

PAPER DETAILS

TITLE: YEMEK SIPARISLERI DAGITIMI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR OPTİMİZASYON
MODELI

AUTHORS: Yusuf Sait Türkan,Gökçenur Parlak

PAGES: 261-274

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3340467>



DOĞUŞ ÜNİVERSİTESİ DERGİSİ

DOGUS UNIVERSITY JOURNAL

e-ISSN: 1308-6979

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/doujournal>

YEMEK SİPARİŞLERİ DAĞITIMI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR OPTİMİZASYON MODELİ

AN OPTIMIZATION MODEL FOR THE FOOD DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM

Yusuf Sait TÜRKAN⁽¹⁾, Gökçenur PARLAK⁽²⁾

Öz: Günümüzde restoranlar, gelirlerinin önemli bir kısmını çevrimiçi yemek siparişlerinden elde etmektedir. Siparişlerin büyük bir kısmı motorlu kuryeler aracılığıyla müşterilere ulaştırılmaktadır. Siparişlerin tanımlanan süreyi aşmadan, en hızlı şekilde müşteriye teslim edilmesi, müşteri memnuniyetini direkt etkilerken, siparişin en ekonomik yöntemle müşteriye ulaştırılması da firmanın karlılığı açısından önem arz etmektedir. Siparişlerin farklı bölgelerdeki kuryelere atanma kararları ile kurye rotalarının oluşturulması restoranlar açısından sürekli karşılaşılan bir optimizasyon problemidir. Bu çalışmada bir kurye araç rotalama problemi incelenmiştir. Restorana gelen gerçek zamanlı siparişler ile bölgedeki kuryeler dikkate alınarak, problemin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Gerçek hayat probleminde, teslim süresi ve taşıma ile ilgili kısıtlar modele dahil edilmiştir. Ele alınan problem, kuryelerin dış kaynak olarak kullanıldığı ve siparişlerin aynı restorandan toplandığı, tek dağıtım merkezli, kapasite ve zaman kısıtlı ve açık uçlu bir rotalama problemidir. Oluşturulan tamsayı programlama modelinin çözümü ile kurye taşıma maliyetlerinin en düşük olduğu optimum bir çözüm elde edilmiştir. Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri ile farklı senaryolardaki kurye sayılarının sipariş teslim süresi ve dağıtım maliyetine etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurye Rotalama Problemi, Yemek Teslimatı, Tamsayı Programlama

Abstract: Today, restaurants derive a significant portion of their income from online food orders. Most of the orders are delivered to customers via motor couriers. While delivering the orders to the customer in the fastest way without exceeding the defined time period directly affects customer satisfaction, delivering the order to the customer in the most economical way is also important for the profitability of the company. Assigning orders to couriers in different regions and creating courier routes is a common optimization problem for restaurants. In this study, a courier vehicle routing problem is considered. A mathematical model of the problem is constructed by considering the real-time orders coming to the restaurant and the couriers in the region. In the real life problem, delivery time and transportation constraints are included in the model. The problem addressed is a single distribution center with capacity and time constraints and an open routing problem where couriers are outsourced and orders are picked up from the same restaurant. With the solution of the integer programming model, an optimum solution with the lowest courier transportation costs was obtained. Sensitivity analyses were performed to examine the effects of the number of couriers in different scenarios on order delivery time and distribution cost.

⁽¹⁾ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü; ysturkan@iuc.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7240-183X

⁽²⁾ Medtronik Medikal Teknoloji Tic. Ltd. Şti.; gokceparlakk@gmail.com, ORCID: 0009-0006-2333-6713

Geliş/Received: 17-08-2023; Kabul/Accepted: 28-10-2023

Keywords: *Courier Routing Problem, Food Delivery, Integer Programming*

JEL: *C61, C63, L81*

1. Giriş

Günümüzün rekabetçi e-ticaret ortamında, siparişlerinin ne zaman teslim edileceğine dair sağlam taahhütler bekleyen müşteriler için teslimat hızı ve teslimat kalitesi büyük bir öneme sahiptir. Bununla birlikte teslim edilmesi gereken siparişlere müşteri tarafından son anda ek siparişler eklenebilmekte ve teslimat şartları da dakikalar içinde değişebilmektedir. Teslimat ve çevre koşulları değiştikçe teslim edilmesi gereken ürün ve hizmetle ilgili problemler de artmaktadır. Teslimat maliyetleri ve teslim süresi kısıtları, işletmelerin belirli aralıklarla rotalama çözümlerini gözden geçirilmesini ve gerektiğinde problemlerin yeniden modellenmesini gerektirmektedir. Firmalar teslimat maliyetlerini azaltabilmek ve müşteri memnuniyetini tesis edebilmek için matematiksel ve sezgisel yöntemler yardımıyla rotalamada optimum çözümler aramaktadır. Teslimat maliyetlerinin azaltılmasına yönelik rotalama çözümleri üzerinde sıklıkla çalışılan alanlarından biri yemek siparişleri teslimatıdır. E-ticaretin değişen şartları ve küreselleşen dünyadaki tüketim alışkanlıklarının farklılaşması ile birlikte yemek siparişleri teslimatına ait problemler de farklılaşabilmekte ve özel problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu kapsamda restoranların yemek sipariş teslimatı, gıda teslimatı içerisinde kendine ait özel amaçları ve kısıtları bulunan bir çalışma alanıdır.

