

## Yerleştirme-rotalama problemi için iki aşamalı bir model: Covid-19 aşularının dağıtımı

### A two-echelon model for the location-routing problem: distribution of Covid-19 vaccines

Merhad AY<sup>1\*</sup>, Bengü AKDOĞAN<sup>1</sup>, Elif Morrice FİDAN<sup>1</sup>, Lale ÖZBAKIR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.  
merhaday@erciyes.edu.tr, benguakdogan1998@gmail.com, edmorrice@gmail.com, lozbakir@erciyes.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 25.06.2021  
Kabul Tarihi/Accepted: 15.02.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 31.01.2022

doi: 10.5505/pajes.2022.23316  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Ülkemizi ve tüm dünyayı etkisi altına almış olan Covid-19 virüsüne karşı yapılan aşı çalışmaları, modern dünyanın kitlesel olarak aşılabilmesi için büyük bir lojistik problemi de yanında getirmektedir. mRNA ve inaktif virüs yöntemi gibi farklı yöntemlerle üretilen çeşitli aşular şirketler tarafından her geçen gün seri üretim için hazır hale getirilmektedir. Farklı koşullar altında farklı raf ömrü sürelerine sahip bu aşular için iyi planlanmış bir dağıtım ağı büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde kullanılan ve zorlu saklama koşullarına ihtiyaç duyan Covid-19 mRNA aşularını için raf ömrünü verimli şekilde kullanacak iki aşamalı yerleştirme-rotalama modeli üzerinde durulmaktadır. Bu açıdan çalışmada, iki farklı yöntem ile ara depolar ve ara depolara bağlı merkezler belirlenmiş, sonrasında ise belirlenen lokasyonlar arasındaki araç rotaları için probleme özgü zaman kısıtlı kapasiteli araç rotalama problemi matematiksel modeli geliştirilmiştir. Sonuç olarak ortaya çıkan iki aşamalı yerleştirme-rotalama modeli başarılı bir şekilde aşuların raf ömrü süresi dolmadan tüketilmesi için uygun dağıtım modelini tespit etmeyi mümkün kılmıştır. Tıp alanındaki bilim insanları, ilerleyen yıllarda da bu tarz salgımlarla tekrar karşılaşılacağını dile getirmektedir. Bu yüzden yapılan çalışma ileriki yıllarda daha da geliştirilerek ülkedeki aşı gibi acil ve kısa tüketim ömrüne sahip ürünlerin dağıtım politikasının önceden hazır ve etkin kılınmasını sağlayacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Yerleştirme-Rotalama, Covid-19, K-ortalamlar, P-Medyan.

#### Abstract

Vaccination studies against the Covid-19 virus, which has affected our country and the whole world, bring along a major logistical problem for the mass vaccination of the modern world. Various vaccines produced by different methods such as mRNA and inactive virus method are made ready for mass production by companies. A well-planned distribution network is important for these vaccines with different shelf life under different conditions. In this study, the two-echelon location-routing model that will efficiently use the shelf life for Covid-19 mRNA vaccines, which are used in our country and need harsh storage conditions, is emphasized. In this respect, hubs and centers were determined with two different methods, and then time-limited capacitated vehicle routing problem mathematical model was developed for vehicle routes between the determined locations. As a result, two-stage deployment-routing model made it possible to successfully identify the appropriate delivery model for vaccines to be consumed before the shelf-life period. Scientists in the field of medicine state that such epidemics will be encountered again in the coming years. Therefore, the study will be developed further in the following years and will ensure that the vaccine distribution policy in the country is ready and effective in advance.

**Keywords:** Location-Routing, Covid-19, K-Means, P-Median.

## 1 Giriş

2019 yılının son çeyreğinde başlayan ve günümüzde halen devam etmekte olan COVID-19 salgını 11 Mart 2020 tarihinde 4000'den fazla insanın ölümü sonucunda Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından resmen pandemi ilan edilmiştir [1]. Pandeminin önüne geçebilmek için tıp alanında faaliyet gösteren firmalar ve araştırma ekipleri aşı çalışmalarına başlamış ve çeşitli üretim tekniklerine göre farklı aşular üretmişlerdir. Bu anlamda Pfizer-BioNTech şirketlerinin ortak çalışması ile geliştirilen COVID-19 mRNA aşısı Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından onaylanan ilk aşı olmuştur [2].

Raf ömrü kısa olan ve belirli koşullar altında muhafaza edilmesi gereken aşı gibi tıbbi malzemelerin, makul zamanda tüketilmesi hem üretici firmalar hem de sağlık kuruluşları için büyük öneme sahiptir. Örneğin, RNA temelli aşuların çok düşük derecelerde (-70°C vb.) muhafaza edilmesi gerekmektedir [3]. Bu yüzden bu tür aşuların depolanmasında özel soğutucu

cihazlarla donanmış merkezlere ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda RNA temelli aşular son tüketiciye aktarılırken soğutucu cihazlarda kısa süre bekletilebilmektedir [3]. Tüm bu zorlu saklama ve kullanma koşullarından dolayı bu tür raf ömrü kısa olan ürünlerin, ilgili sağlık kuruluşlarına ulaştırılmasında dağıtım ağının ve araç rotalarının iyi belirlenmiş olması gerekmektedir. Bu yüzden, aşuların sağlık kuruluşlarına dağıtımı için ana, ara dağıtım depolarının ve merkezlerin konumlarını belirleyebilmek büyük öneme sahiptir. Aynı zamanda belirli kapasiteye sahip olan araçların kısıtlı zamanda ulaştırılması gereken aşular, belirlenen ara depolardan merkezlere yani sağlık kuruluşlarına en düşük maliyetle ulaştırılacak rotaların belirlenmesi de önemlidir. Çalışmada aşı gibi belirli zaman aralığında tüketilmesi gereken ürünleri ara depoları da belirleyerek ilgili en küçük merkeze kadar düşük maliyetle ulaştırmayı planlayabilecek, hızlı çözüm veren bir model geliştirilmesi üzerinde durulmuştur.

Literatür incelendiğinde bu tür problemlerin yerleştirme-rotalama problemleri (location-routing problem, LRP) olarak

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

ele alındığı görülmektedir. Yerleştirme-rotalama problemleri, literatürde bir aşamalı, iki aşamalı veya üç aşamalı gibi farklı şekillerde çalışılmıştır. Bu çalışmalarda kesin çözüm yöntemleri veya sezgisel çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Bir aşamalı yerleştirme-rotalama problemlerinde ana dağıtım deposunun konumunun tespitiyle birlikte ilgili merkezlere ana depodan araç rotalama problemi şeklindedir [4]. Bu konuda, Wu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada benzetilmiş tavlama yöntemi ile bir aşamalı yerleştirme-rotalama problemine çözüm geliştirmişlerdir [5]. Bir başka çalışmada ise araştırmacıların kapasite kısıtlı bir aşamalı yerleştirme-rotalama için sezgisel algoritma önermişlerdir [6]. İki aşamalı yerleştirme-rotalama problemlerinde ise ana dağıtım deposu, ara dağıtım depoları ve merkezler yer almaktadır. Depoların konumlarının belirlenmesiyle birlikte ana depodan ara depolara araç rotalamaları ve ara depolardan merkezlere araç rotalamaları yapılmaktadır. Araştırmacılar, bir çalışmada iki aşamalı yerleştirme-rotalama problemi için uyarlanabilir geniş komşuluk arama algoritması önermişlerdir [6]. Başka bir çalışmada ise araştırmacılar, zaman pencereli iki kademeli bir yerleştirme-rotalama problemi için çok amaçlı bozulabilir gıda tedarik zinciri ağı optimizasyon modeli geliştirmişler [7]. Bu modeli çözmek için araştırmacılar, çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonunu ve uyarlanmış çok amaçlı değişken komşuluk aramasını birleştiren çok amaçlı hibrid yaklaşım kullanmışlardır. İki aşamalı yerleştirme-rotalama problemleri için diğer bir çalışmada, araştırmacılar iki aşamanın bütünleştirilmesinin zorluğundan ve buna getirdikleri çözümden bahsetmişlerdir. Araştırmacılar çözüm olarak tabu arama yöntemi kullanmışlardır ve sonuçların diğer sezgisel yöntemlere karşı iyi sonuçlar ortaya koyduğundan bahsetmişlerdir [8]. Sezgisel algoritma kullanan başka bir çalışmada ise basit sezgisel algoritmalarla karşı ağgözlü rastgele arama sezgisel algoritması kullanılarak iki aşamalı yerleştirme-rotalama problemlerine çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Araştırmacılar kullanılan yöntem sayesinde 200 merkez ve 10 ara depoyla bile makul sürelerde uygun sonuçlar elde ettiklerinden bahsetmişlerdir [9]. Değişken komşuluk araması yöntemi kullanan bir çalışmada ise sonuçların, performansı iyi olan diğer yöntemlerle rekabet edebilecek düzeyde çözümler ürettiği ve çözüm süresinin makul düzeyde olduğundan bahsedilmiştir [10]. Başka bir çalışmada, araştırmacılar geri dönüşüm atıklarının toplanma bölgelerinin belirlenmesi ve toplanmasında kullanılacak rotaların belirlenmesi için iki aşamalı yerleştirme-rotalama problemi adı altında matematiksel model hazırlamışlardır. Büyük boyutlu problemleri çözmek için ise sezgisel bir yöntem önermişlerdir [11]. Sezgisel algoritmaları hibrid bir şekilde kullanan bir çalışmada ise araştırmacılar tabu arama yöntemi içerisine değişken komşuluk arama yöntemini entegre ederek yeni bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir [12]. Geliştirdikleri yöntemi hem küçük boyutlu hem de büyük boyutlu problemler için matematiksel model sonuçları ile kıyasladıklarında, yakın sonuçlar elde ettiklerini ve daha kısa sürede çözüme ulaştıklarını iddia etmişlerdir. Üç aşamalı yerleştirme-rotalama problemlerinde ise üretim yeri, ana dağıtım deposu, ara dağıtım depoları ve merkezler yer almaktadır. Bu anlamda yapılan bir çalışmada bütçe kısıtlı üç aşamalı yerleştirme-rotalama problemi, hibrid çapraz entropi algoritması ile çözülmeye çalışılmıştır [4].

