

Araç Rotalama Problemi İçin Yeni Bir Yazılım Tasarımı

Bilal BABAYIGIT*, Kadir YILDIZ²⁺

¹Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

*Sorumlu yazar: bilalb@erciyes.edu.tr

+Konuşmacı: kadiryildizmeb@gmail.com

Sunum/Bildiri Şekli: Sözlü / Tam Metin

Özet – Kombinasyonel optimizasyonun en önemli problemlerinden olan araç rotalama problemi belirli sayıda müşteriye sabit bir başlangıç noktasından çıkan araçlar ile minimum maliyet oluşturacak şekilde hizmet verme temeline dayanmaktadır. Günümüzde firmaların artan rekabet ortamında müşteri memnuniyetini sağlamaları önemli hale gelmiştir. Buna bağlı olarak etkin bir araç rotalama, taşıma maliyetlerini azaltırken müşteri memnuniyetinin sağlanmasına yardımcı olacaktır. Literatürde araç rotalama problemi çözümü için çok sayıda çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bunlar kesin, sezgisel ve metasezgisel çözüm yöntemleri başlıkları altında sıralanmaktadır. Araç rotalama problemi NP-Zor problemler sınıfında yer almaktadır. Problemin bu sınıfta yer almasının temel sebebi zorluk derecesinin eklenen her düğüm ile üstel olarak artması ve büyük ölçekli problemlerde makul bir zaman dilimi içerisinde kesin çözüme ulaşılma zorluğudur. Bu nedenle tüm çözüm uzayında etkili bir araştırma yapmak için yazılım programlarından yararlanmak gerekmektedir. Bu çalışmada C# yazılım dili ile oluşturulmuş yeni bir Araç rotalama problemi yazılımı tanıtılmaktadır. Oluşturulan veri havuzunun bu alanda yapılacak çalışmalar için kaynak teşkil etmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda geliştirilen yazılım ile çeşitli algoritmaların problemler üzerinde denenebilmesi ve son kullanıcıya algoritmaların performansını yansıtan bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Görsel öğelerle desteklenen arayüzde kullanıcılar oluşturulan alt rotalar hakkında yeterli bilgiye sahip olmaktadır.

Anahtar kelimeler – Kombinasyonel optimizasyon, Araç Rotalama Problemi, Yapay Arı Koloni Algoritması, Genetik Algoritma, Yazılım Arayüzü

I. GİRİŞ

Araç Rotalama Problemi (ARP) NP-zor (NP: Non deterministic polynomial time) sınıfı kombinasyonel optimizasyon problemlerinin başında gelmektedir. Problemin NP-zor sınıfında yer almasının nedeni artan müşteri sayısına bağlı olarak üstel olarak artan çözüm kümesi büyüklüğüdür [1]. Klasik Araç Rotalama problemi, sabit bir depodan çıkış yapan araçların tüm müşteri taleplerini en az maliyet ve en uygun rotayı oluşturacak şekilde planlanmasına dayanmaktadır. Bununla birlikte bazı kısıtlamalar eklenerek Araç Rotalama problemlerinin farklı türlerini incelemek mümkündür. Kapasite kısıtı, zaman kısıtı, mesafe kısıtı Araç Rotalama problemlerinde kullanılan kısıtlardan bazılarıdır [2]. ARP’de ilk çalışma 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından yayınlanan Truck Dispatching Problem adlı makaledir [3]. 1964 yılında ise Clarke ve Wright geliştirdikleri tasarruf algoritması ile ARP çözümüne katkıda bulunmuşlardır [4]. Günümüzde lojistiğin gelişmesi ve artan müşteri talepleri araştırmacıları daha optimal çözümler ve yeni yazılımlar geliştirmeye zorlamıştır. Bu çalışmada materyaller ve metot başlığı altında Araç Rotalama Problemi hakkında bilgilendirmeler yapılmış ve tasarlanan yazılım hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir. Sonuçlar bölümünde, geliştirilen yazılım literatürde var olan veri setleri üzerinde denenmiştir. Tartışma bölümünde geliştirilen yazılımın önemi açıklanmıştır. Sonuç bölümünde ise geliştirilen yazılımın literature sağlayacağı katkılar açıklanmıştır.