Yemek teslimatı son yıllarda en hızlı şekilde büyüyen iş alanlarından biridir. 2023 yılında pazar hacminin 0,63 trilyon ABD doları olması beklenirken, müşteri başına ortalama gelirin 449 ABD doları olacağı tahmin edilmektedir. Statista (2023) çevrimiçi yemek teslimat raporuna göre, gelişen e-ticaret kanallarıyla birlikte, 2024 yılı için pazarın %22,2 büyüme göstereceği, 2027 yılında ise yemek sipariş platformlarını kullanan müşteri sayısının 2,45 milyar kişiye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Yeni pazarlar ve artan müşteri talepleri, yemek teslimatında çok önemli operasyonel problemlere yol açmıştır. Yemek teslimat platformları daha fazla müşteri çekebilmek, daha yüksek kar elde etmek ve pazar payını artırabilmek adına daha kısa sürede, daha taze yemekleri teslim etmeyi vaat etmektedir. Bununla birlikte özellikle yoğun saatler olarak ifade öğle ve akşam saatlerinde yüksek talebin, vaat edilen süre ve kalitede karşılanabilmesi oldukça zor bir hal almıştır (Jahanshahi vd., 2022: 1). Bu durum, teslimat yapan araçların ya da kuryelerin müşteri ihtiyaçlarını-kısıtları karşılayacak şekilde en uygun atama ve rotalamasının yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada bir restorana çevrimiçi platformlardan gelen yemek siparişlerinin bölgedeki kuryelere atanması ve kuryelerin optimum rotalarının belirlenmesi problemine ait bir matematiksel model geliştirilmiştir. Müşteri yemek teslimine ait maksimum kabul süresi ve kurye taşıma kapasitesi gibi farklı kısıtlar da modele eklenmiştir. Böylece gerçek hayat problemine yakın seviyede bir tamsayılı programlama modeli üzerinde çalışılarak en düşük kurye taşıma maliyetine ait optimum çözüm elde edilmiştir. Çalışmada incelenen problemde kuryeler dış kaynak olarak kullanılmıştır. İncelenen problem, siparişlerin aynı restorandan alınarak müşteriyeye ulaştırıldığı ve kuryelerin tekrardan restorana dönmek durumunda olmadığı, tek dağıtım merkezli, kuryelere ait kapasite kısıtlının ve sipariş teslim sürelerine ait süre kısıtlarının olduğu açık uçlu bir rotalama problemidir. Çalışmada belirli bir süre aralığı içinde gelen siparişlerin tamsayılı programlama modelinin

çözümüyle en düşük dağıtım maliyetinin elde edilmesinin yanı sıra, duyarlılık analizleriyle, farklı saatlerde oluşabilecek siparişlerdeki dalgalanmaların ya da kurye sayısındaki değişimlerin dağıtım maliyetleri ile teslim sürelerine etkilerinin de incelenebileceği gösterilmiştir.

2. Literatür Taraması

Literatürde e-ticaret alanında kurye, kargo görevlisi, servis aracı gibi araç ve dağıtıcılara ait atama ve rotalama çalışmaları incelendiğinde çok sayıda çalışmanın var olduğu görülmektedir. Araç rotalama problemi (ARP), ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından bir yakıt dağıtım probleminde ele alınmıştır (Dantzig ve Ramser, 1959). ARP, rota maliyeti, taşımacılık maliyeti, kat edilen toplam mesafe, ihtiyaç duyulan araç sayısı, seyahat süresi, araç yüklemesi gibi farklı amaçları en küçükleme çalışan tamsayı bir optimizasyon problemidir (Jairo vd., 2015). ARP çok fazla sayıda farklı türe sahip olmakla birlikte en bilinen problem türleri şunlardır (Jairo vd. 2015; Kumar ve Panneerselvam, 2012);

- Topla Dağıt Araç Rotalama Problemleri
- Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
- Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
- İki Aşamalı Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
- Çok Rotalı Araç Rotalama Problemi
- Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri
- Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemleri

Araç rotalama problemlerinde çözüm olarak çok farklı çözüm yaklaşımları söz konusu olabilmektedir. Bu kapsamda literatür incelendiğinde ARP için sıklıkla deterministik modeller (Battarra vd., 2014; Archetti vd., 2014; Baldacci vd., 2013; Qureshi vd., 2009), sezgisel yöntemler (Novoa-Flores vd., 2018; Keskinürk vd. 2015; Wei vd., 2015) ve meta-sezgisel yöntemlerin (Xia vd., 2018; Zhang vd., 2017; Korablev vd., 2016) kullanıldığı görülmektedir. ARP içinde değerlendirilen sipariş teslimleri için araç/kurye atama ve araç rotalama problemleri de literatürde önemli bir yer teşkil etmektedir. Araç/kurye atama probleminde siparişlerin araçlara ya da kuryelere tahsisi gerçekleştirilirken (Chen vd., 2019; Masoud ve Jayakrishnan, 2017), rotalama problemlerinde amaç fonksiyonuna en uygun olan, kurye/araç rotası belirlenmektedir (Toth ve Vigo, 2002). Yemek siparişlerinin teslimatı problemlerinde atama ya da rotalama ayrı ayrı ele alınabildiği gibi aynı problemde hem atama hem de rotalama söz konusu olabilmektedir. Yemek teslimatındaki rotalama problemi, doğasındaki belirsizlikler (kurye sayısı, sipariş geliş aralıkları, teslimat süreleri, trafik yoğunluğu vb.) nedeniyle dinamik araç rotalama problemleri içerisinde ifade edilmekle birlikte stokastik problemlerin modelleme ve çözüm zorluğu nedeniyle, problem için çok sayıda farklı yaklaşım geliştirilmiştir.