Ayrıca yerleştirme-rotalama problemleri için yerleşim yeri belirleme konusunda da bazı çalışmalar yapılmıştır. Çalışmamızda kullandığımız P-Medyan problemi ve K-

ortalamalar kümeleme algoritması ile ilgili literatürdeki çalışmalara bakıldığında 2010 yılında yapılan bir çalışmada, P-Medyan problemi ile ilgili çözüm yaklaşımı olarak K-ortalamalar algoritmasının entegre edildiği sabit komşuluk arama algoritması sunmuşlardır. Çalışma sonuçlarında P-Medyan yönteminin optimal sonuçları ile K-ortalamalar ve sabit komşuluk algoritması sonuçları kıyaslanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde K-ortalamalar yaklaşımının sonuçlarının optime yakın olduğu görülmüştür [13]. Başka bir kümeleme performans kıyaslama çalışmasında ise P-Medyan problemi üzerinde K-ortalamalar ve Ward yöntemi gibi farklı yöntemlerin kümeleme performansları P-Medyan yönteminin çözüm sonuçları ile kıyaslanmıştır. Kullanılan yöntemlerden P-Medyan ile K-ortalamalar yöntemlerinin performansları incelendiğinde P-Medyan yönteminin daha iyi olduğu ancak K-ortalamalar yönteminin de P-Medyan yöntem sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür [14]. Başka bir çalışmada ise P-Medyan ve K-ortalamalar yöntemleri ile oluşturulan kümelerdeki her kümenin eleman sayısı, medyan ve ortalama değerleri kıyaslanmıştır. Çalışmada, kümedeki eleman sayılarının birbirinden farklı çıkmasına rağmen medyan ve ortalama değerlerin birbirine yakın çıktığı görülmüştür [15]. Ayrıca aykırı verilerin olduğu durumlar için K-ortalamalar ve P-Medyan yaklaşımlarını değerlendiren bir çalışmada P-Medyan yaklaşımının aykırı verilere karşı daha az hassas olduğundan bahsedilmiştir [16].

Literatürdeki çalışmalarda kesin çözüm yöntemleri ile çözülen yerleştirme-rotalama problemlerindeki düğüm sayısı arttıkça çözüm sürelerinin oldukça uzadığı ve kullanışsız hale geldikleri görülmektedir. Bu yüzden çalışmalar sezgisel algoritmalarla uygun çözüm bulmaya yönelmiştir. Ayrıca geliştirilen modellerde genelde maliyetleri en aza indirmeye odaklanılmaktadır. Yaptığımız çalışmada iki aşamalı yerleştirme-rotalama problemi için kısa sürede çözüm üreten hem matematiksel modellerin hem de bir kümeleme algoritmasının bulunduğu modeller geliştirilerek kıyaslanmıştır. İki aşamalı yerleştirme-rotalama problemi olarak kurgulanan modelin ilk aşamasının ilk kısmında ara depo sayılarının belirlenmesi için Elbow yönteminden faydalanılmaktadır. Bildiğimiz kadarı ile literatürdeki yerleştirme-rotalama problemlerinde ara depo sayısı tespiti için böyle bir uygulama bulunmamaktadır. İlk aşamanın ikinci kısmında ise ara depoların konumlarını belirlemek için iki farklı model ele alınarak kıyaslanmaktadır. Bunlar, K-ortalamalar kümeleme algoritması ve P-Medyan probleminin matematiksel modelidir. Bu yöntemler ile Elbow yöntemi aracılığıyla tespit edilen uygun küme sayısı aralığına göre ara depolar ve bu depolara bağlı olabilecek merkezler tespit edilmektedir. İki farklı yöntemin kullanılıp kıyaslanmasındaki temel amaç, ara depolarla ilişkilendirilecek merkezlerle oluşan farklı ulaştırma ağlarındaki rotaların toplam mesafesi arasında ciddi farkların olup olmadığını gözlemlemektir. Böylelikle çok büyük boyutlu ulaştırma ağları için çözüm süresi açısından P-Medyan modelinin etkinliğini yitirdiği yerlerde K-ortalamalar algoritmasının çözüm kalitesi kıyaslanarak kullanılabilir olup olmadığı analiz edilebilecektir. İkinci aşamada ise ana depodan ara depolara ve ara depolardan merkezlere araçların ulaştırılması için zaman kısıtlı kapasiteli araç rotalama problemi çalışılmaktadır. Çalışmanın katkısı, çok fazla küme sayısı üzerinde çalışmak yerine Elbow yöntemi kullanılarak uygun küme sayısı tespitinin hızla yapılması, küme sayısına göre iki farklı yöntemle ara depoların konumlarının ve ara depolarla ilişkilendirilecek merkezlerin

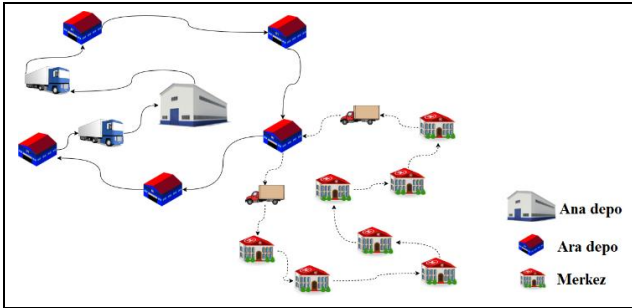
tespit edilmesi ve son olarak sezgisel algoritmalar kullanmak yerine hazırlanan matematiksel model ile uygun küme sayısına göre ana depo-ara depolar arasında ve ara depolar-merkezler arasında zaman kısıtlı kapasiteli araç rotalarını belirleyerek uygun çözüm bulunabilmesidir.

Çalışmanın ikinci bölümünde problemin tanımlanması ve kullanılan yöntemler anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde ise bulgulara yer verilmektedir. Dördüncü bölümde ise sonuçlar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar yer almaktadır.