II. MATERYALLER VE METOT

A. Araç Rotalama Problemi

Kombinasyonel optimizasyonun en önemli problemlerinden olan aynı zamanda üzerinde çok sayıda çalışma bulunan Araç Rotalama Problemi en yalın haliyle belirli sayıda müşteriye sabit bir başlangıç noktasından (depodan) çıkan araç grubuyla minimum maliyet ve maksimum verim oluşturacak şekilde hizmet verme temeline dayanmaktadır. Burada maliyeti azaltıcı unsurlara toplam katedilen rota uzunluğunun düşürülmesi ve dağıtım sırasında kullanılacak araç sayısının azaltılması örnek olarak gösterilebilir. Dolayısıyla müşterilere hizmet verecek her araç rotasının optimize edilmesi önemlidir. Oluşturulacak rotaların aşağıdaki şartları taşıması gerekmektedir ;

- Her rotanın başlangıç ve bitiş noktası depodur.
- Tüm müşteri talepleri karşılanmalıdır.
- Her müşteri sadece bir araç tarafından ziyaret edilmelidir. Başka bir deyişle her müşteri yalnızca bir rotaya atanmalıdır.
- Tüm alt turlar toplam tur maliyeti minimize edecek şekilde optimize edilmelidir.

Araç Rotalama probleminde problem tipine göre hedeflenen amaçlar değişkenlik gösterse de temel amaçlar aşağıdaki gibidir [5];

- Araçların rota uzunluklarına (veya araçların seyahat sürelerine) ve dağıtım yapan araçların masraflarına (ve sürücü masraflarına) bağlı olarak taşıma maliyetini minimize etmek.
- Hizmet verilmesi gereken müşterilere olabilecek en az sayıda araç(veya sürücü) ile hizmet verebilmek.
- Oluşturulan rotaları taşıyan yük ve toplam seyahat süreleri açısından dengelemek
- Müşteri memnuniyetsizliğine neden olabilecek hataları minimize etmek.

Araç Rotalama Problemini çözümünde aşağıdaki veri setlerinin bilinmesi gerekmektedir;

- Müşterilerin konum bilgileri
- Konum bilgilerinden elde edilen müşterilerin birbirlerine göre uzaklık matrisi ve ulaşım süresi bilgileri
- Yapısına göre müşteri taleplerinin ağırlık veya ebat ölçüleri bilgisi
- Rotalamada kullanılabilir araç sayısı ve kapasiteleri
- Problem türüne göre sayısal ve yapısal değişkenlik gösterebilen ve optimize edilmesi gereken amaç fonksiyonu

B. ARP Matematiksel Modeli

KKARP teorik olarak graf problemi olarak tanımlanabilir. $G = (V, A)$ tam grafında $V = \{0, 1, \dots, n\}$ ve $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ şeklinde ifade edilir. Burada V talepleri karşılanacak coğrafi olarak dağılmış müşterilerin oluşturduğu düğümler kümesini temsil etmektedir. $\{0\}$ numaralı düğüm ise depo konumudur. A bir rotada iki düğüm noktası tarafından oluşturulan hatları ifade eder. i ve j notasyonları mesafe ve uzaklık matrisi hesaplamalarında kullanılan müşteri çiftlerini temsil etmektedir. $d_{i,j}$: i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafeyi ve $c_{i,j}$: i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafeden elde edilen uzaklık matrisini ifade etmektedir. $d_{i,j} = d_{j,i}$ ve $c_{i,j} = c_{j,i}$ kabulleri ile problemimizin simetrik olacağını garantiliyoruz. Eğer G yönlendirilmiş bir graf ise $c_{i,j}$ matrisi ve problemimiz asimetric bir yapı kazanır. Bu bilgiler ışığında KKARP problemi V kümesindeki düğümlerin A kümesindeki hatları oluşturmasını sağlayan bağlantılar kümesi şeklinde tanımlanır [5].

