



## Hasta Ergonomisi Açısından Servis Güzergâhlarının İyileştirilmesi

### Improving Service Bus Routes for Patient Ergonomics

Beyza Günesen<sup>1</sup> , Muzaffer Kapanoğlu<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

**Başvuru/Received:** 01/10/2021

**Kabul / Accepted:** 30/12/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

#### Öz

Hasta ergonomisi, sistem performansının ve hasta konforunun birlikte optimize edilmesini gerektirir. Sağlık kuruluşlarında sunulan tüm hizmetlerin hasta odaklı tasarımı, hizmet kalitesinin ve hasta memnuniyetinin artırılması bakımından oldukça önemlidir. Bu çalışmada diyaliz merkezlerinde tedavi gören hastaların merkeze geliş gidişleri için sunulan servis araçlarına ait rotaların optimizasyonu problemi üzerinde durulmuştur. Rotaların iyileştirilmesi ile hastaların servis içerisinde geçirilen yolculuk sürelerinin mümkün olduğunca azaltılması ve dengelenmesi hedeflenmektedir. Servis araçlarının rotasyonunun etkin biçimde gerçekleştirilmesi ile hasta konforu arttırılacaktır. Servis araçlarının rotalanması problemi, başlangıç ve bitiş noktaları aynı birden fazla servis aracının tüm hastaları konumlarından alıp merkeze getirilmesi faaliyetlerini içerdiğinden Çoklu Gezgin Satıcı Problemi olarak ele alınmıştır. Problem kapsamında, servis araçlarına ait en uzun mesafenin ve toplam mesafenin en küçüklenmesini gözeten bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem kümeleme ve rotalama olmak üzere iki ana adımdan meydana gelmektedir. Birinci adımda konumlar k – ortalamalar yöntemi ile kümelenecek ikinci adımda ise En Yakın Komşu Sezgiseli ve 2 – opt algoritmalarının ardışık kullanımı ile rotalanmaktadır. Varılan sonuçlar probleme ait matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmış, bir servis aracının kat ettiği en uzun mesafe, tüm araçların kat ettiği mesafeler toplamı ve çözüm süresi performans kriterleri olarak belirlenmiştir. Yöntem ilk en iyi çözüme yaklaşmış diğer kriterlerde ise daha iyi sonuçlar vermiştir.

#### Anahtar Kelimeler

*“Hasta ergonomisi, diyaliz merkezi, çok – amaçlı optimizasyon, çoklu gezgin satıcı problemi”*

#### Abstract

Patient ergonomics requires optimizing system performance and patient comfort concurrently. The patient-oriented design of all services offered in health institutions is crucial in terms of increasing service quality and patient satisfaction. In this research, the problem of optimization of the routes of the shuttle vehicles offered for the patients who are treated in the dialysis centers to the center is emphasized. With the improvement of the routes, it is aimed to reduce the waiting time of the patients and the travel times spent in the service as much as possible. Patient comfort will be increased by the effective rotation of service vehicles. The problem of routing vehicles has been considered as the Multiple Traveling Salesman Problem since the starting and ending points include the activities of the same more than one vehicle, picking all patients up from their locations and delivering them to the center. A solution method has been developed for the problem, which takes into account the minimization of the longest distance and the total distance of the service vehicles. The method consists of two main steps, clustering and routing. In the first step, the locations are clustered with the k-means method, and in the second step, they are routed by the sequential use of Nearest Neighbor Heuristics and 2-opt algorithms. The results obtained were compared with the results of the mathematical model of the problem, and the longest distance traveled by a vehicle, the sum of the distances and the solution time were determined as performance criteria. The proposed method approached the best solution in the first criterion and gave better results in other two criteria.

#### Key Words

*“Patient ergonomics, dialysis center, multi objective optimization, multiple travelling salesman problem”*

## 1. Giriş

Artan nüfus artışı ve kaynakların kıtlığı endüstrinin birçok dalında olduğu gibi sağlık endüstrisi üzerinde de etkiye sahiptir. Yükselişte olan maliyet ve taleplerin yanı sıra buna bağlı olarak gerçekleşen kalifiye sağlık personeline ve sağlık hizmet binalarına olan gereksinim, günümüzde sağlık endüstrisinin karşılaştığı güçlükler arasında başı çekmektedir (Springer, 2007). Kalite iyileştirme, sağlık hizmetlerinin merkezi bir ilkesi haline gelmiştir.(Campbell,2003) Talep artışının sunulan hizmet kalitesinde düşüşe sebep olması istenmeyen bir durum olduğundan sağlık işletmesi yöneticileri, hasta memnuniyetine her zamankinden fazla önem vermek durumundadırlar. Sağlık hizmetleri, mamul, ürün gibi somut çıktılara sahip olmadığından bu tür servis sağlayıcıların niceliksel ölçümler ile değerlendirilmesi söz konusu olmamakla birlikte hizmet kalitesi, servis süreci, servis alan ve servis sunan taraflar arasındaki etkileşimler ile kıyaslanmaktadır (Joss ve Kogan,1995). Servis sağlayıcı ve alıcı arasındaki yoğun etkileşim sebebi ile hizmet sürecinin herhangi bir aşamasında meydana gelebilecek en ufak değişim süreç kalite performansı üzerinde hızlı ve etkili bir geri dönüşe yol açmaktadır. Sağlık sistemlerinde hizmet kalitesi, tıp bilimi ve teknolojinin, riski artırmadan sağlığa faydasını maksimize edecek şekilde uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Donabedian, 1985). Hastanın ruhsal ve fiziksel durumunu etkileme ihtimali olması sebebi ile tedavi öncesi ve sonrası tüm işlemlerin önemine işaret edilmektedir. Sistemin yalnızca hastalığın giderilmesi veya etkilerinin azaltılması için gerçekleştirilen tedavi hizmetlerine değil tüm kolları ile bir bütün olarak ele alınarak sürekli bir iyileştirme sürecine adapte edilmesi gerekmektedir. Karar verici ve hastalar arasında kurulan güçlü bir iletişim ağı ile iyileştirme gereksinimlerine anında cevap verilme olanağı artırılabilir. Sistemin en önemli bileşeni olan hasta için hasta odaklı yapılacak her yeni düzenleme, yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Sistemin ergonomik performansı hizmet kalite puanını etkileyen önemli bir kriterdir.