Literatürde yemek siparişlerinin teslimatıyla ilgili yapılan atama ve rotalama çalışmaları incelendiğinde bu çalışmalardan bir kısmında klasik matematiksel metotlardan yararlandığı bir kısmında ise sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca yakın zamanda yapılan çalışmalarda ise makine öğrenme, derin öğrenme, pekiştirmeli öğrenme gibi yapay zekâ tekniklerinden yararlanan çalışmaların arttığı görülmektedir. Son yıllarda yemek siparişleri teslimatları ile ilgili olarak yapılan çalışmalar Tablo 1'de gösterildiği şekilde sınıflandırılabilir (Jahanshahi vd., 2022: 4).

Tablo 1. Literatürde Yemek Teslimatı ile Güncel Çalışmalardaki Amaçlar ve Kullanılan Çözüm Yaklaşımları (Jahanshahi vd., 2022)

Referans	Amaç			Çözüm Yaklaşımı			
	AR	SS	YT	TP	PÖ	DÖ	BDP
Al-Kanj vd., 2020		✓					✓
Chen vd., 2022		✓				✓	
Chen vd., 2019		✓			✓		
Lin vd., 2018		✓				✓	
Peng vd., 2019	✓					✓	
Reyes vd., 2018			✓	✓			✓
Steever vd., 2019			✓	✓			
Ulmer vd.,2021			✓				✓
Ulmer and Thomas, 2020	✓						✓
Ulmer vd., 2019	✓						✓
Ulmer vd., 2019		✓					✓
Yildiz and Savelsbergh, 2019			✓	✓			
Zhou vd., 2019		✓				✓	
Jahanshahi vd., 2022			✓			✓	

AR:Araç Rotalama, **SS:**Sipariş Sevkiyatı, **YT:**Yemek Teslimatı, **TP:**Tamsayı Programlama, **PÖ:**Pekiştirmeli Öğrenme, **DÖ:**Derin Öğrenme, **BDP:**Benzetimsel Dinamik Programlama

Konu ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, yöntem olarak tamsayı programlamanın kullanıldığı çalışmalarda sipariş sevkiyatı, araç rotalama ve yemek teslimatı amaçları altında süre minimizasyonu, birim zamanda teslim edilen sipariş sayısı maksimizasyonu, kurye verimliliğinin maksimize edilmesi, yakıt maliyetinin minimize edilmesi gibi farklı amaç fonksiyonlarının olduğu görülmektedir. Çalışmalardan bir kısmında tek amaçlı modellerden yararlanılırken bazı modeller birden fazla amacın olduğu modellerdir. ARP'ne ait problem türleri incelendiğinde, çalışmada ele alınan problemin kat edilen toplam mesafenin en küçüklenmesine çalışılacak, tek amaçlı, tek depolu, kapasite ve zaman kısıtlı ve açık uçlu bir problem olduğu görülmektedir.

3. Problemin Tanımı

İncelenen problem bir restorana gelen belirli bir zaman dilimindeki siparişlerin, bölgedeki uygun konumlu kuryeler dikkate alınarak atanmasını kapsamaktadır. Buna göre teslimat maliyetlerinin azaltılması adına toplam mesafe minimizasyonu amaçlanacak şekilde en uygun atamanın ve kurye rotasının belirlenmesine çalışılmıştır. Problemin çözümü için bir tek amaçlı karmaşık tamsayı modeli oluşturulmuştur. Probleme müşteri talep verisi restorana gelen on dakikalık siparişlerin toplamıdır. Buna göre oluşturulan modelin her on dakika toplanan siparişler için ayrı ayrı çalıştırılması planlanmıştır.

Zaman diliminde 9 müşteri siparişi geldiği için en fazla dokuz kuryeye kadar atama gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle dağıtım yapılacak bölgede, restorana en yakın, sipariş almaya uygun 9 kurye seçilmiştir. Müşteri ve kuryelere ait lokasyon noktalarının gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Sistemdeki 9 kuryenin dağıtım merkezi olarak ifade edilen restorana olan mesafeleri sırasıyla 3, 15, 6, 9, 11, 4, 14, 15 ve 16 dakikadır. Noktalar arası mesafeler ise Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre gelen siparişlerde restorana en uzak olan müşteriler sırasıyla 7, 3 ve 2 numaralı müşteriler iken restorana en kısa süredeki müşteri ise 4 numaralı müşteridir. Araç rotalama problemlerini çözmenin zorluğu göz önüne alındığında, çözüm yaklaşımını daha kullanışlı kılmak için problem çözüme tekniklerine birçok basitleştirici varsayım dahil edilmektedir.

