



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Hastanelere aşı dağıtımı için uygun rotaların belirlenmesi: Ankara ili örneği

Determining suitable routes for vaccine distribution to hospitals: Application of Ankara province

Yazar(lar) (Author(s)): Beste DESTİCİOĞLU¹, Kemal Gürol KURTAY², Aygün ALTUNDAŞ³, Hakan Ayhan DAĞISTANLI⁴

ORCID¹: 0000-0001-8321-4554

ORCID²: 0000-0003-4268-2401

ORCID³: 0000-0002-0461-6780

ORCID⁴: 0000-0003-2205-183X

To cite to this article: Desticioğlu B., Kurtay K. G., Altundaş A. ve Dağıstanlı H.A., “Hastanelerin aşı dağıtımı için uygun rotaların belirlenmesi: Ankara ili örneği”, *Journal of Polytechnic*, 26(1): 231-241, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Desticioğlu B., Kurtay K. G., Altundaş A. ve Dağıstanlı H.A., “Hastanelerin aşı dağıtımı için uygun rotaların belirlenmesi: Ankara ili örneği”, *Politeknik Dergisi*, 26(1): 231-241, (2023).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1014921

Hastanelere Aşı Dağıtım İçin Uygun Rotaların Belirlenmesi: Ankara İli Örneği

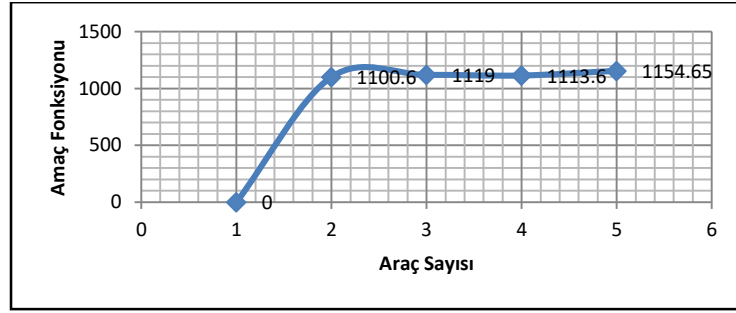
Determining Suitable Routes for Vaccine Distribution to Hospitals: Application of Ankara Province

Önemli noktalar (Highlights)

COVID 19 hastalığının yayılmasında etkili olan COVID 19 aşısının hastanelere, belirli bir zamanda minimum maliyet ile taşınmasını sağlayacak şekilde uygun rotaların oluşturulması için matematiksel model geliştirilmiştir. / A mathematical model has been developed to create suitable routes to ensure that the COVID 19 vaccine, which is effective in the spread of COVID 19 disease, is transported to hospitals with minimum cost within a certain time.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Ankara ilinde bulunan hastanelere minimum maliyet altında aşı dağıtımının gerçekleştirilmesi için geliştirilen model farklı araç sayıları ile denenerek optimum sonuç belirlenmeye çalışılmıştır. / The model developed for the distribution of vaccines to hospitals in Ankara at minimum cost was tried with different vehicle numbers and the optimum result was tried to be determined.



Şekil. Araç Sayısı ile Amaç Fonksiyonu Değerindeki Değişimin İncelenmesi / Figure. Examining the Change in the Value of the Objective Function with the Number of Vehicles

Amaç (Aim)

Çalışmada aşuların bir dağıtım merkezinden hastanelere, minimum maliyet altında taşınmasının sağlanması amacıyla matematiksel model geliştirilmiştir. / In the study, a mathematical model has been developed in order to ensure that vaccines are transported from a distribution center to hospitals at minimum cost.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Belirli bir süre içerisinde aşuların hastanelere dağıtılması problemin, mesafe kısıtlı araç rotalama problemine benzediği varsayılarak bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur. / A mathematical model is proposed, assuming that the problem of delivering vaccines to hospitals within a certain period of time is similar to the distance-restricted vehicle routing problem.

Özgünlük (Originality)

Araştırmacılar tarafından COVID 19 aşı dağıtım problemi daha önce incelenmemiştir. / The COVID 19 vaccine distribution problem has not been previously studied by researchers.

Bulgular (Findings)

Geliştirilen model Ankara ilinde yer alan hastaneler aşı dağıtım problemi için çözülmüştür. / The developed model is solved for the vaccine distribution problem in hospitals located in Ankara.

Sonuç (Conclusion)

Farklı araç sayıları çözülen problemde, minimum maliyete 2 araç ile dağıtım yapıldığında ulaşıldığı tespit edilmiştir. / In the problem, which was solved by trying different vehicle numbers, it was determined that the minimum cost was reached when the distribution was made with 2 vehicles.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Hastanelere Aşı Dağıtımını İçin Uygun Rotaların Belirlenmesi: Ankara İli Örneği

(Bu çalışma LMSCM 2021 konferansında sunulmuştur. / This study was presented at LMSCM 2021 conference.)

Araştırma Makalesi / Research Article

Beste DESTİCİOĞLU^{1*}, Kemal Gürol KURTAY², Aygün ALTUNDAŞ², Hakan Ayhan DAĞISTANLI²

¹ Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü, Harekât Araştırması Ana Bilim Dalı, Millî Savunma Üniversitesi, Türkiye

² Kara Harp Okulu, Endüstri ve Sistem Mühendisliği, Millî Savunma Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 26.10.2021 ; Kabul/Accepted : 02.11.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 15.11.2021)

ÖZ

Çin'in Wuhan kentinde başlayıp tüm dünyaya yayılan COVID-19 salgını ile birlikte geleneksel uygulamalarda değişiklikler yaşanmaya başlamış ve bu gelişmelerle paralel olarak yeni problemler ortaya çıkmaya başlamıştır. COVID-19 salgınıyla ortaya çıkan bu problemler, araştırmacıların ilgisini çeken konular arasında yer almaktadır. Hem ülkemizin hem de dünyanın bu salgınla başa çıkabilmesi için tüm nüfusun aşılanarak toplum bağışıklığının sağlanması önem kazanmaktadır. Aşılanacak kişi sayısındaki artışla beraber, hastanelerin aşı kapasitelerinin belirlenmesi, aşı uygulaması yapılacak hastanelerin seçilmesi, hastanelere aşı dağıtım rotalarının belirlenmesi gibi yeni problemler karşımıza çıkmaktadır. Araç rotalama problemi ilk olarak 1950'li yıllarda literatürde yerini almaya başlamış ve günümüzde farklı varsayımlar altında yeni problem için uyarlanabilen, gelişmeye açık bir problem alanı olarak görülmektedir. Bu çalışmada, aşuların bir dağıtım merkezinden uygulama yapılacağı hastanelere en kısa sürede, minimum maliyet altında taşınmasının sağlanması amacıyla bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur. Bu problem için, literatürde yer alan araç rotalama problemi modelleri kullanılarak yeni bir matematiksel model önerisi yapılmıştır. Geliştirilen modelin etkinliğini analiz etmek için Ankara ili için bir uygulama yapılmış ve oluşturulan problem GAMS 24.1.3 programında kodlanarak çözülmüştür. Problemin çözümünde elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, hastaneleri ziyaret edecek araçların minimum maliyetli rotaları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, dağıtım problemi, matematiksel model, araç rotalama problemi.