Ergonomik koşullar tüm iş yerlerinde dikkat edilmesi gereken başlıca husus olmasının yanında sağlık işletmeleri için söz konusu olan hizmet sağlık hizmetinin kendisi olduğundan asla göz ardı edilmemelidir. Hasta ergonomisi, insan faktörü ve ergonomi çalışmalarının hastaları merkez alarak koşulların hastalar üzerinde incelenmesi ve iyileştirilmesidir. Hasta güvenliği problemleri oldukça karmaşıktır ve nadiren yalnızca bir faktör veya bir bileşene bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ergonomi çalışmalarının sağlık sistemleri üzerinde faydalı olabilmesi için tüm olası problemler sistematik olarak tanımlanmalı ve doğru olanlara öncelik verilerek tamamına etkin çözümler geliştirilmelidir. (Gurses vd., 2018) Hasta ergonomisi yalnızca fiziksel olarak ele alınmamalı, bilişsel ve psikolojik ergonomi gibi zihin ve ruhsal sağlığı etkileyen ergonomi dalları, geliştirme çalışmalarına dahil edilmelidir. Hastanın stres seviyesinin yükselmesine sebep olan her bir detay hastanın kendisi için bir risk faktörüdür ve bir sağlık sisteminin başlıca amacı bu risk faktörlerini en aza indirmek ve mümkün ise yok etmektir. Sağlık kurumları, devlet hastaneleri, ağız ve diş bakım merkezleri, aile sağlığı merkezleri, diyaliz merkezleri, evde bakım merkezleri, halk sağlığı laboratuvarları başlıca olmak üzere farklılaşan hizmetler sunmaktadır. Bu bağlamda ayakta tedavi, yerinde tedavi ve yatarak tedavi uygulayan birimlerde sunulan ek hizmetler de farklılık göstermektedir. Ergonomik koşulların analiz edilmesi esnasında en iyi performansla ulaşabilmek amacıyla sistem bir bütün olarak ele alınacağından sağlık kurumunun türüne göre verdiği her türlü hizmet kendi içerisinde incelenmelidir. Diyaliz merkezleri, yatarak ve uzun süreli tedavi hizmeti veren dolayısı ile risk faktörü yüksek hastalara hizmet sağlayan sağlık kuruluşlarıdır.

Yapılan son araştırmalar dünya çapında artan bir kronik böbrek yetmezliği grafiği rapor etmektedir. (Bikbov vd.,2020) Kronik böbrek yetmezliği (KBY), böbrek işlevinin ilerleyici ve geriye dönüşsüz biçimde kaybedilmesidir. Donör bulmaktaki güçlükler dikkate alındığında bu hastalarda renal transplantasyonun çok güç olduğu bilinmektedir. KBY olan kişilerin yaklaşık üçte ikisi hemodiyaliz, dördte biri böbrek nakli ve onda biri periton diyalizi tedavisi almaktadır.(Abbasi, 2009) Hemodiyaliz işlemi tedavi için geliştirilmiş ekipmanlar kullanılarak hastadan alınan kirli kanın temizlenerek tekrar hastaya aktarılması prensibine dayanır ve hastanın klinik olarak takip edilmesini gerektiren bu sebeple özel merkezlerde gerçekleştirilebilen bir işlemdir. Türk Nefroloji Derneği 2018 verilerine göre ise Türkiye genelinde hemodiyaliz tedavisi gören 60 bin 643 hasta bulunmakta ve 17 bin 322 hemodiyaliz cihazı hastalara hizmet vermektedir. Artan nüfus ve beslenme bozukluklarının yaygınlaşması sebebi ile hasta sayısı her geçen yıl artma eğilimindedir. Hastalarda biyolojik, ruhsal ve sosyal iyilik durumunun bozulduğu bilinmektedir. Hemodiyaliz tedavisi gören hastalarda depresyon ve anksiyetenin daha sık görüldüğünü bildiren birçok çalışma mevcuttur. Hastalığın kişi üzerinde yarattığı muhtemel tüm riskler göz önünde bulundurularak hizmetlere yansıtılması ve hasta memnuniyetinin maksimum ölçüde sağlanması karar vericilerin sorumluluğundadır. Diyaliz merkezleri bünyesinde klinik operasyonların yanı sıra yemek, ulaşım, sosyal aktiviteler başlıca olmak üzere ek olanaklar tedavi süreçleri içerisine dâhil edilmektedir. Kapsama alınan her bir hizmetin hasta odaklı olarak tasarlanması ve optimize edilmesi bir gerekliliktir. Hizmet kalitesinde yapılacak en küçük iyileşme hasta yaşam kalitesi üzerinde büyük etki göstermektedir. Yaşam kalitesini düzeltecek her türlü yaklaşımın bu hastalarda mortalite riskinin azaltılmasında faydalı olacağı aşikardır. Diyaliz merkezleri hastaların merkeze ulaşımı için servis hizmetleri sağlamaktadırlar. Her bir hasta bulunduğu adresten alınmakta ve tedavi sonra yine aynı adrese bırakılmaktadır. Bu aşamada serviste geçirilen zaman oldukça önemlidir. Diyaliz tedavisi periyodik olarak uygulanmaktadır ve bir sonraki tedavi yaklaştıkça hastaya ait birtakım fiziksel işlevler düşüş eğilimine geçmektedir. Bunun yanı sıra zamanlarının büyük çoğunluğunu tedavi olarak geçirmek durumunda kalan hastalar için yaşadıkları her zaman kaybı hastada stres seviyesinin yükselmesine sebebiyet vermektedir.

Hemodiyaliz seans başına tedavi süresi ve sıklığı doktor reçetesine bağlı olarak değişmekte ve her hasta için özel hazırlanmaktadır. Hemodiyaliz tedavisi incelendiğinde seans süresi 2 ila 5 saat sıklığı ise haftada 2 ila 4 gün olmak üzere değişkenlik göstermektedir. Çalışma kapsamında diyaliz merkezleri servis araç güzergahlarına yönelik optimizasyon problemi üzerinde durulmuştur. Merkezlerde bir işgünü sabah – öğle – akşam olmak üzere üç seansa bölümlendirilmiştir. Aynı seansa gelecek hastalar belirttikleri konumdan servis aracı ile alınmakta ve seans sonunda adreslerine ulaştırılmaktadır. Merkez, bünyesinde üç adet servis aracı barındırmaktadır. Rotaların optimizasyonu, servis araçlarının taşıma sürelerinin kısaltılması dolayısı ile hasta konforunun iyileştirilmesi için önemli bir adımdır.

## 2. Materyal ve Yöntem

İşbu çalışmada diyaliz merkezleri servis aracı rotalama problemi üzerinde durulmaktadır. Birden fazla servis aracı merkezden hareket ederek hastaların buldukları her bir adrese uğramakta ve merkeze dönmektedir. Seans bitiminde ise aynı şekilde hastaların konumlarına dağıtılması süreci işlemektedir ve bu esnada mümkün olan en kısa mesafe hedeflenmektedir. Problem yapısı itibari ile literatürde Çoklu Gezgin Satıcı Problemi olarak ele alınmakta ve araştırılmaktadır. ÇGSP,  $m > 1$  ( $m$ =araç sayısı) olacak şekilde araç içermesi dışında klasik Gezgin Satıcı Problemine (GSP) oldukça benzerlik göstermektedir. (Carter, 2003) GSP, NP-zor sınıfta yer almaktadır ve ÇGSP, her bir araca hangi uğrak noktaların tahsis edileceğini belirlemenin yanı sıra her bir araca tahsis edilen noktalar arasındaki optimum sıralamayı da gerektirdiğinden GSP'den daha zor bir problemdir. (Sing ve Baghel, 2008)