Problem çözümü için tanımlanması gereken diğer notasyonlar sırasıyla her biri pozitif değere sahip olan müşteri talepleri (q_i) ve homojen taşıma kapasitesine (Q) sahip araç sayıları (K) şeklinde ifade edilir.

Yukarıdaki kabuller ve kısıtlamaları göz önünde bulundurarak problemin matematiksel modelini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz [6];

Notasyonlar;

$G = (V, A)$
 $V = \{v_0, v_1, v_2, v_3, v_4, \dots, v_n\}$ burada v_0 depoyu v_1, v_2, \dots, v_n düğümleri müşterileri temsil etmektedir.
 q_i : i düğümüyle temsil edilen müşteri talep miktarı, $i \in V$
 $d_{i,j}$: v_i ve v_j düğümleri (müşterileri) arasındaki mesafe
 $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ araç filosu
 Q : Homojen yapıdaki her bir aracın kapasitesi, $k_i \in K$

Karar Değişkenleri;

$$x_{i,j}^k = \begin{cases} 1, & k \text{ i. müşteriden j. müşteriye giderse} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

$$y_i^k = \begin{cases} 1, & k \text{ aracının i. müşteriye hizmet vermesi} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

Denklemsel İfadeler;

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{i,j} x_{i,j}^k \quad (1)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{i,j}^k = 1, \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{i,j}^k + \sum_{j \in V} x_{j,i}^k = 1, \quad \forall i \in V, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N x_{0,j}^k = K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0,j}^k = 1, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{j,n+1}^k = 1, \forall k \in K \quad (6)$$

$$x_{i,j}^k = 1 \Rightarrow y_i - q_i = y_j, \forall i, j \in V, k \in K \quad (7)$$

$$y_0 = Q, 0 \leq y_i, \forall i \in V \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N x_{i,j}^k \leq Q \quad k \in \{1, \dots, m\} \quad (9)$$

$$x_{i,j}^k \in \{0, 1\}, \forall i, j \in V, k \in K \quad (10)$$

Denklem (1) tüm araçlar tarafından katedilen toplam mesafenin minimize edilmesi için kullanılan amaç fonksiyonu gösterimidir. (2) kısıtı i, j çiftlerinin oluşturduğu her bir rota hattına sadece bir aracın hizmet vermesini sağlar. (3) kısıtı rota boyunca araçların ziyaret ettiği bir düğüme geri dönmesini engeller. (4) kısıtı rotalamada kullanılacak her aracın başlangıç noktasının depo konumu olmasını sağlar. (5) kısıtı her aracın depodan sadece bir kez çıkışını garantiler. (6) kısıtı her müşterinin sadece bir araç tarafından hizmet almasını garantiler. (7) kısıtı i ve j düğümler arası geçişler sonucunda araç kapasitesindeki azalmayı ve kalan araç kapasitesini gösterir. (8) kısıtı rotalamada kullanılacak her aracın başlangıç kapasite değerinin Q olacağını garantiler. (9) kısıtı bir rotaya atanan düğüm noktalarındaki müşteri talepleri toplamının o rotada kullanılan araç kapasitesini aşamayacağını gösterir. (10) kısıtı ise (2) ve (3) kısıtları için referans gösterilen bir tam sayı kısıtı olarak ifade edilebilir.