Determining Suitable Routes for Vaccine Distribution to Hospitals: Application of Ankara Province

ABSTRACT

With the COVID-19 epidemic, which started in Wuhan, China in 2019 and spread all over the world, changes in traditional practices began to occur and new problems emerged in parallel with these developments. These problems, which emerged with the COVID-19 pandemic, have become a subject that attracts the attention of researchers. In order for the world to cope with this epidemic more quickly, it is important to ensure community immunity by vaccinating the population both in our country and in the world. With the increase in the supply of vaccines, new problems arise such as determining the capacities of hospitals where vaccines will be administered, choosing hospitals where vaccines can be administered, and determining routes to distribute vaccines to hospitals. Vehicle routing problem first started to take its place in the literature in the 1950s, and today it is seen as an open problem area that can be adapted for the new problem under different assumptions. In this study, a mathematical model has been proposed in order to ensure that vaccines are transported from a distribution center to the hospitals where they will be administered, as soon as possible and at minimum cost. For this problem, a new mathematical model has been proposed by using the vehicle routing problem models in the literature. In order to test the effectiveness of the developed model, an application example was made for the province of Ankara and the problem was solved in the GAMS 24.3.1 program. By evaluating the results obtained in the solution of the problem, the minimum cost routes of the vehicles to visit the hospitals were determined.

Keywords: COVID-19, distribution problem, mathematical model, vehicle routing problem.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanlık tarihinin her döneminde bir bölgede veya tüm dünyada ortaya çıkan salgın hastalıklar olduğu bilinmektedir. Yayıldığı bölgede nüfusun önemli bir kısmının ölümüne ve devletler için büyük ekonomik buhranlara neden olan salgınlar, tarihte toplumların siyasi, kültürel, sosyoekonomik ve askerî yapılarını etkilemiş; imparatorlukların çökmesi, sınırların

değişmesi gibi siyasal, ekonomik ve demografik sonuçlar doğurmuştur. Tüm bu sebeplerden dolayı salgınlar devletler için hızlı bir şekilde başa çıkılması gereken problemler olmuş ve bu problemlerin çözümü için yeni metotlar geliştirilmiştir.

Günümüzde de Çin'in Wuhan şehrinde 2019 yılında başlayan ve tüm dünyaya yayılarak Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi olarak tanımlanan COVID-19 salgını hastalığı ile beraber aşuların taşınması ve muhafazasında uygulanan geleneksel yöntemler yetersiz kalmış ve bu

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : bdesticioglu@kko.msu.edu.tr

yöntemler üzerinde değişikliklerin yapılmasına gerek duyulmuştur. Bu değişmelerle birlikte mevcut yöntemlerde zorunlu gelişmeler yaşanmış ve bu gelişmelere paralel olarak yeni sorunlar ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan sorunların çözüme ulaştırılması gerektiğinden bu salgın araştırmacıların ilgisini çeken bir konu haline gelmiştir.

COVID-19 pandemisi ile birlikte ortaya çıkan sorunlardan en önemlisi salgının bulaşma hızının azalmasında etkili olan aşuların dağıtım ve uygulanmasındaki zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm devletler, bu salgınla daha hızlı baş edebilmek ve halkın sağlığının bu salgından en az oranda etkilenmesi için tüm nüfusunu aşılayarak toplum bağışıklığını sağlanmaya yönelik ciddi çalışmalar yapmaktadır. Piyasaya sürülen aşı miktarındaki artışla birlikte devletler, aşı yapılacak hastanelerin seçilmesi ve bu hastanelerin kapasitelerinin belirlenmesi, hastanelere aşı dağıtım yollarının oluşturulması gibi çözümü zor problemler ile karşılaşmışlardır. Bu problemlerden bir tanesi de aşuların istenen zamanda, istenen yerde ve talep edilen miktarda bulundurulmasıdır.

Araç rotalama problemi (ARP), her biri kendi arz noktasından hareket eden ve yine bir arz noktasına dönen araçlar tarafından gerçekleştirilen, talep noktalarının tüm ihtiyaçlarını verilen kısıtlar altında karşılayan ve taşıma maliyetlerini veya katedilen mesafenin/sürenin en küçükleme rotaların belirlenmesi problemidir. Değişik lokasyonlarda bulunan müşterilerin taleplerinin, tek veya daha fazla depodan, bir veya çok araçla karşılanması problemi Araç Rotalama Problemi (ARP) şeklinde tanımlanmaktadır. ARP’de amaç, dikkate alınan kısıtlar altında minimum maliyet veya minimum mesafenin kat edilmesiyle en uygun rotaların belirlenmesidir [1]. ARP, ilk olarak Dantzig ve Ramser’in 1959 yılında yaptığı “The Truck Dispatching Problem” başlıklı çalışma ile literatürde yerini almıştır. Bu çalışmada, benzin istasyonlarına benzin dağıtım için ilk matematiksel programlama çözüm modeli kurulmuştur [2,3]. Araç rotalama problemi, farklı varsayımlara ve yeni problemlere uyarlanabilen önemli bir problem alanıdır. Araçların dağıtım ve toplama faaliyetlerini aynı araçla gerçekleştirmeleri, atıkların toplanması, ürünlerin taşınması gibi gerçek hayat problemlerinde karşımıza çıkan ARP için birçok matematiksel model önerisinde bulunulmuş ve bu modellerin çözülebilmesi için birçok algoritma geliştirilmiştir [4].

Bu çalışmada Ankara ilinde yer alan devlet, üniversite ve vakıf üniversitesi hastanelerine aşı dağıtımının yapılabilmesi için uygun rotaları belirleyecek mesafe kısıtlı araç rotalama problemi (MKARP) incelenmiştir. Literatürdeki araç rotalama problemi modelleri taranmış ve bu modeller üzerinde problemin ihtiyaçları doğrultusunda değişiklikler yapılarak yeni bir model önerisinde bulunulmuştur.

MKARP, araçların rota içinde gidebilecekleri mesafenin sınırlandırıldığı problem tipidir. Araçların kat ettikleri mesafe, ziyaret ettikleri müşteriler için gittikleri mesafeye bağlı olarak birbirinden farklı olabilir ama

hiçbir durumda belirlenen mesafe kısıtını aşamaz. Bu problem tipinde, müşteriye hizmet verilirken mesafe kısıtının yanında uyulması gereken bazı kısıtlar dikkate alınmaktadır. Örneğin araç sürücüsünün mesai saatleri belirli olduğundan çalışma süresi boyunca dağıtımın tamamlanması, ya da taşınan ürünün belli bir zamana kadar taşınması gerektiği durumlarda bu kısıtlamaların dikkate alınması önem taşımaktadır [3]. Ürün ile ilgili olarak taşınan malların tehlikeli tipte olması, uzun süre taşıma nedeniyle bozulması söz konusu olabileceğinden mesafeye ek olarak rotalama problemine ait süre kısıtında dikkate almak gerekmektedir. Bu sebeple, lojistik hizmetleri, tehlikeli malzeme taşıma ve satış temsilcisi problemleri bu sınıfa giren gerçek hayat problemlerinden bazılarıdır. Bahsedilen tüm bu problem tipleri için müşterilerin teslim alma veya teslimat zorunluluğu olmadığı durumlarda teslimat süreleri dikkate alınmaksızın sadece mesafe kısıtlamaları ile ziyaret edilmesi gerektiği söylenebilir [4].

Bu çalışmada, aşuların teslim alındığı ve depolandığı bir depodan, aşı dağıtımının tüm Ankara’ya yapılması üzerinde durulmuştur. Ankara’da Covid konusunda en uzman hastane olan ve imkân ve kabiliyetleri en üst seviyede olan Ankara Şehir Hastanesi dağıtım yeri olarak ele alınmıştır. Matematiksel model oluşturulurken merkez depodan devlet, üniversite ve vakıf üniversitesi hastanelerine aşı dağıtımının yapılabilmesi için uygun rotaların oluşturulacağı mesafe kısıtının dikkate alındığı ARP incelenmiştir. Çalışmada ilk MKARP için bir model önerisinde bulunulmuş ve model belirli bir zaman dilimi içerisinde tüm aşular ulaştırılmayı amaçlayan, Ankara ilinde yer alan devlet hastanelerine aşı dağıtım rotalarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Modelde yer alan değişkenler değiştirilerek modelin etkinliği analiz edilmiş ve dağıtım gerçekleştirilen araçların rotaları belirlenmiştir.