Çalışmadaki varsayımlar şunlardır;

- i. Tek bir dağıtım merkezindeki talepleri karşılama dikkate alındığı için araç rotalama problemi tek depolu ARP olacaktır.
- ii. Kuryeler dış kaynaklı kullanıldığı için rotalarındaki son müşteriyi ziyaret ettikten sonra araçlar dağıtım merkezine dönmeyip son müşteri noktasında görevlerini bitireceklerdir. Dolayısıyla, ele alınan problem açık uçlu bir araç rotalama problemi olacaktır.
- iii. Sistemde bulunan tüm kuryelerin yük taşıma kapasiteleri eşittir. Dolayısıyla, kullanılan araç filoları homojendir.
- iv. Probleme kuryelerin buldukları noktadan dağıtım merkezine olan uzaklıkları ve dağıtım merkezi de dahil olmak üzere tüm noktalar arası uzaklıklar bilinmektedir.
- v. Tanımlı zaman aralığında toplanan müşterilerin siparişlerinin aynı anda dağıtıma çıkması gerektiği varsayılmaktadır.
- vi. Kurye kapasiteleri dikkate alınarak yalnızca tek bir restorandan olan siparişler sevk edilmektedir.
- vii. Tüm müşteri siparişleri aynı zamanda (t_0 'da) dağıtıma çıkmaya hazır olur.
- viii. Siparişler dağıtıma hazır oldukları andan itibaren kuryeler dış kaynaklı kullanılır. (Dolayısıyla kuryelerin dağıtım merkezine olan uzaklıkları zaman kısıtına dahil olur.)
- ix. Her kurye ortalama 0.4 km/dakika diğer bir ifadeyle 24 km/saat hızla hareket eder.

Probleme ait kısıtlar ise şunlardır;

- i. Tüm müşterilerin talepleri karşılanmak zorundadır.
- ii. Kuryelere talep veya müşteri atamaları kapasiteyi aşmayacak şekilde gerçekleştirilmelidir.
- iii. Her müşteri sadece bir kez ziyaret edilebilir.
- iv. Her müşteriyi sadece bir kurye ziyaret edecektir.
- v. Rotaya atanacak her kuryenin müşteriyi ziyaret etmeden önce dağıtım merkezine uğraması gerekir.
- vi. Her müşteri talebinin teslimat zamanı 45 dakikayı geçmeyecek şekilde rotalar oluşturulmalıdır.

4. Matematiksel Model

Optimizasyon bir problemde tanımlı kısıtlar altında, amaç fonksiyonunun alabileceği en iyi değere ulaşmak adına problemdeki karar değişkenlerinin alacağı değeri ya da değerleri bulma-hesaplama işlemidir. Araç rotalama problemlerinde rotada kat edilen toplam mesafesinin, rota süresinin, araç sayısının, araç yüklemesinin enküçüklenmesi gibi farklı amaçlar söz konusu olabilmektedir. Çalışmamızda ele alınan problemde kuryelerin kat ettikleri toplam mesafenin minimize edilerek maliyetin en küçüklenmesi için tek amaçlı bir karmaşık tam sayı modeli oluşturulmuştur. Tüm değişkenlerin tamsayı olması gereken problemler için kullanılan karmaşık tam sayılı programlama (mixed integer programming - MIP), talep ve kapasite gibi kısıtları göz önünde bulundurarak karmaşık bir organizasyonun operasyonel verimliliğini optimize etmek için sıklıkla yararlanılan bir modeldir. MIP, modellerdeki ikili (binary) değişkenler ile bir işlemin yapılıp yapılmayacağını, örneğin rota oluşturulup oluşturulmayacağını belirleyen kararlar olabilir.

Oluşturulan modelde oluşturulan matematiksel modele ait amaç fonksiyonu şu şekildedir;

$$\text{Min } Z = 0.4 * \left(\sum_{r=1}^N \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N x_{rij} * c_{ij} + \sum_{r=1}^N y_r * p_r \right) \quad (1)$$

Kuryelerin başlangıç durumundaki konumlarından dağıtım merkezine olan mesafeleri de dahil olmak üzere tüm noktalar arası kat edilen toplam mesafenin minimize edilmesini sağlamaktadır.

Modelde yukarıda ifade edilen kısıtlara ait denklemler ise şunlardır;

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=0}^N x_{rij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (2)$$

Denklem 2 tüm müşterilere tek sefer aynı zamanda tek bir kurye ile gidilmesi gerektiği ile ilgili kısıtı ifade etmektedir.

$$\sum_{j=1}^N x_{r0j} \leq 1 \quad \forall r = 1, \dots, N \quad (3)$$

Denklem 3 sistemdeki her kuryenin/aracın, restorandan/dağıtım merkezinden çıkış zorunluluğu olmadığını gösteren kısıttır (atama yapılmaması durumunda).

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N x_{r0j} \geq L \quad (4)$$

Denklem 4, dağıtım merkezinden müşteri taleplerini karşılamak için minimum çıkması gereken araç sayısını gösterir.