C. Tasarlanan Arp Yazılımı

Bu çalışması kapsamında Visual Studio IDE'si ile C# programlama dili kullanılarak geliştirilen görsel programda KKARP problemleri simüle edilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları Intel(R) Core i7-7700 3.6 Ghz işlemci

hızına ve 8 Gb Ram kapasitesine sahip bilgisayarda yapılmıştır. Bilgisayar üzerinde Windows 10 işletim sistemi kurulu olup kullanılan Visual Studio sürümü 2017 yılına aittir. Geliştirilen programda gerçek hayata ait bir uygulama problem ile birlikte KKARP problemlerinde sıkça kullanılan veri setleride programda yer almaktadır.



Şekil 1. Program anasayfa arayüzü

Geliştirilen programda kullanılan maliyet matrisi, müşteri talep miktarları, araç kapasiteleri, koordinat bilgileri gibi her probleme özgü değişkenler Excel dökümanlarında saklanmakta olup program üzerinden seçilen problem türüne göre program içerisine alınmaktadır.



Şekil 2. Problem türü seçim sayfası

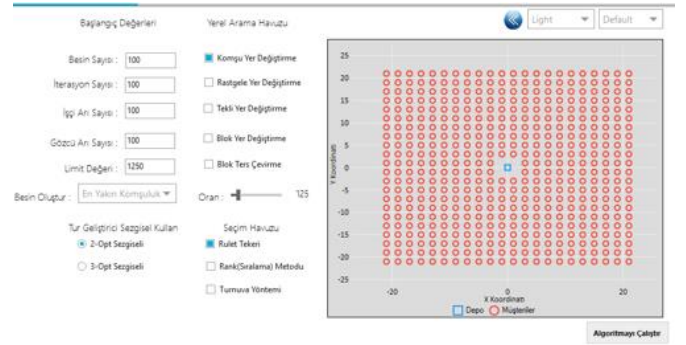
Problem türü seçim işlemi yapıldığı anda excel dökümanında var olan bilgiler program içerisinde tanımlanan çok boyutlu dizi yapılarına aktarılmaktadır. Yine problem türü seçildiği anda o probleme ait koordinat bilgileri, en iyi çözüm, temel bilgiler ve rota bilgilerini içeren bilgilendirme bloğu sağ üst tarafta ipucu sayfası (tooltip) olarak bulunmaktadır. Problem seçim işlemi açılır menü yardımıyla yapıldıktan sonra algoritma seçim sayfasına gitmek için Algoritma Seçimi butonu tıklanır.

Algoritma Çalıştır butonu tıkladığında Hibrit algoritma-1 (HA-1) ve Hibrit algoritma-2 (HA-2) algoritmalarına ait görsel tasarımlar ekrana gelmektedir. Bu aşamada HA-1 algoritmasına ait popülasyon büyüklüğü, iterasyon sayısı, popülasyon oluşturma yöntemi, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, çaprazlama yöntemi, seçim yöntemi, mutasyon yöntemi ve tur geliştirici sezgisel yöntemi seçenekleri yer almaktadır. İlgili alanlar doldurularak algoritma çalıştırılır. İncelenen probleme ait müşteri dağılımlarının 2 boyutlu düzlemde gösterimide bulunmaktadır.



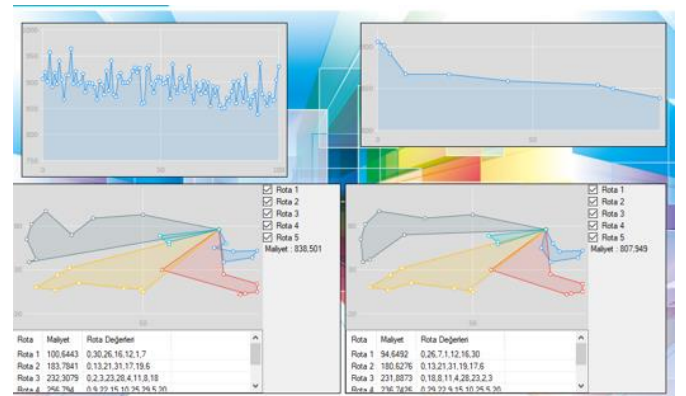
Şekil 3. HA-1 algoritması görsel tasarım ekranı