Literatürde ARP’nin 1950’den beri çalışılan bir konu olduğu, günümüzde ise farklı kısıtlar altında araştırmacılar tarafından sıklıkla çalışılan dikkat çekici konulardan biridir. Literatürde farklı kısıtlar dikkate alınarak çalışılmış birçok çalışma yer almaktadır. Günümüzde bu problemin, gerçek hayat problemlerine de yaygın bir şekilde uygulandığı görülmektedir. Bu bölümde son yıllarda MKARP konusunda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Rabbani ve arkadaşları çalışmalarında atıkların kontrolü için heterojen filolu tesis seçimi ve ARP’yi incelemişlerdir. Atık toplamaı ilgilendiren maliyet kalemleri ile rota maliyetini dikkate alan matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Model GAMS yazılımı kullanılarak çözüme ulaştırılmış, daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için ise sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Problemin sonucunda elde edilen tur uzunlukları karşılaştırılmıştır [7].

Florio, Hartl ve Minner çalışmalarında tek araçlı stokastik rotalama problemi için mesafeleri minimize ederken yüklemeleri optimize etmeyi amaçlayan matematiksel model önerisinde bulunmuşlardır. Model

kurulurken Markov Karar prensibinden faydalanılmış daha sonra karışık tamsayılı doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür. Önerilen model küçük boyuttaki problemlerin çözümünü gerçekleştirebildiği bir örnek üzerinde gösterilmiştir [8].

Poonthalir ve Nadarajan, yaptıkları çalışmada mesafe ve araç hızı kısıtlarını içeren yeşil rotalama problemini incelemişlerdir. Kurulan matematiksel model hedef programlama yaklaşımı ile hem mesafeyi minimize etmeyi hem de yakıt tüketimini optimize etmeyi amaçlamaktadır [9].

Calvet ve arkadaşları çalışmalarında çok depolu bir problemde sınırlı araç ile çalışarak gerçek hayat senaryosundaki talepleri karşılamaya yönelik bir model önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada araçların kapasiteleri ve gidebilecekleri maksimum mesafe kısıtları bağlayıcı kısıtlar olarak yer almaktadır. Taleplerin belirsizliğini dikkate alarak stokastik olarak dizayn edilmiş model, literatürdeki deterministik problemler üzerinde de denenerek sonuçların doğruluğu kontrol edilmiştir [10].

Cuevas ve arkadaşları nakliye şirketleri için kapasite kısıtlı ARP'yi incelemişlerdir. Problemde lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde ulaşım sorunları dikkate alınarak bir depodan hareket eden homojen kapasiteye sahip bir araç filosunun kullanıldığı varsayılmıştır. Nakliye şirketinden elde edilen gerçek verilerle bir matematiksel model oluşturmuşlar ve modelin etkinliğini analiz etmişlerdir. Kurdukları model ile dağıtım maliyetlerinin azaldığını belirtmişlerdir [11].

Akakaki ve Usberti çalışmalarında kapasiteli ark problemi üzerine inceleme yapmışlardır. Kapasite kısıtları altında homojen araç filosu ve bir depodan hareketle başlayan rotaların optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Problemde araçların konumu, mesafeler ve talep miktarları dikkate alınmıştır. Birkaç örnekle modelin etkinliğini analiz etmişler ve çözüm için model ve sezgisel algoritma önerisinde bulunmuşlardır [12].

Benrahou ve Tairi bir toplama sürecini yönetmek için Cezayir'de petrol dağıtım ve pazarlama şirketinde inceleme yapmışlardır. Problem için kurdukları matematiksel modeli en yakın arama buluşsal algoritmasına adapte edip çözmüşlerdir. 26 düğümün bulunduğu problemin sonucunda mesafe, gerçek hayat probleminde kullanılan rotaya göre %29 oranında azalmıştır [13].

Mulloorakam ve Nidhiry işletmelerde zorunlu ve hayati bir alan olan lojistik üzerine çalışmışlardır. Çalışmada araç sayısı ve toplam mesafe arasında bir denge kurulması üzerinde durulmuştur. Problemde merkezi bir depodan, bir dizi müşteriye hizmet verilmeye çalışılmaktadır. Müşteri talepleri daha önceden bilinmektedir. Problemin çözümü için genetik algoritma tekniğinden faydalanılmıştır. Sonuçlar hakkında yapılan araştırmalar ile son derece rekabetçi ve verimli yönlendirme yapıldığı öne sürülmüştür [14].

Almouhanna ve arkadaşları taşıma filolarına elektrikli araçların dahil edilmesiyle ortaya çıkan problemi

incelemişlerdir. Elektrikli araçların sürüş menzilleri pil süreleri ile sınırlı olduğundan dolayı problemin ana kısıtı mesafe olarak ele alınmıştır. Çok depolu ARP'nin çözümü için matematiksel model geliştirilmiş ve değişken komşu arama sezgisel yardımcıyla çözüme ulaştırılmıştır. Problemin sonucunda yüksek bir süre ile de olsa kullanışlı bir rota elde edilmiştir [15].

Abdallah ve Adel çalışmalarında lojistik sektöründeki maliyetlerin önemli bir kısmının taşımacılık faaliyetlerinden çıktığından yola çıkarak elektrikli araçlar üzerine bir inceleme yapmışlardır. Araçların pil kapasiteleri ile uzun şarj süreleri, sevkiyat mesafesi ve güzergâhın üzerinde araştırma yapma ihtiyacını doğurmaktadır. Gerçek hayat problemleri için araçların ortalama bir hızla hareket ettiği düşünülerek bir fonksiyon önerilmiştir. Önerilen fonksiyon genetik algoritma yardımıyla birçok gerçek problemde denenmiştir. Sonuçların da performansı optimize edebildiği ve model davranışlarının tutarlı olduğu görülmüştür [16].

Granada-Echeverri, Cubides ve Bustamante elektrikli araçlar üzerine çalıştıkları problemde karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile çözüme gitmeye çalışmışlardır. Bu model ile hat taşıma ve ana taşıma yollarının durumunu koruyup, uğranılması gereken şarj istasyonları dikkate alınmaktadır. Modelin çalışması ve etkinliği literatürdeki klasik rotalama modelinin elektrikli araçlar için uyarlanmış halidir ve model test edilmek için 2 farklı örneğe uygulanmıştır [17].

Lysgaard ve arkadaşları çalışmalarında en uzun rota zamanının minimizasyonunun sağlandığı kapasite kısıtlı problemin çözümü için karma tamsayılı doğrusal programlama modelini geliştirmiş ve modelin çözümü için metasezgisel yöntemleri bütünleştiren bir algoritma kullanmışlardır. Yapılan çözümler sonucunda problemde kullanılan çoklu başlatma algoritması tarafından sağlanan ilk çözümler daha da iyileştirilmiş ve en kısa rota süreleri elde edilmiştir. Kurulan modelin küçük ve orta ölçekli işletmeler için rahatlıkla en iyi çözümü verdiği yapılan çalışmada ifade edilmiştir [18].