Uygulama yapılacak olan işletme, bünyesinde, üç adet servis aracına sahiptir ve araç kapasiteleri toplamı ilgili seansa gelecek hastalar için yeterlidir. Araç sayısı üç olduğundan ÇGSP deneylerinde  $m=3$  alınarak sonuçlar elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Literatürde eniyi çözümü veren matematiksel modeller incelendiğinde iki adet amaç karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak toplam mesafeyi minimize eden amaç fonksiyonu üzerinde öneriler geliştirilmiştir ancak araçlar arasında bir dengeli bir dağıtımın da yapılması gerçek hayat uygulamaları için bir gerekliliktir. (Matsuura ve Numata, 2014)

Problemin çözümü için iki aşamalı bir yöntem tercih edilmiş olup kümeleme ver rotalama adımlarından oluşmaktadır. Yöntem problemin her iki amacına da uygun olacak şekilde tercih edilmiştir. Kümeleme adımında  $k$  – ortalamalar metodu ile veri seti, birbirlerine olan konumlarına göre üç kümeye ayrılmakta ve bu şekilde üç farklı GSP elde edilmektedir. En Yakın Komşu Sezgiseli ve 2 – opt algoritmasının ardışık kullanımı ile GSP'ler için çözümler ayrı ayrı olarak bulunmuştur.

### 2.1. Matematiksel Model

Tek depolu standart ÇGSP, yönlü bir çizge olarak formüle edilmektedir. (Bektas,2006)  $G = (V,A)$  çizgesinde  $V$  noktalar kümesi ve  $A$  ayrıtlar kümesini temsil etmekte olup  $C = (c_{ij})$ ,  $A$  kümesi elemanlarına ait ağırlık matrisidir.  $x_{ij}$ ,  $(i,j)$ , 0 ve 1 değerlerini alabilen ikili değişken kümesidir. GSP'den hareketle amaç fonksiyonu her aracın geçtiği yolların uzunluk toplamı olarak alınmış ancak bunun sonucunda araçlar arasındaki işyükünde büyük dengesizlikler meydana gelmiştir. Bu sebeple gerçek hayat problemlerine uygulanabilir olması için araçlar arasında dengeli bir dağıtımı sağlayacak modellere ihtiyaç duyulmuştur. En uzun yolu giden aracın mesafesi en küçüklendiği amaç fonksiyonu istenileni başarmıştır. Aşağıda her iki amaç için kurulmuş modeller verilmektedir. Toplam mesafeyi minimize etme amaçlı model aşağıda verilmiştir. (Kara ve Bektaş, 2006)

$$\text{EnkZ} \quad \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

*k. a.*

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = m \quad (2)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1} = m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 2, \dots, n \quad (5)$$

$$u_i - u_j + (n - m) * x_{ij} \leq n - m - 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A. \quad (7)$$

Amaç fonksiyonu (1), toplam mesafeyi minimize eder. Kısıt (2)  $m$  adet satıcının merkezden çıkış yapmış ve kısıt (3)  $m$  adet satıcının merkeze dönmüş olmasını sağlar. (4) ve (5) her düğüme yalnızca bir kez gelinmesini ve bir kez çıkış yapılmasını sağlayan derece kısıtlarıdır. (6), Gavish (1976) tarafından önerilen alttutur eleme kısıtıdır.

MinMax amaç fonksiyonuna sahip ÇGSP modeli için karar değişkenine satıcı kümesini içeren üçüncü bir indis ( $k$ ) eklenmiştir. Böylece her bir satıcının turu ve kat ettiği mesafe belirlenmiş olacaktır. (Necula,2015)

$$\text{EnkZ} \sum_{(i,j) \in A} T \quad (8)$$

k. a.

$$\sum_{j=2}^n x_{1jk} = 1 \quad k = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1k} = 1 \quad k = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad j = 2, \dots, n, i \neq j \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad i = 2, \dots, n, i \neq j \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = \sum_{i=1}^n x_{jik}, \quad j = 2, \dots, n \quad (13)$$

$$u_i - u_j + (n - m) * x_{ij} \leq n - m - 1, \quad k = 1, \dots, m, i \neq j \quad (14)$$

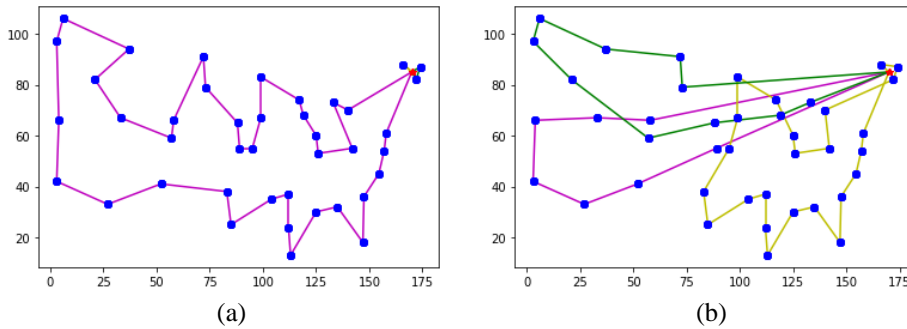
$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \leq T, \quad k = 1, \dots, m \quad (15)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A, \quad k = 1, \dots, m \quad (16)$$

Bu modelde amaç fonksiyonu en uzun turun en küçüklenmesidir. Bu amacı gerçekleştirebilmek adına yeni bir T değişkeni modele eklenmiştir. Kısıt (16), T değişkeninin değerini en uzun tura göre belirler.

TSPLIB kütüphanesinden alınan *Dantzig42* isimli veri setinin her iki model kullanılarak çözdürüldüğüne elde edilen rotalar Şekil 1a'de verilmektedir. Rota izdüşümlerinden de kavranabileceği üzere EnkTop amaç fonksiyonlu model araçlar arasında oldukça dengesiz bir dağılım yaratmaktadır. Günlük hayat problemlerinde ve çalışma kapsamında üzerinde durulan servis araç rotasyonları özelinde de bu tür dengesizlik yaratan çözümlerin kullanılması yeni problemler yaratacağından uygun görülmemektedir. Şekil 1b'de ise EnkEnb modele yine aynı veri setinin kullanılması ile elde edilen rotalar verilmektedir. İkinci model kullanıldığında ise toplam rota uzunluğunda bir artış kaydedilmektedir ki yine gerçek hayat uygulamalarında istenmeyen bir sonucu ortaya çıkarmaktadır. Görseller ile de desteklenen sebepler neticesinde her iki amacın da gözetilmesi akılcı çözümlerin elde edilebilmesi için bir gerekliliktir.