## 2 Problem tanımı ve yöntem

### 2.1 Problem tanımı

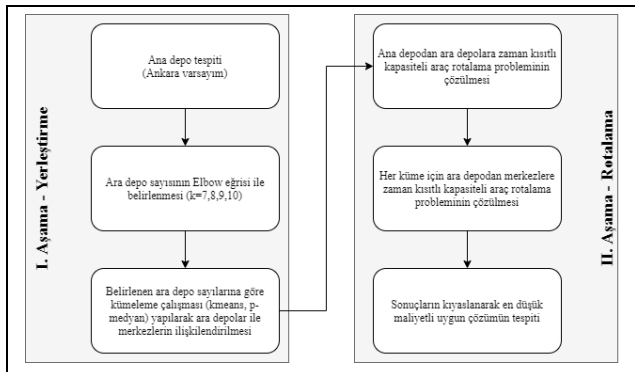
Çalışmada ilgilenilen problem, belirli koşullar altında belirli zaman aralığında muhafaza edilebilen mRNA aşularının Türkiye'deki sağlık kuruluşlarına ulaştırılması için uygun dağıtım ağının ve araç rotalarının hazırlanmasıdır. Bu yüzden Şekil 1'deki gibi iki aşamalı yerleştirme-rotalama problemi üzerinde durulmuştur.



Şekil 1. İki aşamalı yerleştirme-rotalama problemi.

Figure 1. A two-echelon location-routing problem.

Şekildeki ana depodan önce ara depolara daha sonra ise merkezlere taleplerin ulaştırılması iki aşamalı yerleştirme-rotalama probleminin temelidir. Çalışmada ana depo olarak aşuların Türkiye'ye giriş yaptığı ve depolandığı il olarak Ankara varsayılmıştır. Ara depolar ise K-ortalama ve P-Medyan yöntemleri ile belirlenecek kümelerin merkezleridir. Şekildeki merkez olarak ifade edilen yerler ise popülasyonun aşılmasını sağlayacak sağlık kuruluşlarının bulunduğu illeri temsil etmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın akışı Şekil 2'deki gibi planlanmıştır.



Şekil 2. Yerleştirme-rotalama problemi için akış diyagramı.

Figure 2. A flow diagram for the location routing problem.

Şekil 2'de belirtilen ilk aşamada ana depodan gönderilecek aşular için uygun ara depo sayılarının tespiti için Elbow yöntemi kullanılmıştır. Elbow yöntemi ile ara depo sayılarına göre iki farklı yöntem ile ara depoların konumları ve bu

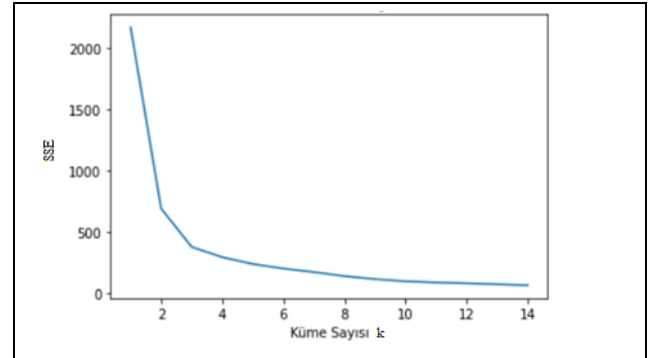
depolarla bağlı merkezler belirlenmiştir. Daha sonra ikinci aşamaya geçilerek belirlenen ana depodan ara depolara aşuların ulaştırılması, zaman kısıtlı kapasiteli araç rotalama problemi için hazırlanan matematiksel model ile çözülmüştür. Bu matematiksel model, ara depolardan merkezlere aşuların ulaştırılması için de birtakım güncellemeler sonrası kullanılmıştır. Alt başlık 2.2'de kullanılan yöntemlere ve hazırlanan matematiksel modele detaylı olarak değinilmektedir.

### 2.2 Yöntem

İki aşamalı yerleştirme-rotalama problemi olarak hazırlanan problemin çözümündeki ilk aşamanın ilk kısmında uygun ara depo sayılarının belirlenmesi için Elbow yönteminden faydalanılmaktadır.

#### 2.2.1 Elbow yöntemi

Elbow yöntemi, her küme sayısı  $k$  için hataların kareleri toplamını (SSE) hesaplayarak uygun küme sayısını tespit etmede kullanılmaktadır [17]. Küme sayısı  $k$  artarak  $n$  nokta sayısına yaklaştıkça SSE değeri git gide düşmektedir ve  $k=n$  olduğunda ise SSE sıfır değerini almaktadır. Çünkü  $n$  tane küme, her noktanın bir küme olmasına ve küme merkezi ile kümedeki tek eleman olan merkez arasındaki hataların kareleri toplamının sıfır olmasına sebep olacaktır. Bu yüzden hataların kareleri toplamının makul düzeyde azaldığı kırılma noktası veya noktaları, uygun küme sayılarını ifade etmektedir. Çalışmadaki ara depo sayısının tespitinde kullanılan Elbow yöntemi ile  $k$  küme sayısı 1-14 için SSE değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 3. Elbow yöntemi ile küme sayısı tespiti.

Figure 3. Number of clusters determination with Elbow method.

Küme sayısı  $k = 1$  için hataların kareleri toplamı çok yüksek iken küme sayısı  $k = 7, \dots, 10$  aralığından sonra bu değer sıfıra doğru yakınsamaktadır. Grafikte hem SSE değeri çok yüksek olmayan hem de sıfıra çok yakınsamayan aralık olan 7-10 aralığı ara depo sayıları için uygun aralık olarak tespit edilmiştir.

Uygun küme ve ara depo sayısı aralığının tespitinden sonra oluşturulacak kümeler ve ara depo konumları için iki farklı yöntem kullanılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. P-Medyan probleminde kullanılan matematiksel model ve denetimsiz bir makine öğrenimi algoritması olan K-ortalama algoritması çalışmada kullanılan yöntemlerdir.

#### 2.2.2 P-Medyan problemi

P-Medyan modeli NP-Hard problemler sınıfında yer almaktadır [18]. Bu probleme ilişkin matematiksel model  $n$

adet düğüm arasından servis vermek amacı ile  $p$  adet merkezden seçilmesi ve hangi düğümün hangi merkezden servis alacağını en düşük maliyetle belirlenmesi üzerine oluşturulmuştur [19]. Modelin amaç fonksiyonu kat sayılarını, düğümlerin talep miktarları ve düğümler arası mesafeler oluşturmaktadır. Çalışmada notasyonların takip edilebilirliği açısından P-Medyan probleminin matematiksel modeli için literatürde kullanılan  $p$  notasyonu  $k$  olarak değiştirilmiştir. Ayrıca parametre ve değişkenlerin tanımlamaları çalışmadaki probleme göre yeniden adlandırılmıştır.

Notasyon ve Parametreler;

- $n$  : Merkez sayısı,  
 $m$  : Aday ara depo sayısı,  
 $k$  : Seçilecek ara depo sayısı,  
 $A_j$  :  $j$ . merkezin talep miktarı,  
 $C_{ij}$  :  $i$ - $j$  merkezleri arasındaki mesafe.

Değişkenler;

- $X_{ij}$  :  $i$ . aday depodan  $j$ . merkeze servis varsa '1', aksi halde '0'  
 $Y_i$  :  $i$ . aday depo, ara depo olarak seçilirse '1', aksi halde '0'

Amaç fonksiyonu;

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} A_j X_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m Y_i = k \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_i \quad i, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$Y_i \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

Modelde denklem (1) ara depo seçilen düğüm ile servis verilen merkez arasındaki talep ve mesafeye bağlı maliyeti minimize etmeyi amaçlamaktadır. Denklem (2) her merkezin sadece bir ara depodan servis almasını, denklem (3) seçilecek toplam ara depo sayısının  $k$  tane olmasını sağlamaktadır. Denklem (4) ise  $i$ . aday depo, ara depo olarak seçilmemişse,  $j$ . merkezin  $i$ . aday depodan servis almasını engellemektedir. Diğer denklemler (5), (6) ise  $X$  ve  $Y$  değişkenlerini tanımlamaktadır.

### 2.2.3 K-ortalamar algoritması

K-ortalamar algoritması, kullanıcı tarafından girilen  $k$  tane küme ile  $n$  adet noktadan oluşan veri setinin  $k$  adet kümeye bölünmesini sağlamaktadır [20]. Algoritma,  $n$  adet noktadan  $k$  adet rastgele başlangıç küme merkezleri seçerek başlar. Daha sonra seçilen küme merkezlerine en yakın olan noktalar, ilgili küme merkezine etiketlenir. Sonrasında küme merkezleri kümedeki elemanların toplam hataların karesini minimize edecek şekilde güncellenir. Süreç, küme merkezlerinin pozisyonları değişmeyene kadar devam eder. K-ortalamar algoritmasının sözde kodu Tablo 1'de verilmiştir [21].