Corberan ve arkadaşları çalışmalarında en yakın mesafeyi kullanarak bir dizi müşteriye hizmet veren problemi incelemişlerdir. Her müşteriye rotanın kendilerine yakın bir kesimi ile ilişkilendirmişlerdir. Rotaların uzunluğu belirli değerlerle sınırlıdır ve amaç bu rotaların toplam mesafesini en küçükmeye çalışmaktır. Problemin temeli oluşturulurken sayaç okuma problemlerinden esinlenilmiştir. Çalışmada tek depo, 5 araç ile 140 müşteriye ulaşılması için bir matematiksel model önerilmiştir. Çalışma sonucunda her araç için rotalar ve toplam mesafeler tespit edilmiştir [19].

Bassoa, Kulcsár ve Sanchez-Diaz elektrikli araçlarla ilgili bir problemde kısmi şarjlı zamana bağlı ARP'yi ele almışlardır. Rotaların belirlenmesi için problem ikiye ayrılmıştır. İlki en iyi yolların bulunması ikincisi ise yolların optimize edilmeye çalışması şeklinde tasarlanmıştır. Çalışmada İsveç'in Göteborg şehrinde 24 saatlik trafik, araç kapasiteleri ve mesafeler dikkate

alınarak toplu taşıma güzergâhı simüle edilip doğrulanmaya çalışılmıştır. Problemin çözümü için literatürdekilere benzer deterministik bir model önerilmiştir. Sonuçta güzergâhların belirlendiği bir rota çizilmiştir [20].

Ceselli ve arkadaşları elektrikli araçların rotalarının oluşturulmasının dikkate alındığı problem için bir optimizasyon algoritması sunmuşlardır. Algoritma ile 30 müşteriye, 9 şarj istasyonu ve 5 araçlı örneklerin çözümünü yaparak algoritmanın doğruluğu kanıtlanmış olup, optimumluğa kadar çözüm sunabildiği ifade edilmiştir. Genel amaçlı bir problem için çoklu teknolojiler ile optimale en yakın sezgisel çözümler elde edilmiştir [21].

Ghobadi ve arkadaşları çok depolu elektrikli araç rotalama problemi için araç kapasiteleri, bulanık zaman penceresi kısıtlarını göz önünde bulundurarak deterministik bir model oluşturmuşlardır. Bulanık zaman pencereleri NP-zor problem olduğundan metasezgiseller ile çözüme ulaşmaya gitmişlerdir. Çözüm için simüle edilmiş tavlama, değişken komşuluk araması ve bu sezgiselin bir melezi olan 3 metasezgisel kullanılmıştır. Bu algoritmaların parametrelerinin etkinliği Taguchi yöntemi ile ölçülmüştür. Önerilen melez değişken komşu algoritması ile elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmüştür [22].

Dalbah ve arkadaşları kapasiteli rotalama sorunlarının NP-zor çözelgeleme problemleri olduğundan yola çıkmışlardır. Çalışmada bir dizi dağıtım müşteriye hizmet veren araçlar için minimum maliyetle rota oluşturulması amaçlanmıştır. Ele alınan problem için Koronavirüs Sürü Bağışıklığı Optimize Edici yeni bir metasezgisel tabanlı algoritma denemışlerdir. Modifiye ettikleri algoritma için 27 farklı modelle sonuçları karşılaştırıp rekabetçi çözümler elde etmişlerdir. Çözüm sonuçlarının 27 modelin 8'inde ilk sırada yer aldığını tespit edip algoritmanın verimli bir şekilde kullanılabilirliğini öne sürmüşlerdir [23].

Küçüköğlü, Dewil ve Cattrysse çalışmalarında elektrikli araç rotalama problemleri ve bu problemlerin değişken varyasyonları için çok geniş bir literatür çalışması yapmışlardır. Çalışmada basit halde matematiksel modele değinilmiş, 136 makale ve makalelerin çeşitli başlıklar altında incelemesi yapılmıştır. Elektrikli araçlar özelinde doğrusal, doğrusal olmayan ve stokastik olarak sınıflandırma ayrıca doğrusal deterministik makalelerin ise mesafe, araç hızları, araç yükleri, araç rotaları ve zaman kısıtlarından hangilerini içerdiği tablolar halinde sunulmuştur. İncelenen makalelerin yıllara göre dağılımı, kısıtların tipleri, metasezgisel çözüm yaklaşımı kullanma durumları gibi çok ayrıntılı sınıflandırmalara da çalışmada yer verilmiştir [24].

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Günümüzde artan rekabet şartları nedeniyle işletmelerin rakip işletmelerle mücadele edebilmesi için, maliyetleri düşürmeleri, müşterilerine daha kaliteli ve daha hızlı bir şekilde hizmet vermeleri gerekmektedir. İşletmelerin katlandıkları maliyetler incelendiğinde ise, ürünlerin müşterilere dağıtım esnasında katlanılan lojistik maliyetlerinin oranının yüksek olduğu görülmektedir. İşletmelerin hem bu maliyetleri aşağıya çekmek hem de yakıt tüketimini azaltarak artan karbon gazı emisyonunu düşürmek için araçlar için uygun rotaların oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada da belirli bir süre zarfında hizmet verilmesinin varsayıldığı ve araç kapasite kısıtları dikkate alınarak geliştirilen ARP incelenmiştir.

2019 yılının sonlarına doğru hayatımıza giren COVID 19 salgını, birçok alanda değişikliklere neden olmuş ve beraberinde yeni uygulamalar, problemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu çalışmada da COVID 19 salgınıyla başa çıkabilmek için etkili olduğu düşünülen COVID 19 aşısının dağıtım problemi mesafe kısıtlı araç rotalama problemi (MKARP) olarak modellenmiştir. Problemde bir depodan tüm devlet hastanelerine dağıtım yapılabilmesi için minimum mesafeli rotaların oluşturulması problemi incelenmiştir. İncelenen problemin matematiksel modelinin geliştirilmesinde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

1. Bir araç rotasına depoda başlar ve rota tamamlandığında depoya geri döner.
2. Müşterilere yalnız bir depodan hizmet verilmektedir ve deponun aşırı kapasitesinin tüm ihtiyacı karşılayacak şekilde olduğu kabul edilmiştir. Depodan günlük olarak gönderilen aşırı miktarı ile ilgili herhangi bir kapasite sınırlandırması bulunmamaktadır.
3. Her müşteri bir araç ile yalnız bir kere ziyaret edilmektedir
4. Depodan hareket eden araçlar aynı kapasite ve özelliklere sahip olan homojen araçlardır.
5. Araçların kapasitesi belirlidir ve aracın taşıdığı yük miktarı aracın kapasitesini aşmamalıdır.
6. Araçların dağıtım çıktığı gece saatlerinde, trafik yoğunluğunun olmamasından dolayı 60 km sabit hızla hareket edebilecekleri varsayılmıştır.
7. Araçlar için rota boyunca yakıtları yettiği sürece kat edecekleri bir mesafe kısıtlaması bulunmamaktadır. Bu kısıtlama araç şoförü mesai saati ve araç hızı ile belirlenmiştir. Araçların, taşınan malzemenin aşırı olması, yolda geçirilecek sürenin aşırının korunması açısından önemli olması ve sabah hastanelerde aşılanmanın başlayacak olması nedenleriyle belirlenen mesafe uzunluğundan daha fazla yol gitmesine izin verilmemektedir.

8. Amaç, toplam kat edilen mesafenin minimize edilmesidir.
9. Müşteriler (hastaneler) arası uzaklıklar önceden hesaplanmıştır. Bu hesaplama için farklı yollardan en kısa olan mesafe kabul edilmiştir.