EnkEnb amaç fonksiyonu içeren formülasyonun çıktılarını önerilen yöntemin geçerliliğini sınamak adına ilerleyen bölümlerde kullanılmaktadır. İkinci modelin karşılaştırma aşamasında tercih edilmesinin sebebi daha makul çözümler ürettiği ve gerçek hayat problemlerinden yola çıkılarak düzenlenmiş bir versiyon olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ÇGSP bilimsel yazın tarandığında çözümlere ulaşmada metasezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir ki geliştirilen her bir yöntem yine metasezgisellerin ürettiği sonuçlar ile kıyaslanmaktadır. İleriki kısımlarda açıklanan yöntem eniyi çözümlerin üretildiği ikinci modele ait sonuçlar ile kıyaslanarak etkinliği ölçülmüştür. Böylece eniyi çözümleri veren EnkEnb model çözümlerine yakın aynı zamanda EnkTop amacını da gözetilen çözümlerin üretilmesi amacına ne kadar ulaşıldığı daha net bir şekilde ifade edilmektedir.



Şekil 1. (a) EnkTop Rota; (b) EnkEnb Rota

## 2.2. Önerilen Yöntem

Diyaliz merkezlerinde hizmet veren servis araçlarına ait güzergâhların optimizasyonu problemi ÇGSP olarak ele alınmış ve literatürde yer edinen çalışmalar bu bağlamda değerlendirilmiştir. İlgili problem üzerinden önerilen matematiksel modeller amaçlarına göre eniyi çözümlere ulaştırmaktadır ancak problem boyutunun artması ile çözüm uzayı üstel bir artış gösterdiğinden gerçek hayat problemleri için çözümlere ulaşmak önemli bir zaman kaybı kimi zaman ise imkânsız hale gelebilmektedir. Bu sebeple araştırmacılar eniyi çözüme ulaşmaktan çok iyiye yakın çözümlere makul sürelerde ulaşmayı hedeflemişler ve çözüm yöntemlerinde sezgisel ve metasezgisel algoritmalara yönelmişlerdir.

Diyaliz merkezlerinde randevu planlamaları iki haftalık periyotlarla yenilenmektedir. Bu durumda seans ve gün bilgisinde yapılacak her değişim servis rotalarına da yansıtacaktır. Hizmet kalitesi boyutu göz önüne alındığında hızlı ve etkili çözümlerin üretilebilmesi mutlak bir gerekliliktir. Bu çalışmada bilimsel yazın sonucunda varılan sonuçlar neticesinde iki aşamalı bir sezgisel yöntem önerilmektedir. Yöntem problemin iki amaçlı yapısına hizmet etmenin yanı sıra kısa sürede çözüme götürme konusunda iyi performans sergilemektedir. İlk aşamada k-ortalamlar kümeleme yöntemi kullanarak noktalar gruplandırılmıştır. İkinci aşama ise rotalama aşaması olup En Yakın Komşu Sezgiseli ve 2 – opt algoritmaları ardışık olarak kullanılmaktadır.

### 2.2.1. K – ortalamlar yöntemi

K – ortalamlar, nümerik verilerle çalışan, denetimsiz, deterministik olmayan yinelemeli bir kümeleme yöntemidir. Basit ve çok hızlı bir yöntem olması sebebi ile birçok pratik uygulamada kullanılmış ve yöntemin iyi kümeleme sonuçları üretebilen çok etkili bir yol olduğu kanıtlanmıştır (Na vd. 2010). Yöntem, N adet veriyi, her küme içindeki hata kareleri toplamı en küçük olacak şekilde k adet kümeye ayırır. Hata kareleri fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Lu ve Hu,2013).

$$E = \sum_{l=1}^k \sum_{p \in C_l} |p - m_l|^2 \quad (17)$$

E, veri kümesindeki tüm elemanların hata kareleri toplamıdır. P, belirli bir veriyi (nesneyi) ifade eden bir noktadır.  $m_l$ ,  $C_l$  kümesinin ortalamasıdır. E fonksiyonun en azlanmasıyla aynı kümeye ait veriler olabildiğince benzer ve farklı kümelere ait veriler olabildiğince farklı elde edilmektedir.

K – ortalamlar algoritması aşağıdaki adımları içermektedir.

Adım 1: Her bir kümenin ağırlık merkezini temsil eden k adet başlangıç noktasını seç.

Adım 2: Verileri başlangıç noktasına yakınlığına göre kümelere ata.

Adım 3: Tüm veriler kümelere atandığında, küme ağırlık merkezlerini tekrar hesapla.

Adım 4: Küme merkezleri değişmeyene kadar Adım 2 ve Adım 3'ü tekrarla.

Literatürde, k- ortalamlar yönteminde k'nın doğru seçilmesine odaklanan çok sayıda çalışma yer almaktadır. Üzerinde durulan problem türünde k sayısı belirli olup gezgin satıcı sayısına tekabül etmektedir. k sayısının belirli olması, k – ortalamlar kümeleme yönteminin seçilmesinde önemli bir etkidir.

### 2.2.2. En Yakın Komşu Sezgiseli (Nearest Neighbour Heuristic)

En Yakın Komşu Sezgiseli (EYK), GSP çözümünde kullanılan en basit ve en kullanışlı yöntemdir (Matai vd., 2010). EYK, rotalar oluşturulurken her defasında bir önceki şehre en yakında bulunan şehrin ziyaret edilmesine dayanan bir sezgisel yöntemdir. Algoritma aşağıdaki adımlardan meydana gelmektedir (Marikanis, 2001)

- Adım 1: Herhangi bir başlangıç noktası seç.
- Adım 2: Başlangıç noktasına en yakın noktaya git tura ekle.
- Adım 3: Rotaya eklenmemiş ve son eklenen noktaya en yakın noktaya git.
- Adım 4: Adım 3'ü nokta kalmıncaya kadar tekrarla. İlk ve son gidilen noktayı birleştir.

EYK, asimptotik karmaşıklığı  $O(n^2)$  olan bir açgözlü algoritmadır. n, problemdeki şehir (nokta) sayısına karşılık gelmektedir (Taiwo vd.,2013).

### 2.2.2. 2 – Opt Algoritması

2 – opt algoritması, mevcut turun iyileştirilmesi ile ilgilenen iteratif bir yerel arama algoritmasıdır. Algoritma ilk kez Croes (1958) tarafından önerilmiş olup günümüze dek yaygın olarak kullanılmıştır. Algoritma, hali hazırda oluşturulmuş bir turdan iki kenarın kaldırılması ve turun yeniden hesaplanarak iyileşme gerçekleşmişse yeni yolun kullanılması esasına dayanır. Algoritma adımları aşağıdaki gibidir.

- Adım 1: Mevcut turdaki iki kenarı sil.
- Adım 2: Bağlanmamış kalan parçaları iki yeni kenar ekleyerek bağla.
- Adım 3: Yeni kenarlar eklendikten sonraki maliyeti hesapla. Eğer daha düşükse yeni kenarları tut değil ise eski kenarları kullanmaya devam et.
- Adım 4: Maliyet değişmeyene kadar adımları tekrarla.

2 – opt algoritmasının genişletilmiş bir versiyonu olan Lin – Kernighan algoritması, her iterasyonda kaç kenarın değiştirilmesi gerektiğine karar verir. Bu özelliği algoritmayı karmaşık bir hale getirir. Hesaplama karmaşıklığı  $O(n^{2.2})$  olarak bulunur ve 2 – opt ile karşılaştırıldığında daha uzun sürelerde sonuç veren bir algoritmadır (Matai vd. 2010).