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N x_{rij} = \sum_{i=0}^N x_{rij} \quad \forall j, = 1, \dots, N \quad r = 1, \dots, N \quad (5)$$

Denklem 5, her kuryenin gittiği müşteriden ayrılmasını ifade eden kısıttır. Bu şekilde kuryenin ziyaret ettiği müşteriden çıkarak başka bir müşteriyi ziyaret edebileceği ifade edilmektedir.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N x_{rij} * d_j \leq Q * y_r \quad \forall r = 1, \dots, N \quad (6)$$

Kuryelerin taşıma kapasite kısıtı denklem 6 ile ifade edilmiştir.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N x_{rij} * d_j = t_r \quad \forall r = 1, \dots, N \quad (7)$$

Kuryelerin kaç birim talep taşıyabileceği ile ilgili kısıt denklem 7'de gösterilmiştir.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N x_{rij} * c_{ij} + \sum_{j=1}^N y_r * x_{r0j} = s_r \quad \forall r = 1, \dots, N \quad (8)$$

Denklem 8 her araç rotasının kaç dakika sürdüğünü gösterir. Kuryelerin dağıtım merkezine gelişi de hesaplama dahildir.

$$s_r \leq TW \quad \forall r = 1, \dots, N \quad (9)$$

Her araç rotasının maksimum belirlenen dakika içinde tüm müşterilerin talebini karşılamış olması gerektiği denklem 9 ile sağlanmaktadır. Ele alınan problemde her bir kurye siparişi alındıktan sonra, maksimum 45 dakika içinde sipariş teslim edilmelidir.

$$x_{rij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \quad (10)$$

$$y_r \in \{0,1\} \quad \forall r \in N \quad (11)$$

Denklem 10 ve 11 ile karar değişkenlerinin ikili tamsayı olduğu ifade edilmektedir.

$$t_r, s_r \geq 0 \quad \forall r \in N \quad (12)$$

Değişkenlerin negatif değer almasını engellemeye yönelik kısıt, denklem 12 ile gösterilmiştir. Tam sayılı karışık matematiksel modelde kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenlerine ait gösterimler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Dağıtım Matematiksel Modeldeki Gösterimler

Sembol	Tür	Açıklama	Birim
i	İndis	Başlangıç noktası ($i=0, \dots, N$)	
j	İndis	Variş noktası ($j=0, \dots, N$)	
r	İndis	Kurye kümesi ($r=1, \dots, N$)	
N	Parametre	Nokta ve kurye sayısı	Adet
L	Parametre	Gerekli minimum kurye sayısı	Adet
TW	Parametre	Siparişler kaç dakika içinde teslim edilmelidir	Dakika
Q	Parametre	Kurye kapasitesi	Adet
C_{ij}	Parametre	Noktalar arası mesafe	Dakika
P_r	Parametre	Kuryelerin dağıtım merkezine olan uzaklıkları	Dakika
S_r	Parametre	R. araç rotasında geçen toplam dakika	Dakika
D_j	Parametre	Müşteri talebi	Adet
T_r	Değişken	Her aracın taşıdığı yük miktarı	Adet
X_{rij}	Değişken	R. araç i 'den j 'ye gidiyorsa 1, gitmiyorsa 0 (binary)	
Y_r	Değişken	R. araç kullanılıyorsa 1, kullanılmıyorsa 0 (binary)	

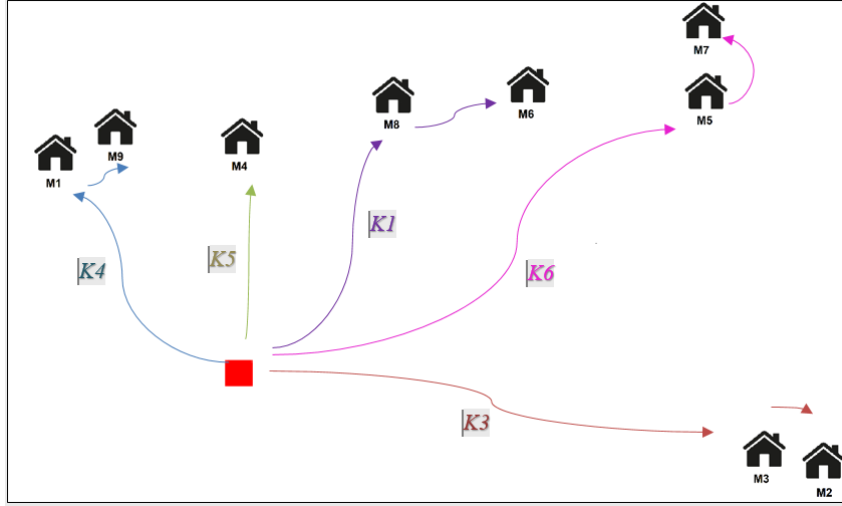
5. Bulgular

Ele alınan problemde t anındaki toplam 9 siparişe yönelik veri seti için model çalıştırılmıştır. Buna göre, kurye kapasite kısıtı ve teslimat süre kısıtları dikkate alınarak elde edilen çözümde, kat edilen toplam minimum mesafe 62 km olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifadeyle kuryeler toplam 62 km mesafe kat etmiş ve tüm teslimatların teslim süreleri toplamı da 155 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4. En İyi Çözüme Ait Rotalar ve Süreleri

Kurye	Karşılanan Talep Miktarı	Rota Süresi (dk)
1	2	29
3	2	33
4	1	25
5	2	31
6	2	37

En iyi çözüme sistemdeki 9 kuryeden sadece 5'inden yararlanılarak ulaşılmıştır. Tablo 4 ve Şekil 2'de gösterildiği üzere, en iyi çözümde, sipariş ataması yapılan 5 kuryeden 4'ü iki sipariş teslim etmekte, sadece bir kurye, tek bir müşteriye teslimat yapmaktadır.