Tablo 1. K-ortalamar algoritmasının sözde kodu

Table 1. Pseudocode of the K-Means algorithm.

Girdi:

$D = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  // noktaların kümesi

$k$  // küme sayısı

Çıktı:

$k$  adet küme ve küme merkezi

K-ortalamar algoritması

Başlangıç küme merkezleri  $m_1, m_2, \dots, m_k$  rastgele ata

Tekrar et:

Küme merkezleri ile  $D$  kümesindeki diğer noktalar arasındaki mesafeleri hesapla

Noktaları, merkezlere olan mesafelerine göre en yakın küme merkezine ata

Atamalar sonrası küme merkezlerinin ( $m_1, m_2, \dots, m_k$ ) pozisyonlarını güncelle

Bitir:

Küme merkezlerinin pozisyonları değişmezse

K-ortalamar algoritması ile  $k$  adet küme ve merkezleri hazırlanmaktadır. Bu kümeler ve merkezleri, P-Medyan problemi çalışmasındaki gibi  $k$  adet ara depoların konumları ve ara depolarla aynı kümede yer alan merkezleri belirlemekte kullanılmıştır. Kullanılan iki yöntem sonrasında çıkan sonuçlar Bölüm 3'te kıyaslanmıştır.

Ara depo ve ara depolara bağlı merkezlerin belirlenmesinden sonra yerleştirme-rotalama probleminin ikinci aşaması olarak hazırlanan ana depodan ara depolara ve ara depolardan merkezlere araç rotalamaları için zaman ve araç kapasitesi kısıtları bulunan matematiksel model hazırlanmıştır.

### 2.2.4 Araç rotalama problemi için matematiksel modeller

Araç rotalarının hazırlanmasında bazı varsayımlar kullanılmıştır. Bu varsayımlar mümkün olduğunca gerçek dünya şartlarına uygun olmasına dikkat edilmiştir. Varsayımlar hem ana depodan ara depolara rotalar planlanırken hem de ara depodan merkezlere rotalar planlanırken kurgulanmıştır.

Ana depodan ara depolara araç rotalama problemi için varsayımlar şu şekilde sıralanabilir;

- Ankara ana depodur,
- Araçların rotaları ana depoda başlayıp ana depoda bitmelidir,
- Her ara depoya en az bir kez uğranmalıdır,
- Taşıma 2 gün içerisinde gerçekleşmelidir,
- Ara depoların talep miktarı karşılanmalıdır,
- Depolara birden fazla rotada uğranılabilmektedir,
- Araçların tümü eşit ve belirli bir kapasiteye sahiptir.

Ana depodan ara depolara araç rotalama problemi için varsayımlar hazırlanırken Türkiye şartları göz önünde bulundurulmuştur. Ankara ilinin başkent olması, mRNA aşlarının muhafaza koşullarını sağlayacak altyapıya sahip



olması ve coğrafik açıdan ülkenin merkezinde konumlanmasından dolayı ana depo olduğu varsayılmıştır. Zaman kısıtı olarak aşılardan taşınma süresi hesaplanırken kullanılan ağır vasıta araçlarının Ankara ilinden ülkenin en uç noktasına maksimum seyahat süresi göz önünde bulundurularak 2 gün varsayımı yapılmıştır. Yine kullanılan ağır vasıta araçlarının belirli bir kapasiteye sahip olmasından dolayı kapasiteli araç varsayımında bulunulmuştur.

Ara depodan merkezlere araç rotalama problemi için ise varsayımlar şu şekilde sıralanabilir;

- Ana depo olarak varsayılan Ankara aynı zamanda ara depo olabilir,
- Ara depoya bağlı merkezlerin ihtiyaç duyduğu aşı miktarı mutlaka karşılanmalıdır,
- Araç rotaları ara depolarda başlayıp ara depolarda bitmelidir,
- Her merkeze en az bir kez uğranmalıdır,
- Her merkeze ulaşacak aşı miktarı o merkezin aşılardan 13 gün içerisinde tüketebileceği kadar olmalıdır,
- Merkezlerin aşı ihtiyaçları karşılanmalıdır,
- Ara depodan merkezlere birden fazla periyotta uğranabilir,
- Araçların tümü eşit ve belirli bir kapasiteye sahiptir.

Ara depodan merkezlere araç rotalama problemi için varsayımlar hazırlanırken mRNA aşılardan kullanım süreleri gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Pfizer-BioNTech mRNA aşılardan 15 gün içerisinde tüketilmesi gerektiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur [22]. Ana depodan ara depolara aşılardan maksimum 2 gün içinde teslim edilmesi varsayıldığından dolayı geri kalan 13 gün içinde aşılardan ara depolardan merkezlere ulaştırılması ve tüketilmesi gerektiği varsayılmıştır.

#### 2.2.4.1 Ana depodan ara depolara araç rotalama için matematiksel model

Çalışmadaki araç rotalama probleminin çözümü için matematiksel model hazırlanırken, literatürdeki kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri için önerilen matematiksel modellerden esinlenilmiştir [23]. Bir çalışmada, araştırmacılar araçların kapasitelerini göz önünde bulunduran araç rotalama problemleri için hazırladıkları matematiksel modeli sunmuşlardır [24]. Başka bir çalışmada ise teslim alma ve teslim etme zamanlarını göz önünde bulunduran araç rotalama problemi matematiksel model çalışması yapılmıştır [25]. Literatürdeki çalışmadan farklı olarak hazırlanan matematiksel modelde araçların birden fazla periyotta ara depolara uğrayarak talepleri karşılaması ve bu rotaların en fazla 2 gün uzunluğunda olması kısıtlarına yer verilmiştir.

Notasyon ve Parametreler;

- $Q$  : Büyük boy araç kapasitesi,  
 $A$  : Ara depolardan toplam talep miktarı,  
 $k$  : ara depo sayısı,  
 $I$  :  $k - 1$ ,  
 $R$  : Kullanılacak rota sayısı,  
 $V$  : Araçların ortalama hızları,  
 $L$  : Ana depo dışındaki ara depolardan sayısı,  
 $T$  : Ana aşı deposundan ara depolara olan rotalar için maksimum süre (gün),

- $M$  : Büyük bir sayı,  
 $D_j$  :  $j$ . ara depodan talep miktarı,  
 $C_{ij}$  :  $i$ . ara depo ile  $j$ . ara depo arasındaki mesafe.

Değişkenler;

- $X_{ijr}$  :  $i$ . ara depodan  $j$ . ara depoya  $r$ . rotada gidildiyse '1' aksi halde '0'  
 $Y_{ijr}$  :  $i$ . ara depodan  $j$ . ara depoya  $r$ . rotada taşınacak aşı miktarı  
 $S_{ir}$  :  $i$ . ara depoya  $r$ . rotada geliş süresi (saat)  
 $u_{ir}$  : Alt tur eliminizasyonunda kullanılan tam sayılı yardımcı değişken.