HA-2 algoritmasında ise besin sayısı, iterasyon sayısı, işçi arı sayısı, gözcü arı sayısı, limit değeri, besin oluşturma yöntemi, yerel arama yöntemi, seçim yöntemi ve tur geliştirici sezgisel yöntemi seçenekleri yer almaktadır. İlgili alanlar doldurularak algoritma çalıştırılır. İncelenen probleme ait müşteri dağılımlarının 2 boyutlu düzlemde gösterimi de bulunmaktadır.



Şekil 4. HA-2 algoritması görsel tasarım ekranı

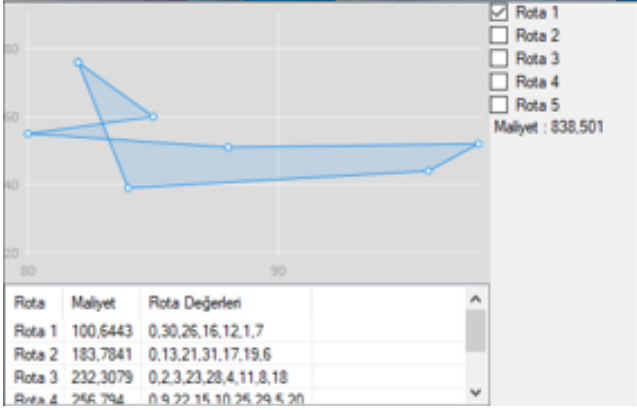
HA-1 ve HA-2 algoritmalarında işlem adımları sırası ile program kod satırlarında yürütülmektedir. İterasyon sayısı kadar tekrarlanan algoritmadan elde edilen ve 2-opt algoritması ile iyileştirilen çözümlere ait sonuç ekranı şekildeki gibidir.



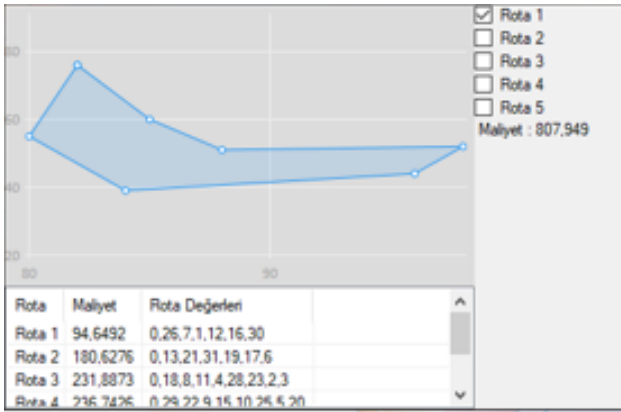
Şekil 5. ARP raporlama sayfası

Şeklin sol üst bölümünde yer alan grafik her iterasyondan elde edilen çözümü göstermektedir. Grafikteki dalgalanma nedeni olursuz durumların rassal olarak dağıtılmasına bağlıdır. Sağ üst bölümde yer alan grafik ise iterasyonlar boyunca kaydedilen çözüm iyileşmelerini göstermektedir. Sol alt

kısımda yer alan grafik iterasyonlar sonucunda elde edilen en iyi çözümü gösteren alt rotalara aittir. Sağ alt taraftaki grafik ise sol alt grafikte elde edilen en iyi çözüme uygulanan 2- opt algoritmasını göstermektedir. Örnek çözümde 2-opt algoritmasının uygulanması ile toplamda 30,552 birimlik iyileşme sağlanmıştır. Şekilde 2-opt algoritması uygulanarak alt turlardaki iyileşme görsel olarak görülmektedir.