Şekil 2. Kurye Rotalama Çözümü Gösterimi

Elde edilen çözüme göre,

- Birinci Kurye: Müşteri noktaları 8 ve 6 olmak üzere iki müşterinin talebini 29 dakika içinde teslim etmiştir.
- Üçüncü Kurye: Müşteri noktaları 2 ve 3 olmak üzere iki müşterinin talebini 33 dakika içinde teslim etmiştir.
- Dördüncü Kurye: Yalnızca 4. noktadaki müşteriye uğramıştır ve müşteri talebini 25 dakika içinde karşılamıştır.
- Beşinci Kurye: Sistemdeki beşinci kurye 1. ve 9. müşterilerin siparişlerini aynı rotada 31 dakika içinde teslim etmiştir.
- Altıncı Kurye: 5. ve 7. noktalardaki her iki müşteriye ait siparişleri 37 dakika içinde teslim etmiştir.

Elde edilen optimum çözümde beş kurye ile minimum mesafenin kat edileceği görülmektedir. Toplam minimum mesafe restoran için en düşük teslimat maliyeti anlamına gelmektedir. Bununla birlikte teslimat maliyetleri artacak bile olsa, restoranın hizmet düzeyini artırmak (teslim sürelerini minimize etmek) istemesi durumunda çözümün nasıl değiştiği incelenmesi gereken bir durumdur. Bunun için çalışmada sırasıyla 6 ve 7 kuryeye atama yapılması durumunda mesafe ve süre çıktılarının nasıl değiştiği incelenmiştir. Yapılan duyarlılık analizleri neticesinde amaç fonksiyonunda bir değişiklik yerine kısıtlayıcı kaynak miktarında bir değişiklik yapılmıştır. Senaryo 1 için restorandan çıkması gereken minimum araç/kurye sayısı 5 yerine 6, senaryo 2 için ise 7 olarak değiştirilmiştir. Senaryo 5'te elde edilen toplam mesafe 73.6 km'ye (184 dk) çıkmıştır. Senaryo 2'de ise yapılan değişiklik ile elde edilen kat edilen toplam mesafe ise 86.8 km'ye (217 dk) çıkmıştır.

Tablo 5. Senaryo 1 ve Senaryo 2’de Elde Edilen En İyi Çözümler

Senaryo 1 (6 kurye)			Senaryo 2 (7 kurye)		
Kurye	Karşılanan Talep Miktarı	Rota Süresi (dk)	Kurye	Karşılanan Talep Miktarı	Rota Süresi (dk)
1	2	36	1	1	19
3	1	22	2	1	32
4	1	27	3	1	30
5	2	37	4	1	29
6	2	31	5	1	29
7	1	31	6	2	37
			7	2	41
Toplam Süre:		184 dk	Toplam Süre:		217 dk

Senaryo 1’ e göre müşteri bazında sipariş teslim süreleri ise şu şekilde olmuştur;

- Birinci Kurye: Müşteri noktaları 5 ve 7 olmak üzere iki müşterinin talebini 36 dakika içinde teslim etmiştir.
- Üçüncü Kurye: Sadece 4. noktadaki müşteriye uğramıştır ve müşteri talebini 22 dakika içinde karşılamıştır.
- Dördüncü Kurye: Dördüncü kurye sadece 9. müşterinin siparişini 27 dakika içinde teslim etmiştir.
- Beşinci Kurye: 6. ve 8. noktalardaki her iki müşterilerin siparişlerini 37 dakika içinde teslim etmiştir.
- Altıncı Kurye: Müşteri noktaları 2 ve 3 olmak üzere iki müşterinin talebini 31 dakika içinde teslim etmiştir.
- Yedinci Kurye: Yedinci kurye ise yalnızca 1. noktadaki müşterinin siparişini 31 dakika içinde teslim etmiştir.

Senaryo 2’ ye göre müşteri bazında sipariş teslim süreleri ise şu şekilde olmuştur;

- Birinci Kurye: Birinci kurye 4. müşterinin siparişini 19 dakika içinde teslim etmiştir.
- İkinci Kurye: 1. noktadaki müşterinin siparişini 32 dakika içinde teslim etmiştir.
- Üçüncü Kurye: Yalnızca 6. noktadaki müşteriye uğramıştır ve müşteri talebini 30 dakika içinde karşılamıştır.
- Dördüncü Kurye: Dördüncü kurye sadece 8. müşterinin siparişini 27 dakika içinde teslim etmiştir.
- Beşinci Kurye: 9. noktadaki müşterinin siparişini 29 dakika içinde teslim etmiştir.
- Altıncı Kurye: Müşteri noktaları 5 ve 7 olmak üzere iki müşterinin talebini 37 dakika içinde teslim etmiştir
- Yedinci Kurye: Müşteri noktaları 2 ve 3 olmak üzere iki müşterinin talebini 41 dakika içinde teslim etmiştir.