Amaç fonksiyonu;

$$\min \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^I \sum_{r=1}^R C_{ij} X_{ijr} \quad (7)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^I X_{0jr} \leq 1 \quad r = 1, \dots, R \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^I \sum_{i \neq j}^R X_{ijr} \geq 1 \quad j = 0, \dots, I \quad (9)$$

$$\sum_{j=0}^I X_{ijr} \leq 1 \quad i = 0, \dots, I \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (10)$$

$$\sum_{j=0}^I X_{ijr} - \sum_{j=0}^I X_{jir} = 0 \quad i = 0, \dots, I \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (11)$$

$$\sum_{i=0}^I \sum_{i \neq j}^R Y_{ijr} \geq D_j \quad j = 0, \dots, I \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^I Y_{ijr} \leq Q \quad r = 1, \dots, R \quad (13)$$

$$Y_{ijr} \leq M * X_{ijr} \quad i, j = 0, \dots, I (i \neq j) \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (14)$$

$$\sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^I \sum_{r=1}^R Y_{ijr} \leq A \quad (15)$$

$$u_{ir} - u_{jr} + k * X_{ijr} \leq L \quad i, j = 1, \dots, I \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (16)$$

$$S_{0r} = 0 \quad r = 1, \dots, R \quad (17)$$

$$S_{ir} + \left(\frac{C_{ij}}{V}\right) + M * (X_{ijr} - 1) \leq S_{jr} \quad i, j = 0, \dots, I (j \neq 0, i \neq j) \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (18)$$

$$S_{ir} \leq T \quad i = 0, \dots, I \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (19)$$

$$X_{ijr} \in \{0,1\} \quad i, j = 0, \dots, I \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (20)$$

$$Y_{ijr} \geq 0 \quad i, j = 0, \dots, I \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (21)$$

$$S_{ir} \geq 0 \quad i = 0, \dots, I \text{ ve } \forall r = 1, \dots, R \quad (22)$$

$$u_{ir} \geq 1 \quad i = 1, \dots, I \text{ ve } \forall r = 1, \dots, R \quad (23)$$

Modelin amaç fonksiyonu olan denklem (7) rotalarda kat edilecek toplam mesafeyi minimize etmeyi amaçlamaktadır. Denklem (8)'deki  $X_{0jr}$  değişkenindeki ilk indis değeri olan 0 değeri ana depoyu (Ankara) temsil etmektedir. Denklem her rotada ana depodan en fazla bir çıkış olabileceğini ifade etmektedir. Denklem (9) her  $j$  ara deposuna en az bir kere giriş yapılması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem (10) her ara depoya  $r$ . rotada en fazla bir kez giriş yapılmasını sağlayıp, bir rotada aynı ara depoya birden fazla kere giriş yapılmasını engellemektedir. Denklem (11) her  $r$  rotasında  $i$  ara deposuna herhangi bir  $j$  ara deposundan giriş varsa aynı rota içerisinde  $i$  ara deposundan çıkışta yapılması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem (12) her  $j$  ara deposuna gelen toplam aşı miktarı,  $j$  ara deposunun talebine eşit veya fazla olması kısıtını sağlamaktadır. Denklem (13) her rotada toplam taşınacak miktarın araçların kapasitelerinin eşit olduğu  $Q$  değerini aşmamasını sağlamaktadır. Denklem (14) herhangi bir  $i$  ara deposundan  $j$  ara deposuna  $r$ . rotada gidiş varsa,  $i$  ara deposundan  $j$  ara deposuna taşıma yapılabileceğini ifade etmektedir. Denklem (15) toplam taşınacak aşı miktarının, ana depodaki aşı miktarını aşmamasını sağlamaktadır. Böylelikle ara depoların aşı talepleri (12) numaralı kısıt ile karşılanırken (15) numaralı kısıt ile ara depoların ihtiyaç duyduğu toplam aşı miktarı aşılamamaktadır. Denklem (16) alt tur eliminasyon kısıtıdır, rotaların başlangıç ve bitişini sınırlandırmaktadır. Denklem (17) rotaların başlangıç sürelerini sıfır almaktadır. Denklem (18)  $r$ . rotada  $j$ . ara depoya geliş süresini hesaplamaktadır. Denklem (19) aşuların ana depodan ara depoya maksimum transfer süresi olan  $T = 2$  günü geçmemesini sağlamaktadır. Denklem (20), (21), (22) ve (23) model değişkenlerinin değer aralığını sınırlandırmaktadır.

#### 2.2.4.2 Ara depodan merkezlere araç rotalama için matematiksel model

Ana depodan ara depolara araç rotaları için hazırlanan matematiksel model, ara depolardan merkezlere araç rotalama probleminin çözümünde de bazı güncellemelere tabi tutularak kullanılmıştır. Bu güncellemeler öncelikle parametre tanımlarında gerçekleştirilmiştir.  $Q$  parametresi orta boy araç kapasitesi,  $A$  parametresi ara depoya bağlı merkezlerin toplam talep miktarı,  $k$  parametresi ara depoya bağlı merkez sayısı,  $R$  parametresi ara depo-merkezler için kullanılacak rota sayısı,  $L$  parametresi ara depo dışındaki ara depoya bağlı merkez sayısı,  $T$  parametresi ara depodan merkezlere olan rotalar için maksimum süre(gün),  $D_j$  parametresi  $j$ . merkezin talep miktarı ve  $C_{ij}$  parametresi  $i$ . merkez ile  $j$ . merkez arasındaki mesafe şeklinde tanımlanmışlardır. Daha sonra karar değişkenlerinin tanımları güncellenmiştir.  $X_{ijr}$  değişkeni  $i$ . merkezden  $j$ . merkeze  $r$ . rotada geçiş varsa "1" diğer durumlarda "0",  $Y_{ijr}$  değişkeni  $i$ . merkezden  $j$ . merkeze  $r$ .

rotada taşınacak aşı miktarı ve  $S_{ir}$  değişkeni  $i$ . merkeze  $r$ . rotada geliş süresi (saat) şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıca ana depodan ara depolara rotalama probleminin matematiksel modelinde kullanılan Denklem (8)'deki  $X_{0jr}$  değişkeninin ilk indis değeri 0, ara depodan merkezlere araç rotalama problemi için merkezlerin bağlı olduğu ara depoyu temsil edecek şekilde güncellenmiştir. Son olarak Denklem (24) olarak ifade edilen yeni kısıt ve kısıtın gerektirdiği yeni parametreler bir önceki problemde farklı olarak bu problemde matematiksel modele eklenerek ara depodan merkezlere araç rotalama probleminin çözümünde kullanılmıştır.

$$Y_{ijr} \leq H_j * E * F * \left( T - \frac{S_{jr}}{24} \right) \quad i, j = 0, \dots, I \text{ ve } r = 1, \dots, R \quad (24)$$

Denklem (24)'de  $i$ . merkezden  $j$ . merkeze taşınacak olan aşı miktarının merkezdeki hemşire sayısına göre aşuların tüketim ömrü bitmeden kullanılabilmesi kısıtı sağlanmaktadır. Denklemde belirtilen  $H_j$  parametresi  $j$ . merkezdeki hemşire sayısını,  $E$  parametresi bir hemşirenin 8 saatlik mesaiye yapabileceği ortalama aşı miktarını,  $F$  parametresi merkezdeki hemşirelerin aşılama için ayrılacak yüzdesini belirtmektedir. Burada kullanılan  $E = 90$  değeri bir hemşirenin 8 saatlik vardiyasında yapabileceği ortalama aşı miktarını,  $F = 0.15$  değeri aşılama yapmak için görevlendirilen hemşire sayısının şehirde bulunan tüm hemşirelerin %15'i kadar olacağını ifade etmektedir. Bu oran ve değerler farklı koşullar için güncellenebilir. Ayrıca  $r$ . rotada  $j$ . merkeze geliş süresi 24 sayısına bölünerek gün birimine çevrilmiş ve  $T$  gün sayısından çıkarılmasına imkân tanımıştır.

### 3 Bulgular

Bu bölümde çalışmada kullanılan veriler, analiz öncesi veri seti hazırlıkları ve sonuçlar açıklanmıştır. Çalışmada bahsi geçen algoritma için Python programlama dili, matematiksel modeller için ise CPLEX Studio IDE 12.9.0 yazılımı kullanılmıştır. Çalışmalar, 8.00 GB RAM, 1.60 GHz işlemci hızına ve 64 bit işletim sistemine sahip bilgisayarda yapılmıştır.

#### 3.1 Veri seti

Veriler farklı senaryolara göre düzenlenerek, iki aşamalı yerleştirme rotalama probleminin her aşaması için birden fazla veri seti hazırlanmıştır. Tablo 2'de sonuçlar üzerinde detaylı kıyaslamalar yapılabilmesi için hazırlanan senaryolar gösterilmektedir. Birinci aşamada öncelikle Elbow yöntemi ile elde edilen uygun küme sayıları  $k=7, 8, 9$  ve  $10$  belirlenmiştir. Daha sonra Türkiye'deki 81 il ve 17 il aday ara depo olacak şekilde çalışma iki kısıma ayrılmıştır. Buradaki 17 aday ara depo sayısı ülkemizdeki şehir hastanelerinin bulunduğu 17 ildir [26]. Daha sonra her iki aday ara depo sayıları için P-Medyan ve K-ortalamlar çalışmaları her küme sayısı için gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. İki aşamalı yerleştirme rotalama problemi için senaryolar

Table 2. Scenarios for the two-echelon location-routing problem.

