerinde 20,1 tonluk bir artış sağlanabilmesi ile birlikte toplam mesafe 4036 km, araç başı toplam maliyet ise 8174,48TL olarak bulunmuştur. O yüzden, araç kapasite kullanım oranı %92'ye çıkarken, toplam mesafede ise 138km'lik bir kısalma söz konusu olmuştur.

Tablo 4. Uygulama Sonucu Bulguların Karşılaştırılması

	Mevcut Durum	Kazançlar Algoritması	Bulanık Kazançlar Yöntemi
Toplam Dağıtım Maliyeti (TL)	950.000	681.824	784.487
Toplam Yük (ton)	Belirsiz	17.310	19.323
Toplam Sefer Sayısı	Belirsiz	100	100

Tablo 4'te görüldüğü üzere her ne kadar mevcut durumda dağıtıma çıkan araçların toplam taşıdıkları yük ve sefer sayıları bilinmese de şirket tarafından paylaşılan toplam dağıtım maliyeti ile karşılaştırıldığında gerek Kazançlar Algoritması gerekse Bulanık Kazançlar Yöntemi ile elde edilen maliyet değerlerinin şirket açısından önemli maddi kazanımlar sağlayabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, müşteri talebinin bulanıklaştırılması sayesinde elde edilen değerler esas alındığında araç kapasite kullanımının iyileştirilerek %92'ye ulaştırılabilmesi söz konusu olabilmektedir.

7. SONUÇ

Araç Rotalama Problemi on yıllardır gerek akademik gerek lojistik sektörü açısından önemini koruyan araştırma alanı olmayı sürdürmektedir. Taşımacılık maliyetlerindeki artış, e-ticaretin yaygınlaşması, küresel tedarik zinciri operasyonlarının önemli boyutlara ulaşması, uluslararası düzeyde çevre korumaya yönelik önlemler ile müşteri ve paydaşların beklentileri gibi çok sayıda unsur işletmelerin dağıtım planlaması konusunda hassasiyetlerini artırmalarına yönelik gelişmeler olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, dağıtım rotalarının iyileştirilmesi suretiyle araç kapasite kullanım oranını artırarak maliyetleri düşürmek isteyen bir üretici işletme için Kazançlar Algoritması ile dağıtım rotaları oluşturulduktan sonra, kapasite kullanım oranını iyileştirmek için ise Bulanık Mantık'tan yararlanılarak rotalar yeniden oluşturulmuştur.

Elde edilen sonuçlar, rotaların ARP yöntemleri ile belirlenmesi durumunda, firma tarafından gerçekleştirilen dağıtım planı ile karşılaştırıldığında araç kapasite kullanımı ve dağıtım maliyetlerinde önemli iyileştirmeler gerçekleştirilebileceği ortaya konulmuştur. Bulanık Mantık ile sabit talep kısıtının esnetilmesi durumunda kapasite kullanım oranı önemli oranda artış gösterebileceği de bulgular arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada mevcut koşullar altında dağıtımlarını sürdüren işletme için Kazançlar Algoritması ve Bulanık Mantık yaklaşımlarından yararlanılmış olması çalışmanın temel kısıtı olarak kabul edilebilir. Diğer sezgisel ARP yöntemlerinden yararlanılarak elde edilecek olan sonuçlar mevcut durum ve bulgular ile karşılaştırılarak firma açısından en uygun araç rotalama yönteminin hangisi olduğu belirlenebilir. Ayrıca, pratikte talep dışındaki firmanın diğer kısıtlarının esnetilebilmesi durumunda elde edilebilecek olan bulgular da mevcut ve diğer ARP yöntemleri ile incelenebilir.

KAYNAKÇA

- Atlaş, H., İ. (1999). Bulanık mantık: Bulanıklılık kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e. Bilesim Yayıncılık A.Ş.*, S.2. 80- 85.
- Atmaca, E. (2012). Bir kargo şirketinde araç rotalama problemi ve uygulaması. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Dergisi*, S.2 (5), 12- 27.
- Asghari, M., & Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J. (2020). New Advances in Vehicle Routing Problems: A Literature Review to Explore the Future. *Green Transportation and New Advances in Vehicle Routing Problems*, 1-42.
- Asghari, M., & Al-e, S. M. J. M. (2021). Green vehicle routing problem: A state-of-the-art review. *International Journal of Production Economics*, 231, 107899.
- Babayiğit, B. ve Yıldız, K. (2019). Hibrit Bir Genetik Algoritma Yaklaşımı Kullanarak Araç Rotalama Probleminin Modellenmesi Bildirisi, *4th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)*, 1-10.
- Bayzan, Ş. (2005). Araç potalarının en kısa yol algoritmaları kullanılarak belirlenmesi ve net ortamında simülasyonu Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Pamukkale Üniversitesi.
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313.
- Campbell, A. M., & Wilson, J. H. (2014). Forty years of periodic vehicle routing. *Networks*, 63(1), 2-15.
- Cömert, S., Yazgan, R. (2019). Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(2), 107 – 117.
- Cömert, S. Yazgan, R. Ve Kılıç, E. (2020). Araç rotalama probleminin sezgisel algoritmalar ile çözülmesi: Bir boya fabrikasında uygulama, *Journal of Turkish Operations Management*, 4 (2) , 549-563.
- Cordeau, J. F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W., & Vigo, D. (2007). Vehicle routing. *Handbooks in operations research and management science*, 14, 367-428.
- Çaybaşı, G. (2019) Evde sağlık hizmetleri araç rotalama problemi için uygulama tasarımı önerisi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane.
- Çebi, S. ve Yıldırım B. (2020). Kapaite kısıtlı araç rotalama problemi için sezgisel yöntemler: E- ticaret tedarikçilerine yönelik bir uygulama. *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 185 – 206.
- Çetin, O. ve Özçakar, N. (2019) Akaryakıt dağıtımında araç rotalama problemi için bir başlangıç çözümü, *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(2), 461- 474.
- Çobanoğlu, B. (2000) Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi. *Niksar MYO /GOP Üniversitesi*, 1- 56.
- Çolak, S., Güler, H. (2009). Dağıtım rotalama optimizasyonu için meta sezgisel bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(11), 171- 190.

- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- Demirbilek M. (2021). Dinamik eş zamanlı toplamalı ve dağıtım araç rotalama problemi için statik periyodik çözüm stratejisi, *Acta INFOLOGICA (ACIN)*, 5(1),1-12.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483.
- Elshaer, R., & Awad, H. (2020). A taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106-242.
- Erdoğan S. (2019). Tam sayılı doğrusal programlama ile araç rotalama problemi çözümü ve bir servis ağında uygulaması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Filiz E. (2017). Araç Rotalama Probleminde Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı. *Journal of Transportation and Logistics*, 2(2), 49- 64.
- Fisher, M. (1995). Vehicle routing. *Handbooks in operations research and management science*, 8, 1-33.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R. (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88(1), 3-12.
- Göksu, A. (2008). Bulanık analitik hiyerarşik proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması. Yayınlanmış Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Isparta.
- Havuç T. (2018). Yeşil depo yeri belirleme ve araç rotalama problemlerinin GA ve sezgisel metotlarla çözülmesi: Boya imalat firmasında uygulanması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Irnich, S., Toth, P., & Vigo, D. (2014). Chapter 1: The family of vehicle routing problems. In *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition* (pp. 1-33). Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Jozefowicz, N., Semet, F., & Talbi, E. G. (2008). Multi-objective vehicle routing problems. *European journal of operational research*, 189(2), 293-309.
- Keskintürk T., Topuk N. ve Özyeşil O.(2015). Araç rotalama problemleri ile çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması ve bir uygulama. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77- 107.
- Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2016). Thirty years of heterogeneous vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 249(1), 1-21.
- Konstantakopoulos, G. D., Gayialis, S. P., & Kechagias, E. P. (2020). Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: A literature review and classification. *Operational research*, 1-30.
- Kosif B. ve Ekmekçi, İ. (2012). Araç rotalama sistemleri ve tasarruf algoritması uygulaması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 21, 41- 51.
- Lahyani, R., Khemakhem, M., & Semet, F. (2015). Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition. *European Journal of Operational Research*, 241(1), 1-14.
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European journal of operational research*, 59(3), 345-358.
- Mahmood M. (2010). Bulanık mantık kullanılarak trafik kontrolünün tasarımı ve uygulaması. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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.
- Ocak D. ve Yapıcıoğlu H. (2020). Merkezi bir depo için günlük sevkiyat planlaması. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler*, 8(2), 266 – 280.
- Pala O. ve Aksaraylı M. (2018). Çok amaçlı kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çözümünde bir karınca kolonisi optimizasyon algoritması yaklaşımı, *Alphanumeric Journal*, 1(9), 37- 48.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.

- Potvin, J. Y. (2009). State-of-the art review—Evolutionary algorithms for vehicle routing. *INFORMS Journal on computing*, 21(4), 518-548.
- Şahin Y. ve Kulak O. (2013). Depo operasyonlarının planlanması için genetik algoritma esaslı modeller. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 3(3), 141- 153.
- Tan, S. Y., & Yeh, W. C. (2021). The Vehicle Routing Problem: State-of-the-Art Classification and Review. *Applied Sciences*, 11(21), 10295.
- Tezcan B., Alakaş H. M., Özcan E. ve Eren T. (2021). Afet sonrası geçici depo yeri seçimi ve çok araçlı araç rotalama uygulaması: Kırıkkale ilinde bir uygulama. *JOURNAL of POLYTECHNIC*.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). An overview of vehicle routing problems. *The vehicle routing problem*, 1-26.
- Topuz V., Akbaş A. ve Tektaş M. (2015). Boğaz köprüsü yoluna katılım noktalarında trafik akımlarının bulanık mantık yaklaşımı ile kontrolü ve bir uygulama örneği. *Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler MYO*, 1- 5.
- Yurdakul K., Alakaş H. M., Eren T. ve Gür Ş. (2020). Yaşlılara evde bakım hizmetinde bulunan ekiplerin rotalanması: Büyükşehir belediyesinde bir uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1): 206-223.