Problemin matematiksel modeline ilişkin notasyonlar ve ifadeler aşağıda sunulmuştur.

Kümeler

N: Depo ve hastanelerden oluşan küme (0 noktası depo olarak kabul edilmiştir.)

N_c : Hastanelerin kümesi

K: Araçların kümesi

Parametreler

Q_k : k aracının kapasitesi

c_{ij} : (i,j) noktaları arasındaki uzaklık

d_i : i hastanesinin talebi

T_k : k aracının gidebileceği maksimum mesafe

Karar Değişkenleri

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, k \text{ aracı } i' \text{ den } j' \text{ ye hareket ediyorsa} \\ 0, \text{ Aksi takdirde} \end{cases}$$

Değişkenler

U_k : k aracındaki (rotasındaki) alt turları elemek için kullanılan yardımcı değişken

Literatürde yer alan modeller incelenerek aşı dağıtım rotalarının belirlenebilmesi için problem MKARP şeklinde düşünülmüştür. Toplam maliyetin/kat edilen mesafenin minimizasyonunun amaçlandığı matematiksel model, literatürdeki modeller baz alınarak düzenlenmiştir [3, 25]. Literatürde yer alan modellere bir depodan K adet aracın hareket etmesi ve rota sonunda depoya K adet aracın geri dönmesi için gerekli kısıtlar ile alt turların engellenmesi amacıyla yeni kısıtlar eklenerek yeni matematiksel model aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Amaç Fonksiyonu

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N_c, i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N_c} d_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N_c} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N_c} x_{i0k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in N_c, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j \in N_c} \sum_{k \in K} x_{0jk} \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N_c} \sum_{k \in K} x_{i0k} \leq K \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ijk} \leq T_k \quad \forall k \in K, i \neq j \quad (9)$$

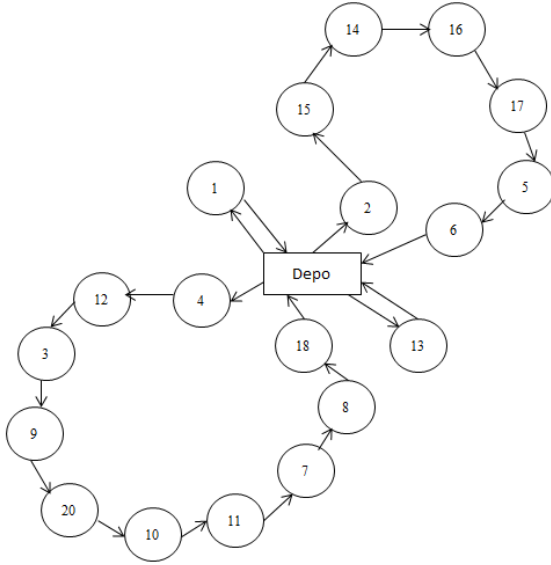
$$U_{ik} - U_{jk} + N * x_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall i, j \in N_c, k \in K \quad (10)$$

$$x_{ijk} = 0 - 1 \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K, i \neq j \quad (11)$$

$$U_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (12)$$

Amaç fonksiyonu her müşterinin bir kez ziyaret edilmesini sağlayarak, toplam kat edilen mesafeyi minimize etmektedir. 2 numaralı kısıt her müşteriye bir kez gidilmesini sağlamaktadır. 3 numaralı kısıt, araçta taşınan yük miktarının, aracın kapasitesini aşmasını engellemektedir. 4 ve 5 numaralı kısıtlar, her k aracı için depodan bir gelen bir de giden bağlantının olmasını sağlamaktadır. Bu sebeple depoya yapılan bağlantı sayısı, araç sayısının 2 katı olmaktadır. 6 numaralı kısıt akışı düzenlemektedir. Bir noktaya gelen bir araç varsa, araç mutlaka o noktadan ayrılmaktadır. 7 numaralı kısıt depodan en fazla K adet aracın ayrılmasını sağlamaktadır. 8 numaralı kısıt, depodan hareket eden K adet aracın, rota sonunda tekrar depoya dönmesini sağlamaktadır. 9 numaralı kısıt, rotada hareket eden k aracının, rota boyunca kat edeceği mesafenin, belirlenen sınırı aşmasını engellemektedir. 10 numaralı kısıt alt turların oluşmasını engellemektedir. 11 numaralı kısıt, x_{ijk} değişkeninin 0 ya da 1 değerini almasını sağlarken, 12 numaralı kısıt da U_{ik} değişkeni için pozitiflik kısıtını göstermektedir.

Kurulan modelin doğruluğunu görmek ve elde edilen sonuçların kıyaslamasını yapmak amacıyla Solomon tarafından geliştirilen küçük ölçekli test problemi kullanılmıştır [26]. 4 aracın depodan hareket ettiği varsayılarak oluşturulan test probleminin çözülmesiyle, 25 müşterili tek depolu problemde elde edilen sonuçlarda araç kapasitesinin hiçbir noktada aşılmadığı ve belirlenen mesafe kısıtı aşılmadan araçların rotalarının doğru şekilde belirlendiği görülmüştür. Modelin çözülmesiyle elde edilen şebeke Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. 25 müşterili problemin çözülmesiyle oluşturulan şebeke diyagramı (Network diagram created by solving 25 customer problem)

Şekil 1’de, depodan hareket eden 4 araca ait rotalar görülmektedir. Depo 0 noktası olarak belirlenmiştir. Buna göre, 1. Araca ait rota 0-13-0, 2. araca ait rota 0-1-0, 3. araca ait rota 0-2-15-14-16-17-5-6-0 ve 4. Araca ait rota ise 0-4-12-3-9-20-10-11-7-8-18-0 şeklinde oluşmuştur. Burada 4 araç zorunlu olarak çıkarıldığından 2 araç birer düğüme uğrayıp geri gelmiştir.

2.1. Modelin Uygulanması

Modelin uygulaması olarak belirlenen Ankara ilindeki aşı dağıtım probleminin özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Problemden Ankara ili baz alınarak merkez bir depodan Ankara ilinde yer alan devlet, üniversite ve vakıf üniversitesi hastanelerine günlük olarak aşı dağıtım yapılmaktadır. Dağıtımın gerçekleştirildiği hastanelere dair liste Ek 1’de verilmiştir.
- Covid konusunda uzman olan ve tüm imkân ve kabiliyetlere sahip olan Ankara Şehir Hastanesi dağıtımın gerçekleştirildiği depo olarak belirlenmiş olup, buradan Ankara’da bulunan 53 hastaneye aşı dağıtım gerçekleştirilmektedir.
- Talepler belirlenirken hastanelerin nüfus yoğunluğuna göre ayırdıkları aşı odası sayısı dikkate alınmıştır. Aşı odalarında yapılan günlük aşı miktarı incelendiğinde her aşı odası için bir kutu aşının yeterli olduğundan, her aşı odası için 1 kutu aşı bırakıldığı varsayılmıştır. Buna göre aşı odası sayısı hastanenin talep ettiği kutu miktarını göstermektedir.
- Aşı taşıyan araçların kapasiteleri 1 m³, 8 m³, 13 m³ ve 30 m³ olarak 4 tipte değişkenlik göstermektedir. Gerçek hayat probleminde uygun olarak en sık kullanılan araç olan 13 m³ kapasiteli araç ile taşıma yapılacağı varsayılmıştır [27].