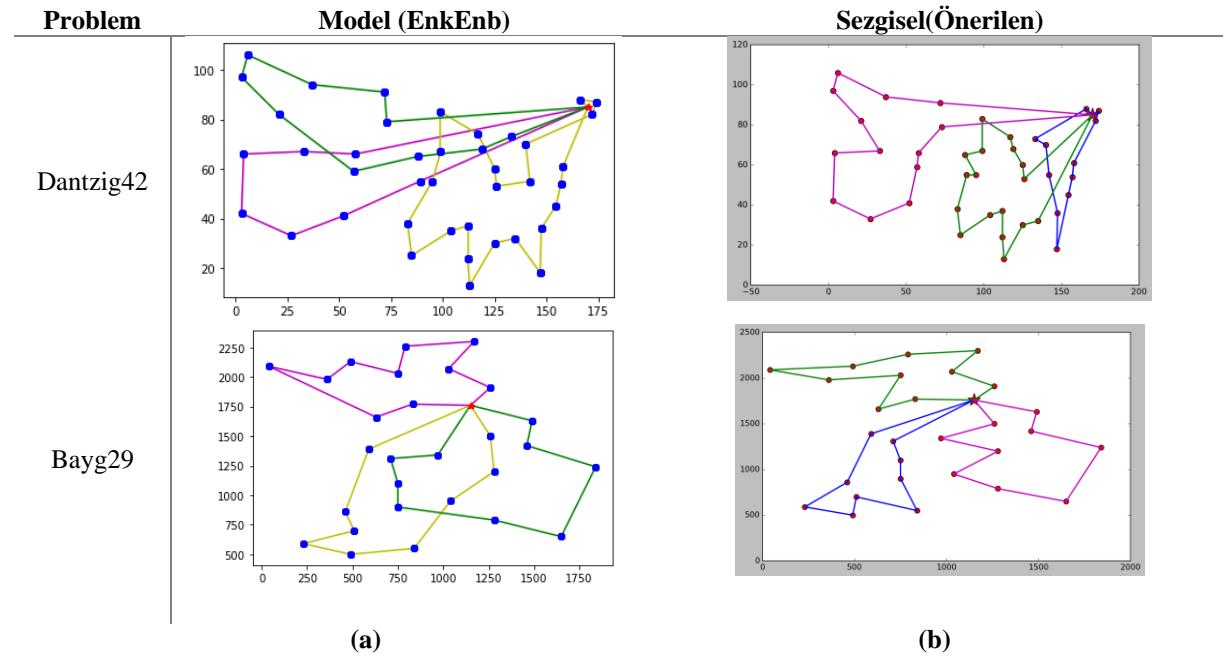
### 3. Deneysel Sonuçlar

Uygulama yapılacak olan kuruluş bünyesinde üç servis aracı barındırdığından önerilen çözümün geçerliliğinin sınıandığı bu bölümde tüm problemler üç araçlı olacak şekilde çözdürülmüştür. Yöntem, TSPLIB kütüphanelerinden alınan kıyaslama problemleri ve rassal olarak türetilen problemler kullanılarak test edilmiştir.

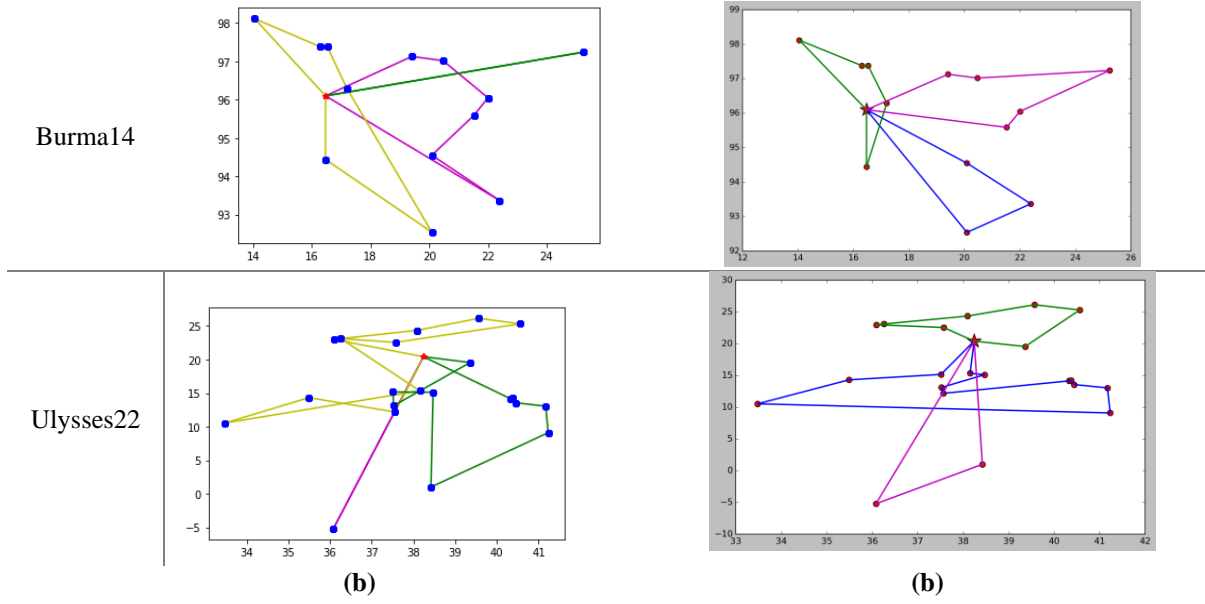
Algoritmalar PYTHON programlama dilinde ve modeller GUROBI optimizasyon programında yazılmış olup Intel® Core™ i5 – 8400 CPU 2.80GHz, 16 GB RAM özelliklerini içeren bir bilgisayar ortamında çözümler elde edilmiştir. Sonuçlar özet halinde izleyen bölümlerde yer alan tablolarda verilmektedir.

**Tablo 1.** TSPLIB Örnek Problem Sonuçları

Problem	Model				Sezgisel(Önerilen)		
	m	En Uzun Tur	Toplam Tur	Süre	En Uzun Tur	Toplam Tur	Süre
Dantzig42	3	369.7179	1104.8673	80sa	466.3866	970.4782	<1 sn
Bayg29	3	3690.801	10821.515	982.06sn	3814.738	10980.689	<1 sn
Burma14	3	17.667	52.710	8.15sn	18.128	42.853	<1 sn
Ulysses22	3	51.441	142.59	2.3sa	51.77	106.1545	<1 sn