6. Sonuç

Yapılan çalışmada bir restorana gelen siparişlerin, kurye taşıma mesafelerinin en küçüklenecek şekilde bir bölgedeki uygun konumlu kuryelere atanması ve kuryelerin rotalarının oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla atama yapılacak optimum kurye sayısının yanı sıra kuryelerin hangi müşterilere gidecekleri de belirlenmiştir. Çalışmada ele alınan örnek “t” anında, gelen 9 müşteriye ait siparişlerin teslimatında 9 kurye yerine 5 kuryenin kullanılması durumunda zaman ve taşıma kısıtlarını sağlayacak en kısa mesafeli çözümün 5 kurye ile gerçekleştirildiği görülmüştür. Bununla birlikte iki farklı senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Kurye sayısının artırılması durumunda kat edilen toplam mesafeyle birlikte, her bir müşteriye teslim süresi ile ortalama müşteri teslimat sürelerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Kurye sayısının artırılması durumunda maliyet artarken, bazı müşteriler için teslimat süresi kısalabilmektedir. Örneğin 4 numaralı müşteri, en düşük maliyetli çözüm olan beş kuryenin atandığı çözümde 24 dk. sonra yemek siparişini teslim alırken, 6 kuryenin olduğu çözümde 22 dakikada siparişini teslim almaktadır. 7 kuryenin yer aldığı çözümde ise teslimat süresi aynı müşteri için sadece 19 dk’dır. Ortalama teslim süreleri ise beş kuryenin olduğu en düşük maliyetli çözümde 17,22 dk, altı kuryeli çözümde 20,44 dk ve yedi kuryeli çözümde ise 24,11 dk olarak bulunmuştur. Ancak mevcut zaman ve kapasite kısıtlarına göre en düşük maliyetli çözüm olan beş kuryeli atama en ideal çözüm görülmektedir. Bununla birlikte restoranın sunduğu hizmet düzeyi ve özel müşteri kısıtlarına göre çözüm alternatifleri de değişecektir.

Günümüz yüksek rekabet koşulları restoranların maliyetlerinin minimize etmesini gerektirmektedir. Ayrıca kalabalık metropollerde yoğun kurye trafiği nedeniyle çevresel zararlar da kurye hizmetini en verimli şekilde minimum teslimat maliyetiyle ile gerçekleştirmeyi gerekli kılmaktadır. Uygulamamızdaki problemimizde restoran yemek teslimatını yapan kuryelerin kat ettikleri toplam mesafe minimize edilmiştir. Bu amaca yönelik olarak problemde belirli zaman aralığındaki 9 müşteri talebi, zaman kısıtı ve diğer kısıtlar gözetilerek, 9 farklı kurye yerine 5 kurye ile karşılanabilmektedir. Optimum çözümde toplam mesafe minimizasyonu ile maliyetlerin yanı sıra karbon emisyonu da azaltılarak çevresel bir katkı da üretilebilmektedir. Çalışmamızda ortaya konulan model ile benzer yapıda faaliyet gösteren restoranlarda teslimat maliyetlerinin azaltılması söz konusu olabilir. Özellikle 10’ar dakikalık zaman aralıklarında oluşan müşteri taleplerinin çok büyük sayılarda olmadığı restoranlar için aktif çalışma koşullarında, matematiksel modelin bir yazılım ara yüzüyle desteklenerek 10’ar dakikalık aralarla çalıştırılması durumunda tanımlı varsayımlar altında en düşük teslimat maliyetleri elde edilebilecektir.

Çalışmada ortaya konulan model makul sürede optimum sonuca ulaşılabilir. Bununla birlikte 10 dakikalık sipariş toplama süresi çoğu durumda sorun teşkil etmezken, çok yoğun saatlerde önemli bir zaman kaybı oluşturabilir. Gerçek hayat problemlerinde, trafik sıkışıklığı, olumsuz hava şartları ve adres bulamama gibi değişkenliğe neden olan durumlar söz konusudur. Stokastik yapının dinamik araç rotalama problemlerinde dikkate alınması, problemi zorlaştırmakta, bununla birlikte daha gerçekçi bir model tesis edilebilmektedir. Yapılan çalışmada bazı dinamik durumlar, varsayımlar ile göz ardı edilmiştir. Bu problemin daha basit bir şekilde ele modellenmesini ve makul sürelerde çözüm elde edilmesini sağlamakla birlikte model ile gerçek hayat probleminin kısmen farklılaşmasına neden olmaktadır. Gelecek çalışmalarda kurye atama ve rotalama probleminde, değişken çevre koşullarının modele dahil edilmesi dışında, makine öğrenme algoritmaları ile ulaşım süresi, trafik

yoğunluğu vb. tahmin modelleri ile model daha da geliştirilerek gerçek hayat problemine çok daha yakın modeller elde edilebilir. Bu şekilde, elde edilecek rotalama çözümlerinin daha uygulanabilir ve gerçekçi çözümler olmasına katkı sağlayacaktır.