- Aşılar dikdörtgen bir karton kutu içerisinde taşınmaktadır. Aşıların kutu ebatları (23*23*4) cm³ şeklindedir. Bir aracın taşıyabileceği aşı miktarı bu noktadan yola çıkarak yaklaşık 6000 kutu olarak hesaplanmıştır.
- Aşı mesai başlangıç saati sabah 08.00 olarak ele alınmıştır.
- Araç sürücülerinin çalışma saati 10 saat olarak ele alınmıştır. Bu yüzden mesafe kısıtı 10*60=600 olarak belirlenmiştir. Bu durumda araçların gece 22.00’da hareket ederek aşı dağıtımına başladıkları varsayılmıştır.
- Kutuların taşınması ve yerleştirilmesi için hastanede görevli personelin kullanıldığı düşünülerek merkez depodan aşıları yükleme ve uğranan müşterinin talebine göre indirme süreleri dikkate alınmamıştır.
- Araçların dağıtım saatinde trafik yoğunluğu olmaması, kaza riskini en az seviyede tutma amaçlı ortalama 60 km/saat hızla hareket ettikleri varsayılmıştır.
- Araç tipleri aynı olduğu için yakıt tüketimi dikkate alınmamış, maliyet yerine kat ettikleri mesafenin minimizasyonu ele alınmıştır.
- Matematiksel modelin analiz edilmesinde araç sayısı değiştirilerek en iyi sonucun elde edildiği durumdaki araç sayısı belirlenmiştir.

Çalışmada ilk olarak araçların 10 saat çalıştığı ve ortalama 60 km/sa’lik hızla hareket ettiği varsayılarak, mesafe kısıtının 600 olarak belirlendiği problem, 1,2,3,4 ve 5 araçta faaliyet gösterdiği farklı durumlar için ele alınmıştır. Probleme ait matematiksel model GAMS 24.1.3 programına kodlanarak çözülmüştür. Araç sayısının değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar ve araçlara ait rotalar Çizelge 1’de verilmiştir.

Mesafe kısıtının 600 olarak belirlendiği durumda tek araç kullanılarak oluşturulan modelde uygun çözüm bulunamamıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, araç sayısı 2 olarak alındığında en iyi amaç fonksiyonu değerine ulaşıldığı görülmektedir. Problemden kullanılan araç sayısı 3’e çıkarıldığında kat edilen mesafenin arttığı tespit edilmiştir. Aynı problem 4 ve 5 araçla çözüldüğünde ise gidilen mesafenin 2 araçlı duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür. Sağlık Bakanlığı’nın internet sitesinde [26], mevcut durumda 8 aracın aşı taşımada kullanıldığı belirtilmiştir. Geliştirilen model ile 2 araçla hastanelere dağıtım işleminin minimum mesafe kat edilerek yapılabileceği hesaplanmıştır.

Araç sayısı arttıkça bazı rotalarda yalnız 1 müşteriye hizmet vermek için araçların hareket ettiği dikkat çekmektedir. Bu durumda hem rota maliyetlerinde bir düşüş sağlanmamakta, hem de depodan ihtiyaçtan fazla aracın hareket etmesiyle daha fazla maliyete katlanılmaktadır.

Çizelge 1. Araç sayısı değişikliğinin araç rotalarına ve amaç fonksiyonuna etkisinin incelenmesi (Investigation of the effect of vehicle number change on vehicle routes and objective function)

Araç Sayısı	Rota Uzunluğu	Araçlara Ait Rotalar
2	1100,6	1. Araç: 0-48-1-49-20-3-4-24-47-39-44-16-17-18-35-33-37-31-34-36-32-25-53-28-52-0 2. Araç: 0-50-26-9-12-13-8-10-11-21-22-29-7-30-43-42-5-6-14-15-2-40-19-41-38-23-45-46-27-51-0
3	1119	1. Araç: 0-52-28-25-53-36-34-31-37-17-16-18-35-33-32-9-12-13-8-10-11-21-22-43-42-30-29-7-44-39-24-47-1-48-0 2. Araç: 0-51-0 3. Araç: 0-49-4-3-20-38-40-19-41-2-14-15-6-5-23-45-46-27-26-50-0
4	1113,6	1. Araç: 0-51-0 2. Araç: 0-50-26-9-12-13-8-10-11-21-22-32-33-35-36-34-31-37-48-1-39-47-24-4-3-20-0 3. Araç: 0-52-28-53-25-18-17-16-44-7-29-30-43-42-5-6-15-14-2-41-19-40-38-23-45-27-46-0 4. Araç: 0-49-0
5	1154,65	1. Araç: 0-52-31-37-34-36-9-12-13-8-10-11-21-22-43-42-30-29-7-44-16-17-18-35-33-32-50-26-25-53-28-0 2. Araç: 0-38-40-19-41-2-15-14-6-5-23-45-27-46-0 3. Araç: 0-48-1-39-47-24-4-3-20-0 4. Araç: 0-49-0 5. Araç: 0-52-31-37-34-36-9-12-13-8-10-11-21-22-43-42-30-29-7-44-16-17-18-35-33-32-50-26-25-53-28-0

Araç sayıları değiştirilerek problemin çözümüyle elde edilen amaç fonksiyonu değerleri incelendiğinde, aslında elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu dikkat çekmektedir. Ancak söz konusu modelin amaç fonksiyonunda araç maliyeti, şoför maliyeti vb. maliyetler dikkate alınmamıştır. Bu maliyetler de dikkate alındığı takdirde, araç sayısı arttıkça toplam maliyetin önemli oranda artacağı bilinmektedir.

Her bir aracın sabit ve değişken maliyetleri ile şoför maliyeti olacağından dolayı, depodan hareket eden araç sayısı arttıkça katlanılan maliyet de artacaktır. Bu problemde aşı dağıtımının minimum mesafe ile gerçekleştirilmesi amaçlandığından dolayı hem araç sayısı hem de kat edilen mesafe dikkate alınarak en iyi sonuca 2 araç ile belirlenen rotalar sonucunda ulaşılmıştır. Amaç toplam kat edilen mesafenin minimize edilmesi olduğundan, 10 saatlik çalışma süresi dikkate alınarak minimum mesafede dağıtım yapılacak araç sayısı 2 araç olarak belirlenmiştir.

Model incelendiğinde, rotada hareket eden araçların kapasitelerinin aşılmaması ve araçlar için belirlenen mesafe kısıtının rota boyunca aşılmamasını kısıtlayacak 2 adet bağlayıcı kısıtın olduğu görülmektedir. Aşı kutularının küçük boyutlarda olması (23*23*4), hastanelerin taleplerinin nispeten az olması, diğer taraftan bu kutulara nazaran araç kapasitelerinin yüksek

olması (bir araç yaklaşık 6000 kutuyu taşıyabilecek özellikte) ve hastane taleplerinin bu kapasiteyi aşmaması nedeniyle, araç kapasitesi ile ilgili olan kısıt bağlayıcı bir kısıt olmaktan çıkmaktadır. Daha küçük boyuttaki araçların seçimi durumunda bağlayıcı kısıt halini tekrardan alabilir. Burada depodan hareket edecek araç sayısını ve araçların ziyaret edeceği hastanelere göre rotaları belirleyen bağlayıcı kısıt, mesafe kısıtı olmuştur.

Araç sayısı değiştirilerek modelin çözülmesiyle elde edilen amaç fonksiyonu değerleri alınarak Şekil 2 oluşturulmuştur. Şekil 2 incelendiğinde amaç fonksiyonu değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ancak en düşük amaç fonksiyonu değerinin 2 araçlı durumda elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmada her bir aracın depodan hareket etmesinde katlanılan maliyetler, araçlara ait sabit maliyetler, şoför maliyetleri vb. dikkate alınmamış gibi olsa da araç sayısını azaltarak bu maliyetlerden kurutulmak ve araçların kat ettikleri mesafenin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Gerçek hayat problemlerinde tüm maliyetlerin dikkate alınarak toplam maliyetin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu durumda da araç sayısının en küçüklenmesiyle toplam maliyet düşeceği için, amaç fonksiyonu değerinin en düşük bulunduğu 2 araçlı durum en iyi çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. En iyi çözüm durumu dikkate alınarak araçlara ait rotalar belirlenmiştir.