Elbow yöntemi ile belirlenen uygun küme sayıları (k)	7, 8, 9 ve 10															
	Aday ara depo lokasyonları															
	81 il							17 il								
I. Aşama yöntem	P-Medyan							K-ortalamlar								
Küme ve küme merkezi (ara depo) sayıları	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10

Toplamda 16 farklı senaryoya göre ara depolar ve bunlara bağlı merkezleri belirleme çalışması yapılmıştır. Sonrasında ikinci aşamaya geçilmiş ve ana depodan 16 farklı senaryoya göre belirlenen ara depolara zaman kısıtlı kapasiteli araç rotalama problemi için analizler gerçekleştirilmiştir. Son olarak 16 farklı senaryodaki her küme için her ara depo ve ilgili merkezler arasında zaman ve kaynak kısıtlı kapasiteli araç rotalama problemi analizi gerçekleştirilmiştir.

K-ortalamalar kümeleme yöntemi için illerin enlem, boylam değerleri ve talep miktarları, P-Medyan problemi matematiksel modeli için ise iller arası mesafe matrisi ve talep miktarları, ana depodan ara depolara rotalama için ana depo ile ara depolar arası mesafe ve kümelerin toplam talebi, ara depodan merkezler rotalama için ise her depo ile bağlı oldukları merkezler arası mesafe, merkezlerin talebi ve aşılama için görevlendirilecek personel sayısı girdi olarak kullanılmıştır. Nüfus ile ilgili verilere ve sağlık personeli sayısına Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) internet sitesinden ulaşılmıştır [27]. Daha sonra illerin ihtiyaç duyduğu aşı miktarları 65 yaş üstü popülasyon ve sağlık çalışanları dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çalışmada ana depo varsayılan Ankara ilinde 10 milyon doz Covid-19 aşısının bulunduğu varsayılmakta ve merkezlerin ihtiyaç duyduğu kadar aşının 15 gün içerisinde öncelikle ara depolara sonrasında ise merkezler ulaştırılıp tüketilmesi beklenmektedir. Aynı zamanda araçlar yerleştirme-rotalama probleminin ilk aşamasındaki rotalarda 2 milyon aşı kapasiteli benzer araçların kullanıldığı varsayılmıştır. İkinci aşamadaki rotalarda ise 500 bin aşı kapasiteli benzer araçların kullanıldığı varsayılmıştır. Ana depodan ara depolara araç-rotası hesaplanmasında tüm ara depoların toplam talebinin araç kapasitelerine oranı kullanılmıştır. Her araca sadece bir rota tanımlandığı için bir aracı bir rotanın temsil ettiği düşünülebilir. Çalışmada tüm ara depoların taleplerinin toplamının araç kapasitesine oranı hesaplanarak 4 rota(aracı) ( $R = 4$ ) sayısı elde edilmiştir. Aynı hesaplamalar ara depodan merkezler rotalama yapılırken de tekrarlanmış ve her küme için rota(aracı) sayıları ( $R$ ) hesaplanmıştır. Örnek olarak küme sayısı  $k = 7$  için rota(aracı) sayılarına Tablo 3'te yer verilmiştir. Her iki yöntem ve iki farklı aday ara depo sayısı çözümünde her bölgedeki aşuların dağıtımı için ortalama 2 rota (aracı) oluşturulması gerektiği görülmektedir.

Tablo 3. 7 bölge için rota (aracı) sayıları.

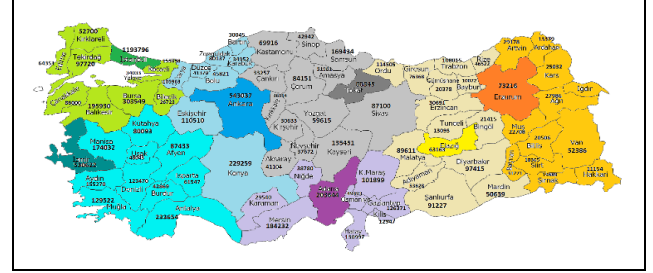
Table 3. Route (vehicle) numbers for the 7 regions.

	P-Medy. (81il)	P-Medy. (17il)	K-ort. (81il)	K-ort. (17il)
1. Küme	2	2	2	3
2. Küme	2	2	2	2
3. Küme	2	2	3	1
4. Küme	2	2	2	2
5. Küme	2	2	1	2
6. Küme	2	2	3	2
7. Küme	2	2	2	2

### 3.2 Ara depoların tespiti ve kümeleme çalışmasının bulguları

Yerleştirme-rotalama probleminin ilk aşamasında ara depoların ve ara depolarla aynı kümede olacak merkezlerin belirlenmesi çalışılmıştır. Analizlerde hem K-ortalamalar algoritması hem de P-Medyan probleminin matematiksel modeli 81 ve 17 aday ara depo ile kullanılmıştır.

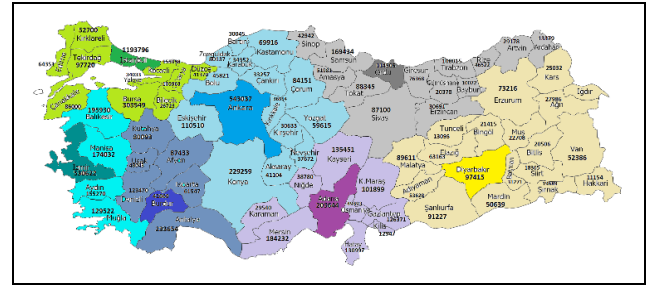
Örnek olarak  $k = 7$  küme sayısı için K-ortalamalar algoritması ile belirlenen ara depolar ve ara depolara bağlı merkezler Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 7 Küme için K-ortalamalar (81il) algoritması ile belirlenen kümeler.

Figure 4. Clusters determined by K-Means (81city) algorithm for 7 clusters.

Şekilde, her ilin (merkezin) talep ettiği aşı miktarları il isminin altında yer almaktadır. K-ortalamalar algoritması talep yoğunluğu ile merkezlerin birbirine olan mesafelerini göz önünde bulundurarak kümeleme yapmaktadır. P-Medyan probleminin matematiksel modeli kullanılarak yapılan ara depo ve kümeleme çalışması ise Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 7 Küme için P-Medyan (81il) çalışması ile belirlenen kümeler.

Figure 5. Clusters determined by P-Median(81city) algorithm for 7 clusters.

Şekillerden de görüldüğü üzere P-Medyan ve K-ortalamalar yöntemleri için farklı biçimlerde kümeler ortaya çıkmıştır. Bunun temel sebebi K-ortalamalar yöntemi, illerin enlem ve boylam değerlerine göre Öklid mesafesi hesaplayarak çalışırken P-Medyan probleminin matematiksel modeli iller arası tanımlanan yol mesafelerine göre çalışmaktadır. Bu çalışmayı yaparken ana amaçlardan biri, iki yöntemin sonuçlarını kıyaslayarak büyük boyutlu problemlerde K-ortalamalar yönteminin etkinliğini analiz etmektir. Alt bölüm 3.3 ve 3.4'te yöntemlerin sonuçları tartışılmaktadır.

### 3.3 Ana depodan ara depolara araç rotalama çalışmasının bulguları

Yerleştirme-rotalama probleminin ikinci aşamasındaki ilk adım olarak çalışılan ana depodan ara depolara zaman kısıtlı kapasiteli araç rotalama çalışmasının sonuçları Tablo 4'te yer almaktadır. Bu çalışmada 16 farklı senaryo için analizler gerçekleştirilmiştir. Tablo incelendiğinde en düşük toplam rota uzunluklarının 17 aday ara depo ve  $k = 8$  küme sayısı için P-Medyan (17 il) sonucunda 5165 km olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Ana depodan ara depolara toplam rota uzunlukları (km).

Table 4. Route lengths for distribution from main warehouse to hubs (km).