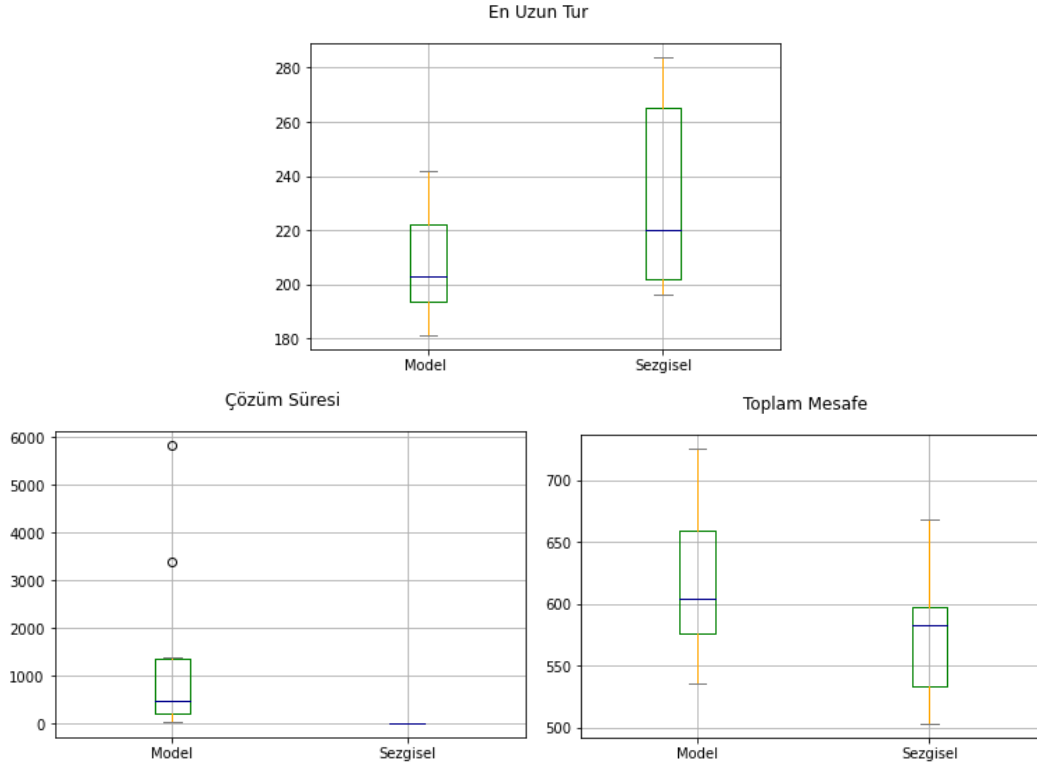
**Şekil 2.** (a) Model Sonuçlarına Ait Rotalar; (b) Önerilen Yöntem Sonuçlarına Ait Rotalar



Şekil 2(devam). (a) Model Sonuçlarına Ait Rotalar; (b) Önerilen Yöntem Sonuçlarına Ait Rotalar

TSPLIB kitaplığından alınan farklı boyutlarda 4 adet örneğe ait sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. İki aşamalı yöntem, araçlar arasında dengeli dağıtımın en iyi derecede sağlandığı model sonuçlarına yakınsadığı görülmektedir. Sayısal sonuçlar Şekil 2’de sunulan rota izdüşümleri ile de desteklenmektedir. Toplam uzunluğun makul derecede olmasının istendiği diğer amaçta ise daha iyi sonuçlara varılmıştır. Sezgisel yöntemin çözüme varış hızı ise 1 saniyeyi aşmayarak bu kriterde modelden oldukça üstündür.

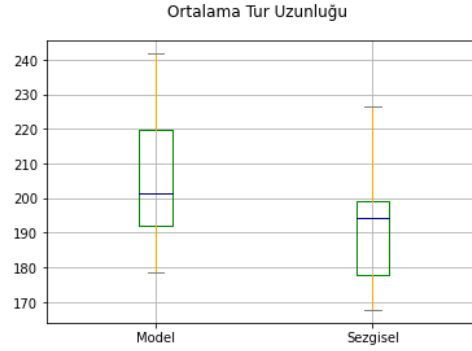
Koordinatları 0 ve 100 aralığına düşecek şekilde üretilen 20 rassal problem aynı şekilde çözdürülmüş ve ilgilenilen ölçütlere göre sonuçlar analiz edilerek Şekil 3’te kutu grafiği halinde sunulmuştur.



Şekil 3. Kriterlere Göre Sonuç Analizi Kutu Grafikleri

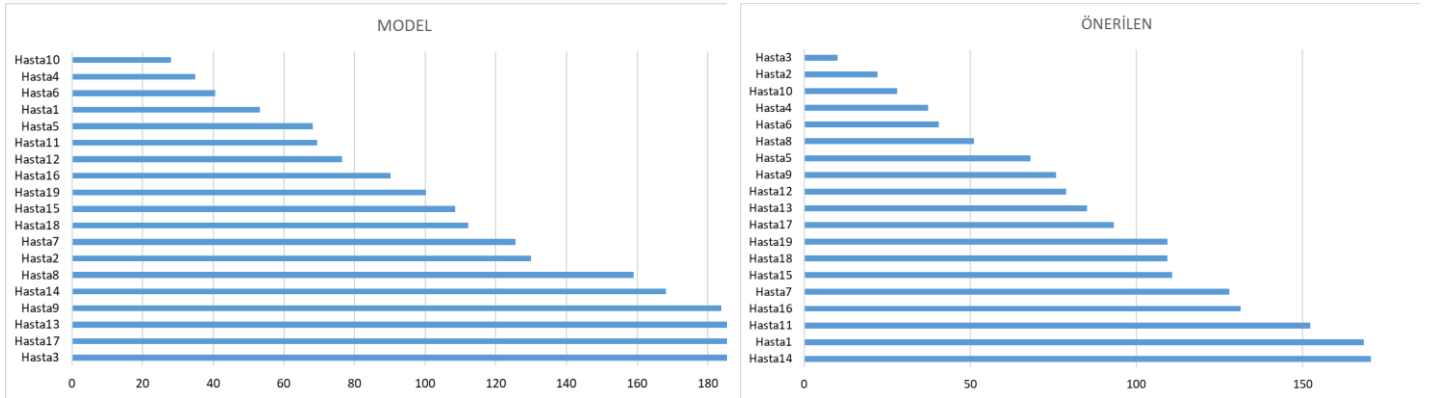
Şekil 3'te paylaşılan kutu grafikleri daha önce yorumlanan çözüm sonuçları ile uyumlu çıktılar vererek, ilk kriter için dengeli bir dağıtım sağlayan eniyi çözümlere yakın toplam mesafe ve süre kriterlerinde daha iyi sonuçlara varıldığını vurgulamaktadır. Dengeli dağıtım ve toplam mesafe hedefleri arasındaki ödünleşme nedeni ortaya çıkan düzensizlik iki hedefi de gözetken yaklaşımla ortadan kaldırılabilmektedir.

Her bir aracın yol alacağı mesafe ortalamasını baz alan Şekil 4'te verilen grafikte ise sezgisel yöntemde araçlar daha az mesafe katmaktadır ki bu modelin dengeli dağıtım yapabilmek adına gereksiz sapmalar yarattığını ortaya koymaktadır.