Şekil 3'te en iyi sonucun elde edildiği 2 araçlı durumun çözülmesiyle elde edilen rotalar gösterilmiştir. Burada sarı çizgi 1 numaralı araca ait rotayı, mavi çizgi ise 2 numaralı araca ait rotayı göstermektedir. Rotalar incelendiğinde aracın kapasitesinin hiçbir durumda aşılmadığı ve aracın kat ettiği toplam rota uzunluğunun da belirlenen mesafe kısıtının (600 km) altında olduğu tespit edilmiştir.

Rotalar incelendiğinde Ankara ili iki bölge olarak ele alınıp iki araç ile dağıtımın yapılabileceği gözükmektedir. İki aracın aşı ulaştırdığı hastaneleri ifade eden sarı ve mavi rotalar üzerindeki numaraların hangi hastaneleri temsil ettiğini gösteren tablo EK-1'de sunulmuştur.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

COVID 19 pandemisi ile başa çıkmada etkili olduğu düşünülen aşılama uygulamasının yaygınlaştırılması ve hastanelere bu aşuların dağıtımının gerçekleştirilmesi karşılaşılan ve hızlı bir şekilde çözüme ulaştırılması gereken problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada Ankara ili için COVID 19 aşısının dağıtım rotaları belirlenmiştir. Burada, dağıtım merkezi olarak belirlenen Ankara Şehir Hastanesi'nden devlet, üniversite ve vakıf üniversitesi hastanelerinden oluşan 53 hastaneye aşı dağıtımı gerçekleştirilmiştir. Probleme özgü kısıtlar dikkate alındığında hastanelere en kısa mesafeden, en az araçla dağıtım yapılması için model geliştirilmiştir. ARP'ye ait kısıtlar dikkate alınarak problemin çözümü ele alınmıştır. Hastane talepleri, araç kapasitesi ve çalışma süresi dikkate alındığında problem öncelikle tek araçla çözülmeye çalışılmış, ancak mesafe ve araç kapasite kısıtları nedeniyle tek araçla uygun çözüme ulaşılamamıştır. Farklı araç sayıları denenerek amaç fonksiyonundaki değişim incelenmiştir. Yapılan bu analiz sonucunda 2 araç kullanılarak aşuların dağıtımını gerçekleştirildiğinde minimum mesafeli araç rotalarının belirlendiği görülmüştür. Araç sayısının ikiden fazla olduğu çözümlerde dağıtım rotası mesafesinin arttığı ve bazı araçların tek bir noktaya dağıtım gerçekleştirdiği görülmüştür. Depodan çıkan araç sayısı arttıkça kat edilen mesafenin yanında, araçlar için katlanacak maliyetlerde artmaktadır. Sağlık bakanlığı tarafından 8 araçla yapıldığı belirtilen aşı dağıtım faaliyetinin kamu ve üniversite hastaneleri için 2 araçla yapılabileceği hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda iki aracın izleyeceği rotalar ve dağıtım yapacağı hastaneler belirlenmiştir. Bu çalışmayla Ankara ili için etkin, verimli ve ekonomik aşı dağıtımının nasıl yapılması gerektiği analitik yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır. İlerleyen çalışmalarda bunun özel hastaneleri de kapsayacak şekilde genişletilebileceği düşünülmektedir. Geliştirilen modelde amaç fonksiyonunda yalnızca araçların kat ettikleri mesafenin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda araç ve şoför maliyetlerini de dikkate alan bir amaç fonksiyonu geliştirilerek modelin oluşturulması ve buna göre problemin

çözümünün farklı şekilde ele alınabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca araç maliyetleri ve aşuların taşınmasıyla ilgili zaman kısıtları eklenerek mesafe kısıtlı, zaman pencereli ve stokastik talepli olarak problem ele alınarak incelenebilir. Yapılan bu çalışma Türkiye geneli dağıtım için ele alınabilir. Büyük boyutlu ve doğrusal olmayan programlama sınıfına girecek bu problem türünü çözebilmek için meta sezgisel algoritmalar geliştirilebileceği düşünülmektedir. Türkiye geneli için ele alınacak problem birden fazla dağıtım merkezinden aşuların dağıtıldığı Çok Depolu Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi şeklinde de modellenebilir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Beste DESTİCİOĞLU: Matematiksel modelin geliştirilmesi, modelin kodlanması ve sonuçların değerlendirilmesinde görev almıştır.

Kemal Gürol KURTAY: İş bölümünün gerçekleştirilmesinde, iş akışının oluşturulmasında ve makalenin yayına hazırlanması aşamalarında görev almıştır.

Aygün ALTUNDAŞ: Giriş ve literatür bölümünün hazırlanması, sonuçların değerlendirilmesinde ve makalenin yazımında görev almıştır.

Hakan Ayhan DAĞISTANLI: Literatür bölümünün hazırlanması, modelin uygulama aşaması, sonuçların değerlendirilmesi ve makalenin yazımında görev almıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Desticioğlu, B. ve Özyörük, B. "Stokastik Talepli Araç Rotalama Problemi İçin Literatür Taraması." *Savunma Bilimleri Dergisi*, 18(36), 181-222. (2019).
- [2] Dantzig, G.B. and Ramser, J.H. "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, 6(1), 80-91, (1959).
- [3] Toth, P. and Vigo, D. "Branch and Bound Algorithms for the Capacitated VRP", In P., The Vehicle Routing Problem, *SIAM*, Philadelphia, USA, (2002).
- [4] Aydoğdu, B. and Özyörük, B. "Dinamik eş zamanlı toplu dağıtım araç rotalama probleminin çözümü için matematiksel model ve sezgisel yaklaşım: Rassal iteratif yerel arama değişken komşu iniş algoritması." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 563-580. (2020).
- [5] Erdoğan, S. "Tam sayılı doğrusal programlama ile araç rotalama problemi çözümü ve bir servis ağında