	P-Medy. (81il)	P-Medy. (17il)	K-ort. (81il)	K-ort. (17il)
7 Küme	6097	5361	5804	6454
8 Küme	5955	<b>5165</b>	5955	6237
9 Küme	5992	5198	6846	6978
10 Küme	6106	5258	6106	6531

P-Medyan ile K-ortalamlar yöntemleri sonuçlara göre kıyaslandığında, 81 aday ara depo durumunda sonuçların yakın olduğu fakat 17 aday ara depo durumunda P-Medyan yönteminin daha düşük uzunlukta araç rotalarına sebep olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan kümeleme çalışmalarının çözüm süreleri saniyelerle ifade edilecek kadar uygun hızlardadır. Örnek olarak P-Medyan (17 il) ve  $k = 8$  küme sayısı için ana depo Ankara'dan ara depolara detaylı araç rotaları ve seyahat süreleri Tablo 5'te gösterilmektedir. Kümeleme çalışmaları sonucunda Ankara ana deposu aynı zamanda bahsedilen P-Medyan (17 il) ve 8 küme için bir ara depo olarak da kullanılmaktadır. Bu yüzden ana depodan Ankara ara deposuna seyahat mesafesi ve süresi sıfır olarak

varsayıldığı için tabloda yer verilmemiş, geri kalan 7 ara depo tabloda gösterilmiştir.

8 küme için yapılan çalışmada seyahat süreleri incelendiğinde ana depodan ara depolara aşırı maksimum ulaştırma süresi olan 2 gün kısıtının aşılmadığı görülmektedir. En fazla toplam seyahat süresi 33.23 sa. ile ikinci rotada görülmektedir. Taşınan miktarlar ise ara depolarla ilintili olan merkezlerin toplam aşı talebini göstermektedir.

### 3.4 Ara depodan merkezlere araç rotalama çalışmasının bulguları

Ara depodan merkezlere araç rotalama çalışması yapılırken 16 senaryonun her birinde bulunan 4 farklı küme sayısına göre oluşturulan ara depo-merkezler kümeleri için ayrı ayrı rotalar hazırlanmış ve toplam rota uzunlukları hesaplanmıştır. Örnek olarak Tablo 6'da 9 küme için 4 farklı ara depo belirleme yöntemine göre oluşturulan her kümedeki ara depodan merkezlere rota uzunlukları ve toplamı gösterilmektedir.

Yapılan tüm alternatif çalışmalardaki her küme sayısına göre kümelerdeki rotaların tamamının toplam mesafe sonuçları ise Tablo 7'de gösterilmektedir. Sonuçlara göre 17 aday ara depodan 9'unun P-Medyan modeli ile belirlendiği dağıtım ağındaki 9 adet ara depodan bu depolara bağlı merkezlere oluşturulan rotaların toplam uzunlukları diğer alternatif çözümlere göre 11928 km ile daha düşük maliyete sahiptir.

Tablo 5. P-Medyan (17il)  $k=8$  küme için ana depodan ara depolara araç rotalarındaki seyahat süreleri ve taşıma miktarları.

Table 5. Travel times and transportation amounts on vehicle routes from main warehouse to hub for P-Median (17city)  $k=8$  clusters.

Ara Depolar	I. Rota		II. Rota		III. Rota		IV. Rota	
	Seyahat süresi (saat)	Taşınan aşı miktarı	Seyahat süresi (saat)	Taşınan aşı miktarı	Seyahat süresi (saat)	Taşınan aşı miktarı	Seyahat süresi (saat)	Taşınan aşı miktarı
Adana	-	-	20.73	877803	-	-	-	-
Bursa	-	-	-	-	-	-	6.42	836838
Elazığ	-	-	12.5	1055161	-	-	-	-
Isparta	-	-	-	-	13.58	597016	-	-
İstanbul	7.55	1711858	-	-	-	-	-	-
İzmir	-	-	-	-	-	-	11.83	989446
Yozgat	-	-	-	-	3.58	1019301	-	-

Tablo 6. 9 Kümeli çalışma için mesafe değerleri (km).

Table 6. Distance values for 9 clusters (km).

	P- Medyan (81il)	P-Medyan (17 il)	K-ortalamlar (81 il)	K-ortalamlar (17 il)
1. Küme	1144	2086	1658	1591
2. Küme	1454	478	1106	1199
3. Küme	551	513	889	1496
4. Küme	1090	978	2084	1195
5. Küme	2982	885	1199	2084
6. Küme	978	3831	2141	1658
7. Küme	801	1090	1314	1025
8 Küme	1167	923	924	2141
9. Küme	2475	1144	1537	1281
Toplam mesafeler	12642	11928	12852	13670

Tablo 7. Her küme sayısına göre ara depo-merkezler için toplam mesafe değerleri (km).

Table 7. Total distance values for hub-centers according to the number of clusters (km).

	P-Medyan (81il)	P-Medyan (17il)	K-ort. (81il)	K-ort. (17il)
7 Küme	12895	12701	13352	14114
8 Küme	12659	12271	13191	13060
9 Küme	12642	<b>11928</b>	12852	13670
10 Küme	12163	11941	12846	12829



Şu ana kadar ayrı ayrı ana depodan ara depolara araç rotalama maliyetleri ve ara depodan merkezlere araç rotalama maliyetleri gösterilmiştir. Tablo 8’de ise hem ana depodan ara depolara hem de ara depolardan merkezlere rotalamanın toplam maliyetleri gösterilmektedir.

Tablo 8. Toplam kat edilen mesafe değerleri (km).

Table 8. Total travelling distance (km).

	P-Medyan (81il)	P-Medyan (17il)	K-ort. (81il)	K-ort. (17il)
7 Küme	18992	18062	19156	20568
8 Küme	18614	17436	19146	19297
9 Küme	18634	<b>17126</b>	19698	20648
10 Küme	18269	17199	18952	19360

Ana depodan ara depolara en düşük rotalama maliyetini 8 küme sayısı ile P-Medyan (17il) senaryosu vermesine rağmen hem ara depolardan merkezlere hem de toplam rotalama maliyeti açısından en düşük maliyeti 9 küme sayısı ile P-Medyan (17il) senaryosu vermektedir. Yapılan çalışmada P-Medyan (17il) 9 küme için ana depodan ara depolara araç rotaları Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9. Ana depodan ara depolara rotalar.

Table 9. Routes from main warehouse to hubs.

	Rotalar
1. Rota	Ankara-İstanbul-Ankara
2. Rota	Ankara-Adana-Elazığ-Ankara
3. Rota	Ankara-İzmir-Bursa- Ankara
4. Rota	Ankara-Isparta-Konya-Yozgat-Ankara

P-Medyan (17il) 9 küme için ara depolardan merkezlere oluşturulan araç rotaları için ise örnek olarak İstanbul ara deposundan merkezlere araç rotaları Tablo 10’da gösterilmektedir. İlk rotadaki araç ara depodan aldığı aşılara sırasıyla Sakarya, Düzce, Kocaeli illerine ulaştırdıktan sonra tekrar ara depoya dönmektedir. İkinci rotadaki araç ise ara depodan çıkarak sırasıyla Kırklareli, Edirne ve Tekirdağ illerine uğrayarak ara depo olan İstanbul iline dönmektedir.

Tablo 10. İstanbul ara deposundan merkezlere rotalar.

Table 10. Routes from İstanbul hub to centers.

	Rotalar	
İstanbul (ara depo)	1. Rota	İst.-Sakarya-Düzce-Kocaeli-İst.
	2. Rota	İst.-Kırklareli-Edirne-Tekirdağ-İst.

Sonuç olarak belirlenen varsayımlar altında Türkiye için P-Medyan probleminin matematiksel modeli ile 9 ara deponun belirlenmesi, bu depolara bağlı merkezlerin belirlenmesi ve zaman kısıtlı kapasiteli araç rotalama modelinin kullanılması diğer senaryolara göre daha düşük maliyetlerle aşılardan merkezlere ulaştırılarak popülasyonun aşılardan için uygun bir çözüm olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca K-ortalamlar algoritmasının kullanıldığı senaryoların sonuçları, P-medyan problemi matematiksel modelinin kullanıldığı senaryoların sonuçları ile kıyaslanınca, literatürdeki diğer örnekler gibi arada çok büyük farkların olmadığı görülmektedir. Büyük boyutlu problemlerde ara depolar ve ara depolara bağlı merkezlerin belirlenmesi, matematiksel modeller kullanılarak çözülmeye çalışıldığında çözüm süresini ciddi anlamda uzattığı

düşünülünce bu tür problemlerde K-ortalamlar algoritmasının kullanılabilir olduğu görülmektedir.