Şekil 6. 2-opt uygulanmadan önce rota



Şekil 7. 2-opt uygulandıktan sonra rota

III. TARTIŞMA

Geliştirilen yazılım ARP için veri havuzu niteliğindedir. Problem çeşitliliği ve sayısı dikkate alındığında yazılımda yer alan çok sayıda veri setine ulaşılmaktadır. Yazılımda yer alan veri setleri 16 müşteri ile 1000 müşteri arasında değişen sayılarda problemlerden oluşmaktadır. Literatürde varolan çalışmalar genellikle bir veya bir kaç veri seti üzerinde tasarlanan yazılımlardan oluşmaktadır. Bu çalışmada ise literatürde var olan veri setlerinin çoğu ele alınmıştır. Ayrıca programda yer alan grafiklerin, rotaların ve çözümlerin görselleştirilerek sunulması kullanıcılar için kolaylık sağlamaktadır. Literatürde görsel öğelerle desteklenerek kullanıcıya yol gösteren çalışma sayısı kısıtlıdır. Yapılan çalışma algoritmalarının performans değerlendirmesi noktasında yol göstermektedir.

IV. SONUÇ

Araç rotalama problemi NP-Zor problem sınıfındadır çünkü bu problem tipinde zorluk derecesi eklenen her düğüm ile üstel olarak artmakta ve büyük ölçekli problemlerde makul bir zaman dilimi içerisinde kesin çözüme ulaşılma zor olmaktadır. Bu nedenle tüm çözüm uzayında etkili bir araştırma yapmak

için yazılım programlarından yararlanmak gerekmektedir. Bu çalışmada C# programlama dili ile oluşturulmuş yeni bir Araç rotalama problemi yazılımı sunulmuştur. Geliştirilen yazılım ile çeşitli algoritmalar problemler üzerinde denenebilmekte ve son kullanıcıya algoritmaların performansını yansıtan bilgiler verilebilmektedir. Görsel öğelerle desteklenen arayüz ile kullanıcıların alt rotalar hakkında yeterli bilgi edinmesi amaçlanmıştır. Ayrıca oluşturulan veri havuzu bu alanda yapılacak çalışmalar için bir kaynak teşkil edecektir.

- Geliştirilen yazılım daha büyük boyutlu problemler için test edilebilir.
- ARP çözümünde kullanılan diğer metasezgisel yöntemlerle uygulama yapılarak geliştirilen yazılımın performansı karşılaştırılabilir.
- Başka melez sistemler kullanılarak yeni yazılımlar gerçekleştirilebilir.
- Geliştirilen yazılım ARP'nin başka türleri için test edilebilir.
- Geliştirilen yazılım günümüzde yavaş yavaş hayatımıza giren hava araçları rotalamasında da kullanılabilir.
- Geliştirilen yazılım doğal afetleri izleme süreçlerini hızlandırmak için belirli bir araç filosunun rotalanmasında kullanılabilir.

Sonuç olarak mevcut çalışmayı, geliştirilen yazılımın ve çözüm yöntemlerinin özgünlüğü kapsamında değerlendirdiğimizde literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Ş. Şeker, "Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [2] Ç. Alabaş, B. Dengiz, "Yerel Arama Yöntemlerinde Yöre Yapısı: Araç Rotalama Problemine Bir Uygulama", Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği 24. Ulusal Kongresi, 2010, Gaziantep – Adana, p. 333 – 335.
- [3] G. B. Dantzig, J. M. Ramser, "The truck dispatching problem", Management Science, vol. 6, pp. 81-91, 1959.
- [4] G. Clarke, J. W. Wright, "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", Operations Research, vol. 12, pp. 568-581, 1964.
- [5] Toth, P., Vigo, D., 2002. The Vehicle Routing Problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 367 pp.
- [6] A. H. El Hassani, A. Koukam, L. Bouhafs, A hybrid ant colony system approach for the capacitated vehicle routing problem and the capacitated vehicle routing problem with time Windows. pp. 57-70. In: Vehicle Routing Problem, (Eds. T. Caric, H. Gold), INTECH Open Access Publisher, Croatia, 2008.