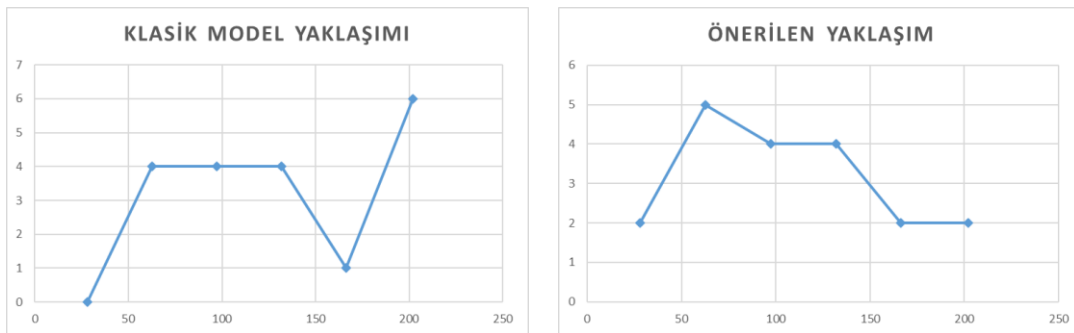


Şekil 4. Ortalama Tur Uzunluğu Kutu Grafiği

Probleme özel türetilen 10 noktalı 20 rassal veri seti içerisinde yine rassal olarak bir tanesi seçilmiş ve her bir noktada bir hastanın ikamet ettiği varsayılarak servis aracında gidecekleri mesafeler hasta özelinde Şekil 5 ve 6'da grafiksel olarak görselleştirilmiştir. Her iki Şekil'den varılacağı üzere önerilen sezgisel yöntemde göre hastaların gideceği mesafeler ve daha uzun mesafe giden hasta frekansları model sonuçlarından düşük çıkmaktadır.



Şekil 5. Hasta başına gidilecek mesafe sütun grafiği



Şekil 6. Gidilecek mesafe – Hasta Frekans Grafiği



#### 4. Sonuç ve Tartışma

Çalışma kapsamında üç servis araçlı bir diyaliz merkezi için rota optimizasyonuna yönelik bir yöntem önerilmiştir. Servis araçlarının optimize edilmesi esnasında servis araçlarının dolayısı ile hastaların yolculuk mesafesinin düşürülmesi ve araçlara ait mesafelerin mümkün olduğunca dengeli dağıtılması hedeflenmiştir. İlgili problem Çoklu Gezgin Satıcı Problemi olarak ele alınmış ve problem literatürü incelendiğinde iki amaca yönelik iki ayrı eniyileme modeli tespit edilmiştir. EnkTop formülasyonu araçlar arasında oldukça dengesiz dağıtım yaptığından göz ardı edilmiş ve dengeli dağıtım gerçekleştiren EnkEnb formülasyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Kümeleme ve rotalama olmak üzere iki aşamadan oluşan önerilen yöntem her iki amaca da hizmet etmektedir. Uygulama yapılacak diyaliz merkezi 3 adet servis aracı içerdiğinden üç araçlı problemler üzerinde deneysel çalışılmıştır. Çözüm süresi ise bir diğer ölçüt olarak ele alınmış ve önerilen yöntem bu yönüyle de test edilmiştir. TSP kütüphanesinden alınan ve rassal olarak türetilen problem sonuçları ışığında ilk kriter olan EnkEnb amacı için yeni çözümlere %70-80 oranında yakınsamıştır. Bir diğer kriter toplam mesafe kriterinde model sonuçlarından daha iyi çözüm süresi kriterinde ise çok daha iyi sonuçlar vermiştir.

Rotaların iyileştirilmesinde en önemli katkı hastalara sağlanmaktadır. Araçların kat ettiği toplam mesafede meydana gelen iyileşmeler yolculuk süresinin de doğru orantılı olarak azaltılmasını sağlamaktadır. Yolculuk süresinin azaltılması ise hali hazırda yaşam kalitesi hastalık sebebi ile olumsuz etkilenen hastalara verilen hizmetin geliştirilmesini sağlayarak hasta stres seviyesi ve risk faktörlerini azaltarak hasta memnuniyetini arttırmaktadır. Yöntemde ele alınan diğer kriter ise araçlara ait en uzun rotanın enküçüklenmesidir. Böylece her bir aracın kat edeceği mesafe mümkün olduğunca dengeli dağıtılacaktır. Dengeli dağıtım ile tüm araçlardaki hastaların araç içerisinde geçirdikleri süreler de dengelenmiş olacaktır. Bu durumda hastalar arasında meydana gelebilecek olumsuz algılar önlenmiş olacaktır.

#### Kaynaklar

- Abbasi, M. A., Chertow, G. M., & Hall, Y. N. (2010). End-stage renal disease. *BMJ clinical evidence*, 2010.
- Al Saran, K., & Sabry, A. (2012). The cost of hemodialysis in a large hemodialysis center. *Saudi Journal of Kidney Diseases and Transplantation*, 23(1), 78.
- Angel, R. D., Caudle, W. L., Noonan, R., & Whinston, A. N. D. A. (1972). Computer-assisted school bus scheduling. *Management Science*, 18(6), B-279.
- Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34(3), 209-219.
- Bikbov, B., Purcell, C. A., Levey, A. S., Smith, M., Abdoli, A., Abebe, M., ... & Owolabi, M. O. (2020). Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 395(10225), 709-733.
- Bolaños, R., Echeverry, M., & Escobar, J. (2015). A multiobjective non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) for the Multiple Traveling Salesman Problem. *Decision Science Letters*, 4(4), 559-568.
- Brumitt, B. L., & Stentz, A. (1996, April). Dynamic mission planning for multiple mobile robots. In *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation* (Vol. 3, pp. 2396-2401). IEEE.
- Campbell, S. M., Braspenning, J. A., Hutchinson, A., & Marshall, M. (2002). Research methods used in developing and applying quality indicators in primary care. *Quality and Safety in Health Care*, 11(4), 358-364.
- Carter, A. E. (2003). *Design and application of genetic algorithms for the multiple traveling salesperson assignment problem* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Carter, A. E., & Ragsdale, C. T. (2002). Scheduling pre-printed newspaper advertising inserts using genetic algorithms. *Omega*, 30(6), 415-421.
- Croes, G. A. (1958). A method for solving traveling-salesman problems. *Operations research*, 6(6), 791-812.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Gavish, B. (1976). Note—a note on “the formulation of the m-salesman traveling salesman problem”. *Management Science*, 22(6), 704-705.
- Gilbert, K.C. & Hofstra, R.B. (1992). A new multiperiod multiple traveling salesman problem with heuristic and application to a scheduling problem. *Decision Sciences*, Vol. 23, pp.250–9.
- Gulcu, S. D., & Ornek, H. K. (2019). Solution of multiple travelling salesman problem using particle swarm optimization based algorithms. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 7(2), 72-82.

Gunesen, Beyza (2021), "Data For: Euclidean Matrix", Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/rvv4ymck92.1

Gurses, A. P., Ozok, A. A., & Pronovost, P. J. (2012). Time to accelerate integration of human factors and ergonomics in patient safety. *BMJ quality & safety*, 21(4), 347-351.