## 4 Sonuçlar

Covid-19 virüsü dünya üzerinde bir pandemiye dönüşmesi sebebiyle aksayan eğitim, sağlık hizmetleri, sosyal aktiviteler, gündelik hayat akışı gibi durumların en kısa zamanda normale dönmesinin sağlanması ülkemiz için büyük bir önem arz etmektedir. İki aşamalı yerleştirme-rotalama problemleri için ilk aşamada uygun küme sayısı aralığına göre ara depolar ve merkezler belirlenmeye çalışılmış ardından ikinci aşamada araç rotalamaları yapılmıştır. Son olarak yapılan çalışmalar bir bütün olarak ele alınmış ve kullanılan P-Medyan ve K-ortalamlar modellerinin sonuçları birbirine yakın olsa da P-Medyan modelinin daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu beklenen bir durumdur, çünkü P-medyan modelinde hesaplamalar yapılırken konumlar arası uzaklıklar, gerçek mesafeler olarak ele alınmıştır. K-ortalamlar yaklaşımında mesafe metriği olarak kullanılan Öklid mesafesi yerine farklı mesafe metrikleri kullanılarak performans değişimi gözlemlenebilir. Ancak ara depo ve merkez sayısının çok daha fazla olduğu problemlerde P-medyan modeli, çözüm süresi açısından verimsiz olacaktır. Bu yüzden kıyaslanan K-ortalamlar modeli sonuçlarına bakıldığında büyük boyutlu problemlerde kullanılabilir olduğu ve çözüm süresi açısından matematiksel modellere göre avantajlı olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın amacı, aşı gibi raf ömrü kısa ürünleri acil durumlarda merkezlere ulaştırmak üzere ulaştırma ağı oluşturacak, düşük maliyetle araç rotalarını hazırlayacak ve hızlı çözüm verecek bir sistemin geliştirilmesidir. Sonuç olarak iki aşamalı yerleştirme-rotalama problemi için hazırlanan çözüm modeli makul sürelerde düşük maliyetli uygun çözümler sunabilmektedir.

Gelecekte, bu çalışmada aşamalı olarak uygulanan modellerin tek bir model haline getirilip çok daha fazla ara depo ve merkezin bulunduğu problemlere uygulanarak P-Medyan ve K-ortalamlar modellerinin etkinliklerine dair tartışmalar gerçekleştirilerek geliştirilebilir.

## 5 Conclusions

Since the Covid-19 virus has turned into a pandemic around the world, it is of great importance for our country to ensure that the disrupted education, health services, social activities and daily life return to normal as soon as possible. For a two-echelon location-routing problems, in the first stage, hubs and centers were tried to be determined according to the appropriate cluster number range, then vehicle routing was made in the second stage. Finally, the studies were considered as a whole, and it was seen that the P-Means model was more appropriate than the K-Means model. The aim of the study is to develop a systematic that will create a transportation network, prepare low-cost vehicle routes, and provide quick solutions to deliver products with a short shelf life such as vaccines to the centers in emergency situations. As a result, the solution model prepared for the two-stage placement-routing problem can offer low-cost and affordable solutions in reasonable time.

In future studies, it can be developed by making the mathematical models applied gradually in this study into a single model, producing solutions according to cost integrated objective functions, or discussing the solution of the current problem with heuristic methods.

## 6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Merhad AY literatür araştırması, matematiksel modellerin hazırlanması, algoritmaların kullanılması, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik aşamasında; Bengü AKDOĞAN ve Elif Morrice FİDAN matematiksel modellerin hazırlanması ve sonuçların elde edilmesinde; Lale ÖZBAKIR matematiksel modellerin tasarımı, içerik açısından modellerin kontrol edilmesi ve fikrin geliştirilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

## 7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur"

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır."

## 8 Kaynaklar

- [1] Memikoğlu O, Genç V. *COVID-19*. 1. baskı. Ankara, Türkiye, Ankara Üniversitesi Basımevi, 2019.
- [2] The Guardian. "UK approves Pfizer/BioNTech Covid Vaccine for Rollout Next Week". <https://www.theguardian.com/society/2020/dec/02/pfizer-biontech-covid-vaccine-wins-licence-for-use-in-the-uk> (02.12.2020).
- [3] Yavuz E. "Covid-19 aşılı". *Türk Aile Hekimleri Dergisi*, 24(4), 227-234, 2020.
- [4] Dai Z, Aqlan F, Gao K, Yefu Zhou. "A two-phase method for multi-echelon location-routing problems in supply chains". *Expert Systems with Applications*, 115, 618-634, 2018.
- [5] Wu T, Low C, Wei J. "Heuristic solutions multi-depot location-routing problems". *Computers & Operations Research*, 29, 1393-1415, 2002.
- [6] Hemmelmayr V, Cordeau J, Crainic T. "An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics". *Computers & Operations Research*, 39, 3215-3228, 2012.
- [7] Govindan K, Jafarian A, Khodaverdi R, Devika K. "Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time Windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food". *International Journal Production Economics*, 152, 9-28, 2014.
- [8] Tuzun D, Burke LI. "A two-phase tabu search approach to the location routing problem". *European Journal of Operational Research*, 116(1), 87-99, 1999.
- [9] Nguyen VP, Prins C, Prodhon C. "Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking". *European Journal of Operational Research*, 216(1), 113-126, 2012.
- [10] Schwengerer M, Pirkwieser S, Raidl GR. "A variable neighborhood search approach for the two-echelon location-routing problem". In *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, Berlin, Germany, 11-13 April 2012.
- [11] Vidović M, Ratković B, Bjelić N, Popović, D. "A two-echelon location-routing model for designing recycling logistics networks with profit: MILP and heuristic approach". *Expert Systems with Applications*, 51, 34-48, 2016.
- [12] Cao JX, Wang X, Gao J. "A two-echelon location-routing problem for biomass logistics systems". *Biosystems Engineering*, 202, 106-118, 2021.
- [13] Kaveh P, Sahraeian R, Zade AS. "Solving capacitated p-median problem by hybrid k-means clustering and FNS algorithm". *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1(4), 405-410, 2010.
- [14] Klastorin TD. "The p-median problem for cluster analysis: A comparative test using the mixture model approach". *Management Science*, 31(1), 84-95, 1985.
- [15] Brusco MJ, Köhn HF. "Optimal partitioning of a data set based on the p-median model". *Psychometrika*, 73(1), 89-105, 2008.
- [16] Köhn HF, Steinley D, Brusco MJ. "The p-median model as a tool for clustering psychological data". *Psychological methods*, 15(1), 87-95, 2010.
- [17] Syakur M. "Integration K-Means clustering method and Elbow method for identification of the best customer profile cluster". *The 2nd International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering*, Surabaya, Indonesia, 9 November, 2018.
- [18] Hakimi SL. "Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph". *Operations research*, 12(3), 450-459, 1964.
- [19] Bastı M. "P-medyan tesis yeri seçim problemi ve çözüm yaklaşımları". *AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi*, 3(7), 47-75, 2012.
- [20] MacQueen J. "Some methods for classification and analysis of multivariate observations". *Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, USA, 21 June-18 July 1965.
- [21] Mohd W, Beg A, Herawan T, Rabbi K. "MaxD K-means: A clustering algorithm for auto-generation of centroids and distance of data points in clusters". *Communications in Computer And Information Science*, 316, 192-199, 2012.
- [22] The New York Times. "How Pfizer Plans to Distribute Its Vaccine (It's Complicated)". <https://www.nytimes.com/2020/11/12/business/pfizer-covid-vaccine-coronavirus.html> (20.11.2020).
- [23] Borcinova Z. "Two models of the capacited vehicle routing problem". *CRORR*, 8, 463-469, 2017.
- [24] Polat O, Kalaycı O, Bilgen B, Topaloğlu D. "An integrated mathematical model for the milk collection problem". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(9), 1087-1096, 2020.
- [25] Küçük M, Topaloğlu YŞ. "A constraint programming approach for the pickup and delivery problem with time windows". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(9), 1041-1049, 2020.
- [26] Sağlık Bakanlığı. "Sözleşmesi İmzalanan Şehir Hastaneleri". <https://sygm.saglik.gov.tr/TR,33960/sehirhastaneleri.html> (21.06.2021).
- [27] Türkiye İstatistik Kurumu. "Nüfus ve Demografi". <https://www.tuik.gov.tr> (10.11.2021).