Referanslar

- Al-Kanj, L., Nascimento, J., Powell, W. B. (2020). Approximate dynamic programming for planning a ride-hailing system using autonomous fleets of electric vehicles. *European J. Oper. Res.*, 284(3), 1088–1106.
- Archetti, C., Bianchessi, N., & Speranza, M. G. (2014). Branch-and-cut algorithms for the split delivery vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 238(3), 685–698.
- Baldacci, R., Mingozzi, A., Roberti, R., & Calvo, R. W. (2013). An exact algorithm for the two-echelon capacitated vehicle routing problem. *Operations Research*, 61(2), 298–314.
- Battarra, M., Erdogan, G., & Vigo, D. (2014). Exact algorithms for the clustered vehicle routing problem. *Operations Research*, 62(1), 58–71.
- Chen, X., Ulmer, M. W., Thomas, B. W. (2022). Deep Q-learning for same-day delivery with vehicles and drones. *European J. Oper. Res.*, 298(3), 939–952.
- Chen, Y., Qian, Y., Yao, Y., Wu, Z., Li, R., Zhou, Y., Hu, H., Xu, Y. (2019). Can sophisticated dispatching strategy acquired by reinforcement learning? In *Proceedings of the 18th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems* (1395–1403. ss.). Springer.
- Dantzig, G.B., Ramser, J.H., (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80–91.
- Jahanshahi, H., Bozanta, A., Cevik, M., Kavuk, E. M., Tosun, A., Sonuc, S. B., Kosucu B., Basar, A. (2022). A deep reinforcement learning approach for the meal delivery problem. *Knowledge-Based Systems*, 243, 108489
- Jairo R., Montoya T., Francob, J.L., Isazac, S.N., Jiménez, H.F., Herazo-Padilla, N. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Comput. Ind. Eng.*, 79, 115–129.
- Keskintürk, T., Topuk, N., Özyeşil, O. (2015). Araç rotalama problemleri ile çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması ve bir uygulama, *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77–107.
- Korablev, V., Makeev, I., Kharitonov, E., Tshukin, B., Romanov, I. (2016). Approaches to solve the vehicle routing problem in the valuables delivery domain, *Procedia Computer Science*, 88, 487–492.
- Kumar, S.N., Panneerselvam, R. (2012). A survey on the vehicle routing problem and its variants. *Intell. Inf. Manage*, 4, 66–74.
- Lin, K., Zhao, R., Xu, Z., Zhou, J. (2018). Efficient large-scale fleet management via multi-agent deep reinforcement learning. In *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* (1774–1783. pp.), New York, U.S.
- Masoud, N., & Jayakrishnan, R. (2017). A real-time algorithm to solve the peer-to-peer ride-matching problem in a flexible ridesharing system. *Transportation Research Part B: Methodological*, 106, 218–236.
- Novoa-Flores, G. I., Carpena, L., Lorenzo-Freire, S. (2018). A vehicle routing problem with periodic replanning. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2(18), 1192.

- Peng, B., Wang, J., Zhang, Z. (2019). A deep reinforcement learning algorithm using dynamic attention model for vehicle routing problems. *In International Symposium on Intelligence Computation and Applications* (636–650. ss.). Springer.
- Qureshi, A. G., Taniguchi, E., & Yamada, T. (2009). An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 45(6), 960-977.
- Reyes, D., Erera, A., Savelsbergh, M., Sahasrabudhe, S., O'Neil, R. (2018). The meal delivery routing problem. *Optim. Online*. Erişim adresi <https://optimization-online.org/?p=15139>
- Statista (2023). Online food delivery report (worldwide version). Erişim adresi <https://www.statista.com/outlook/dmo/online-fooddelivery/worldwide/currency=usd>
- Steever, Z., Karwan, M., Murray, C. (2019). Dynamic courier routing for a food delivery service. *Comput. Oper. Res.*, 107, 173–188.
- Toth, P., Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Philadelphia: SIAM.
- Ulmer, M.W., Thomas, B.W., Campbell, A.M., Woyak, N. (2021). The restaurant meal delivery problem: Dynamic pickup and delivery with deadlines and random ready times. *Transp. Sci.*, 55(1), 75–100.
- Ulmer, M.W., Goodson, J.C., Mattfeld, D.C., Hennig, M. (2019). Offline–online approximate dynamic programming for dynamic vehicle routing with stochastic requests. *Transp. Sci.*, 53(1), 185–202.
- Ulmer, M.W., Thomas, B.W., Mattfeld, D.C. (2019). Preemptive depot returns for dynamic same-day delivery. *Euro J. Transp. Log.*, 8(4), 327–361.
- Ulmer, M.W., Thomas, B.W. (2020). Meso-parametric value function approximation for dynamic customer acceptances in delivery routing. *European J. Oper. Res.*, 285(1), 183–195.
- Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Lim, A. (2015). A variable neighborhood search for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 243(3), 798-814.
- Xia, Y., Fu, Z., Pan, L., Duan, F. (2018). Tabu search algorithm for the distance-constrained vehicle routing problem with split deliveries by order. *PloS One*, 13(5), doi: 10.1371/journal.pone.0195457.
- Yildiz, B., Savelsbergh, M. (2019). Provably high-quality solutions for the meal delivery routing problem. *Transp. Sci.*, 53(5), 1372–1388.
- Zhang, Y., Shi, L., Chen, J., Li, X. (2017). Analysis of an automated vehicle routing problem in logistics considering path interruption. *Journal of Advanced Transportation*, 2, 1-10.
- Zhou, M., Jin, J., Zhang, W., Qin, Z., Jiao, Y., Wang, C., Wu, G., Yu, Y., Ye., J. (2019). Multi-agent reinforcement learning for order-dispatching via order-vehicle distribution matching. *In Proceedings of the 28th ACM International Conference on Information and Knowledge Management* (2645–2653. pp.). New York: The Association for Computing Machinery.