Holland, J. (1994). Scheduling patients in hemodialysis centers. *Production and inventory management journal*, 35(2), 76.

<http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>

<https://nefroloji.org.tr/tr/>

Huang, Z. (1998). Extensions to the k-means algorithm for clustering large data sets with categorical values. *Data mining and knowledge discovery*, 2(3), 283-304.

Joss, R., & Kogan, M. (1995). *Advancing quality: Total quality management in the National Health Service*. Open university press. *Journal of Operational Research*, Vol. 124, pp. 267–82

Junjie, P., & Dingwei, W. (2006, August). An ant colony optimization algorithm for multiple travelling salesman problem. In *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control-Volume I (ICICIC'06)* (Vol. 1, pp. 210-213). IEEE.

K. Helsingaun. An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic, Department of Computer Science, Roskilde University.

Kara, I., & Bektas, T. (2006). Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variations. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 1449-1458.

Kitjacharoenchai, P., Ventresca, M., Moshref-Javadi, M., Lee, S., Tanchoco, J. M., & Brunese, P. A. (2019). Multiple traveling salesman problem with drones: Mathematical model and heuristic approach. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 14-30.

Kodinariya, T. M., & Makwana, P. R. (2013). Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. *International Journal*, 1(6), 90-95.

Laporte, G. & Nobert, Y. (1980). A cutting planes algorithm for the m-salesmen problem. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 31, pp.1017–23.

Latah, M. (2016). Solving multiple TSP problem by K-means and crossover based modified ACO algorithm. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 5(02).

Lin, S. & Kernighan, B. (1973). An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research*, Vol. 21, pp. 498–516.

Liu, W., Li, S., Zhao, F., & Zheng, A. (2009, May). An ant colony optimization algorithm for the multiple traveling salesmen problem. In *2009 4th IEEE conference on industrial electronics and applications* (pp. 1533-1537). IEEE.

Lu, J., & Hu, R. (2013, March). A new hybrid clustering algorithm based on K-means and ant colony algorithm. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering* (pp. 1718-1721). Atlantis Press.

Matai, R., Singh, S. P., & Mittal, M. L. (2010). Traveling salesman problem: an overview of applications, formulations, and solution approaches. *Traveling salesman problem, theory and applications*, 1.

Matsuura, T., & Numata, K. (2014, September). Solving min-max multiple traveling salesman problems by chaotic neural network. In *International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*.

Miller, C.E.; Tucker, A.W. & Zemlin, R.A.(1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of Association for Computing Machinery*, Vol. 7, pp. 326–9.

Na, S., Xumin, L., & Yong, G. (2010, April). Research on k-means clustering algorithm: An improved k-means clustering algorithm. In *2010 Third International Symposium on intelligent information technology and security informatics* (pp. 63-67). IEEE.

Nallusamy, R., Duraiswamy, K., Dhanalaksmi, R., & Parthiban, P. (2010). Optimization of non-linear multiple traveling salesman problem using k-means clustering, shrink wrap algorithm and meta-heuristics. *International Journal of Nonlinear Science*, 9(2), 171-177.

Napoleon, D., & Lakshmi, P. G. (2010, December). An efficient K-Means clustering algorithm for reducing time complexity using uniform distribution data points. In *Trendz in information sciences & computing (TISC2010)* (pp. 42-45). IEEE.

- Necula, R., Breaban, M., & Raschip, M. (2015, November). Tackling the bi-criteria facet of multiple traveling salesman problem with ant colony systems. In *2015 IEEE 27th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)* (pp. 873-880). IEEE.
- Necula, R., Raschip, M., & Breaban, M. (2018). Balancing the subtours for multiple TSP approached with ACS: Clustering-based approaches vs. MinMax formulation. In *EVOLVE-A Bridge between Probability, Set Oriented Numerics, and Evolutionary Computation VI* (pp. 210-223). Springer, Cham.
- Nuriyeva, F., & Kizilates, G. (2017). A new heuristic algorithm for multiple traveling salesman problem. *TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics*, 7(1), 101-109.
- Rosenkrantz, D. J., Stearns, R. E., & Lewis, II, P. M. (1977). An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. *SIAM journal on computing*, 6(3), 563-581.
- Shabanpour, M., Yadollahi, M., & Hasani, M. M. (2017). A New Method to Solve the Multi Traveling Salesman Problem with the Combination of Genetic Algorithm and Clustering. *IJCSNS*, 17(5), 221.
- Shuai, Y., Yunfeng, S., & Kai, Z. (2019). An effective method for solving multiple travelling salesman problem based on NSGA-II. *Systems Science & Control Engineering*, 7(2), 108-116.
- Singh, A. (2016). A review on algorithms used to solve multiple travelling salesman problem. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(4), 598-603.
- Singh, S., & Lodhi, E. A. (2013). Study of variation in TSP using genetic algorithm and its operator comparison. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 3(2), 264-267.
- Somhom, S., Modares, A., & Enkawa, T. (1999). Competition-based neural network for the multiple travelling salesmen problem with minmax objective. *Computers & Operations Research*, 26(4), 395-407.
- Soylu, B. (2015). A general variable neighborhood search heuristic for multiple traveling salesmen problem. *Computers & Industrial Engineering*, 90, 390-401.
- Springer, T. (2007). Ergonomics for healthcare environments. *Geneva, IL: Knoll, HERO*.
- Svestka, J.A. & Huckfeldt, V.E. (1973). Computational experience with an m-salesman traveling salesman algorithm. *Management Science*, Vol. 19, No. 7, pp. 790-9.
- Sze, S., & Tiong, W. (2007). A comparison between heuristic and meta-heuristic methods for solving the multiple traveling salesman problem. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1.
- Taiwo, O. S., Josiah, O., Taiwo, A., Dkhrullahi, S., & Sade, O. K. (2013). Implementation of heuristics for solving travelling salesman problem using nearest neighbor and nearest insertion approaches. *International Journal of Advance Research*, 1(3), 139-155.
- Tang, L., Liu, J., Rong, A., & Yang, Z. (2000). A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex. *European Journal of Operational Research*, 124(2), 267-282.
- Tiong, W. K. (2007). A Comparison between Heuristic and Meta-Heuristic Methods for Solving the Multiple Traveling Salesman Problem. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences*, 1(1), 13-16.
- Xu, X., Yuan, H., Liptrott, M., & Trovati, M. (2018). Two phase heuristic algorithm for the multiple-travelling salesman problem. *Soft Computing*, 22(19), 6567-6581.
- Yu, Q., Wang, D., Lin, D., Li, Y., & Wu, C. (2012, June). A novel two-level hybrid algorithm for multiple traveling salesman problems. In *International Conference in Swarm Intelligence* (pp. 497-503). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Yuan, S., Skinner, B., Huang, S., & Liu, D. (2013). A new crossover approach for solving the multiple travelling salesmen problem using genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 228(1), 72-82.
- Zhang, T.; Gruver, W.A. & Smith, M.H. (1999). Team scheduling by genetic search. *Proceedings of the second international conference on intelligent processing and manufacturing of materials*, Vol. 2., pp. 839-44.