- uygulaması”, **Yüksek Lisans Tezi**, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (2019).
- [6] Almoustafa, S. “Distance-constrained vehicle routing problem: exact and approximate solution (mathematical programming)”, **Doctoral dissertation**, Brunel University, School of Information Systems, Computing and Mathematics, (2013).
- [7] Rabbani, M., Heidari, R., Farrokhi-Asl, H. and Rahimi, N. “Using metaheuristic algorithms to solve a multi-objective industrial hazardous waste locationrouting problem considering incompatible waste types”, *Journal of Cleaner Production*, 170: 227-241, (2018).
- [8] Florio, A. M., Hartl, R. F., and Minner, S. “Optimal a priori tour and restocking policy for the single-vehicle routing problem with stochastic demands.” *European Journal of Operational Research*, 285(1), 172-182, (2020).
- [9] Poonthalir, G. and Nadarajan, R. “A Fuel Efficient Green Vehicle Routing Problem with varying speed constraint (F-GVRP)”, *Expert Systems with Applications*, 100, 131–144, (2018).
- [10] Calvet, L., Wang, D., Juan, A. and Bove, L. “Solving the multidepot vehicle routing problem with limited depot capacity and stochastic demands”, *International Transactions in Operational Research*, 26(2019), 459-484, (2019).
- [11] Rojas-Cuevas, I.D., Caballero-Morales, S.O., Martinez-Flores, J.L., and Mendoza-Vazquez, J.R. “Capacitated vehicle routing problem model for carriers”, *Journal of Transport and Supply Chain Management*, 12(1), 1-9, (2018).
- [12] Arakaki, R.K. and Usberti, F.L. “An Efficiency-Based Path-Scanning Heuristic for the Capacitated arc Routing Problem”, *Computers & Operations Research*, 103: 288-295, (2019).
- [13] Benrahou, F. and Tairi, A. “Capacitated Vehicle Routing Problem for Collection Waste Lube Oil in Algiers”, *Fresenius Environ. Bull*, 28, 4500-4505, (2019).
- [14] Mulloorakam, A.T. and Nidhiry, N.M. “Combined objective optimization for vehicle routing using genetic algorithm”, *Materials Today: Proceedings*, 11, 891-902, (2019).
- [15] Almouhanna, A., Quintero-Araujo, C.L., Panadero, J., Juan, A.A., Khosravi, B. and Ouelhadj, D. “The location routing problem using electric vehicles with constrained distance”, *Computers & Operations Research*, 115, 104864, (2020).
- [16] Abdallah, K.S. and Adel, Y. “Electric Vehicles Routing Problem With Variable Speed And Time Windows” *International Conference on Industry, Engineering & Management Systems*, Belgium, 55-65, (2020).
- [17] Granada-Echeverri, M., Cubides, L. and Bustamante, J. “The electric vehicle routing problem with backhauls”, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11(1), 131–152, (2020).
- [18] Lysgaard, J., Lopez-Sanchez, A.D. and Hernandez-Diaz, A.G. “A matheuristic for the minmax capacitated open vehicle routing problem”, *International Transactions In Operational Research*, 394-417, (2020).
- [19] Corberán, Á., Plana, I., Reula, M. and Sanchis, J.M. “On the distance-constrained close enough arc routing problem”, *European Journal of Operational Research*, 291(1), 32-51, (2021).
- [20] Basso, R., Kulcsár, B. and Sanchez-Diaz, I. “Electric vehicle routing problem with machine learning for energy prediction”, *Transportation Research Part B: Methodological*, 145, 24-55. (2021).
- [21] Ceselli, A., Felipe, A., Ortuno, M. T., Righini, G. and Tirado, G. “A branch-and-cutand-price algorithm for the electric vehicle routing problem with multiple Technologies”, *Operations Research Forum*, 2(1), 1-33, (2021).
- [22] Ghobadi, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., Fallah, M. and Kazemipoor, H. “Multidepot electric vehicle routing problem with fuzzy time windows and pickup/delivery constraints”, *Journal of Applied Research on Industry*, 8(1): 1-18, (2021).
- [23] Dalbah, L.M., Al-Betar, M.A., Awadallah, M.A. and Zitar, R.A. “A modified coronavirus herd immunity optimizer for capacitated vehicle routing problem”, *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, (In Press, 2021).
- [23] Kucukoglu, I., Dewil, R. And Cattrysse, D. “The electric vehicle routing problem and its variations: A literature review”, *Computers & Industrial Engineering*, 107650. (2021).
- [24] Oropeza, A., Cruz-Chávez, M., Cruz-Rosal Martín H. es, P. Bernal and J .C.Abarca , “Unsupervised Clustering Method for the Capacited Vehicle Routing Problem,Ninth Electronics”, *Robotics and Automotive Mechanics Conference*, Mexico, 211-216, (2012).
- [25] Solomon, M.M. “Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints”, *Operations research*, 35(2), 254-265, (1987).
- [26] Sağlık Bakanlığı (2021), 19 Ağustos 2021 tarihinde <https://covid19asi.saglik.gov.tr/TR-77809/turkiyenin-asi-soguk-zincir-ve-lojistik-kapasitesi.html> adresinden alınmıştır

No	Hastane Adı
0	Ankara Şehir Hastanesi
1	Ankara Gölbaşı Şehit Ahmet Özsoy Devlet Hastanesi
2	Ankara Gündül Devlet Hastanesi
3	Ankara Haymana İlçe Sağlık Müdürlüğü
4	Ankara Haymana Devlet Hastanesi
5	Ankara Kahramankazan Hamdi Eriş Devlet Hastanesi
6	Ankara Kahramankazan İlçe Sağlık Müdürlüğü
7	Ankara Kalecik Devlet Hastanesi
8	Ankara Atatürk Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi
9	Ankara Etlik Zübeyde Hanım Kadın Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi
10	Ankara Keçiören Eğitim ve Araştırma Hastanesi
11	Ankara Mesleki ve Çevresel Hastalıklar Hastanesi
12	Ankara Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi
13	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Tepebaşı Ağız ve Diş Sağlığı Eğitim Hastanesi
14	Ankara Kızılcahamam Toplum Sağlığı Merkezi
15	Ankara Kızılcahamam Devlet Hastanesi
16	Ankara Mamak Devlet Hastanesi
17	Ankara Mamak Toplum Sağlığı Merkezi
18	Ankara Üniversitesi Cebeci Hastanesi
19	Ankara Nallıhan Devlet Hastanesi
20	Ankara Polatlı Duatepe Devlet Hastanesi
21	Ankara Pursaklar Devlet Hastanesi
22	Ankara Pursaklar İlçe Sağlık Müdürlüğü
23	Ankara Sincan Dr. Nafiz Körez Devlet Hastanesi
24	Ankara Şereflikoçhisar Devlet Hastanesi
25	Ankara Gazi Mustafa Kemal Devlet Hastanesi
26	Ankara Yenimahalle İlçe Sağlık Müdürlüğü
27	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Yenimahalle Eğitim ve Araştırma Hastanesi
28	Gazi Üniversitesi Hastanesi
29	Ankara Akyurt Devlet Hastanesi
30	Ankara Akyurt Toplum Sağlığı Merkezi
31	Ankara Çankaya İlçe Sağlık Müdürlüğü
32	Ankara Dışkapı Yıldırım Beyazıt Eğitim ve Araştırma Hastanesi
33	Ankara Dr. Sami Ulus Kadın Doğum Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi
34	Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi (Yüksek İhtisas ve Numune)
35	Ankara Ulucanlar Göz Eğitim ve Araştırma Hastanesi
36	Ankara Üniversitesi İbn-i Sina Hastanesi
37	Hacettepe Üniversitesi Hastanesi
38	Ankara Ayaş Şehit Mehmet Çiftçi Devlet Hastanesi
39	Ankara Bala İlçe Hastanesi
40	Ankara Beypazarı Devlet Hastanesi
41	Ankara Beypazarı Toplum Sağlığı Merkezi
42	Ankara Çubuk İlçe Sağlık Müdürlüğü
43	Ankara Halil Şıvgın Çubuk Devlet Hastanesi
44	Ankara Dr. Hulusi Alataş Elmadağ Devlet Hastanesi

45	Ankara Etimesgut İlçe Sağlık Müdürlüğü
46	Ankara Etimesgut Şehit Sait Ertürk Devlet Hastanesi
47	Ankara Evren Toplum Sağlığı Merkezi
48	Ankara 29 Mayıs Devlet Hastanesi
49	Ankara Beytepe Murat Erdi Eker Devlet Hastanesi
50	Ankara Dr. Abdurrahman Yurtaslan Onkoloji Eğitim ve Araştırma Hastanesi
51	Ankara Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gaziler Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Eğitim ve Araştırma Hastanesi
52	Ankara Ufuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Dr. Rıdvan Ege Sağlık Araştırma Uygulama Merkezi
53	Başkent Üniversitesi Ankara Hastanesi