



YAPAY ZEKA VE KÜMELEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN YÖNTEM İLE OKUL SERVİSİ ROTALAMA PROBLEMİNİN OPTİMİZASYONU

Özkan ÜNSAL*, Tuncay YİĞİT

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Araç Rotalama Problemi,
Okul Servisi Rotalama
Problemi,
Yapay Zeka,
Kümeleme,
Optimizasyon

Öz

Araç Rotalama Problemi (ARP) klasik yöntemler ile çözülmesi mümkün olmayan ve birçok alt dalı olan karmaşık bir problemdir. Bu çalışmada, ARP'nin bir alt dalı olan Okul Servisi Rotalama Probleminin (OSRP) optimizasyonu amaçlanmıştır. ARP ve OSRP incelenmiş, problemler ve geliştirilen çözüm yöntemleri ile ilgili literatüre yer verilmiştir. OSRP'nin optimizasyonu için kümeleme teknikleri ve yapay zeka yöntemleri kullanılarak, GPS, GIS araçları ve mobil uygulama desteği ile bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım Ankara ilinde hizmet veren servis firmalarından toplanan rota verileri üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, geliştirilen yöntemin, mesafe, zaman ve rakım değişimi parametreleri açısından rotaları başarılı bir şekilde iyileştirilebileceğini göstermiştir.

OPTIMIZATION OF SCHOOL BUS ROUTING PROBLEM BY USING A METHOD WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND CLUSTERING TECHNIQUES

Keywords

Vehicle Routing Problem,
School Bus Routing Problem,
Artificial Intelligence
Techniques,
Clustering Techniques,
Optimization.

Abstract

Vehicle routing problems (VRP) are complicated problems, which can be encountered in a variety of different fields and are not possible to solve using classical methods. In this study, optimization of the School Bus Routing Problem (SBRP), which is a sub-branch of VRP, is aimed. VRP and SBRP have been studied, and the literature on the problems and developed solution methods have been given. For the optimization of SBRP, by using the clustering and artificial intelligence techniques a software has been developed with the support of the GPS, GIS tools and mobile application. The developed software has been applied on the route data collected from school service companies which are in the province of Ankara. The obtained experimental results have showed that the developed method can successfully optimize the school bus routes in terms of distance, time and altitude change parameters.

Alıntı / Cite

Ünsal, Ö., Yiğit, T., (2018). Optimization of School Bus Routing Problem by Using a Method with Artificial Intelligence and Clustering Techniques, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(1), 7-20.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Özkan ÜNSAL, 0000-0002-6741-7826
Tuncay YİĞİT, 0000-0001-7397-7224

Başvuru Tarihi / Submission Date	27.09.2017
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.12.2017
Kabul Tarihi / Accepted Date	25.01.2018
Yayın Tarihi / Published Date	23.03.2018

1. Giriş

Kendi bünyesinde personel, depolama, araç, dağıtım/toplama zincirleri gibi birçok bileşeni

barındıran ulaşım ve dağıtım sistemleri, hayatın her alanında yer alan, farklı iş kollarındaki tüm sektörlerin ilişkili olduğu ve profesyonelce yönetilmesi gereken yapılardır. Artan nüfus,

* İlgili yazar / Corresponding author: ozkanunsal@gmail.com, +90-554-797-4296

küreselleşen ekonomi ve tüketim ihtiyaçlarının genişlemesi ile ulaşım ve dağıtım sistemleri daha da önemli hale gelmekte ve kullanımı giderek yoğunlaşmaktadır. Bu kullanım yoğunluğu zaman kaybı, trafik yoğunluğu, maliyet artışı ve çevre kirliliği gibi sorunları da beraberinde getirmektedir (Ünsal, 2017).

Araç Rotalama Problemleri (ARP) birçok farklı uygulama alanı bulunan ve çözümü klasik yöntemlerle mümkün olmayan karmaşık problemlerdir. Günümüzde kargo, gazete, süt, ekmekek, posta dağıtımı, tıbbi ve kimyasal atık toplama sistemi, personel ve okul servisleri gibi birçok farklı sektörde problemin çözümüne yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Gelişen teknolojiyle beraber ulaşım imkanlarının artması ile yol çeşitliliği ve araç seçenekleri de artmış bununla beraber en uygun ve en kısa yol seçimi için rota problemlerinin çözümüne ihtiyaç duyulmuştur. Ulaşımda yaşanan zaman ve maliyet kayıpları ise bu problemleri giderek daha da önemli hale getirmiştir. ARP genel olarak depodaki malzemelerin müşterilere ulaşım araçları ile dağıtılması veya toplanması problemi. 1960'lı yılların başından beri ARP dağıtım ve lojistik alanında önemli bir problem haline gelmiştir (Clarke ve Wright, 1964). Bu problem sahip olduğu araç kapasiteleri, zaman, depo sayısı, geri toplaması olan veya olmayan gibi farklı kısıtlara göre kendi içerisinde birçok alt problem içermektedir. Seyahat öncesi uygun rota seçimi ve seyahat esnasında meydana gelebilecek trafik, yol, hava, kaza vb. gibi beklenmeyen olumsuz durumlara karşı güncellenebilen rota planları ile yaşanan zaman kayıpları en aza indirgenebilmektedir.

Gelişen sosyo-ekonomik yapılar, değişen aile yaşamları, okula başlama yaşının düşmesi ve okul ile ev arasındaki mesafelerin artması gibi etmenler ile okul servislerinin kullanım oranı giderek artmaktadır. Aileler okul servislerinin diğer ulaşım seçeneklerine oranla daha güvenli bir araç olarak görmektedirler. Ülkemizde okul çağında bulunan her 100 öğrenciden yaklaşık 40'ı okul servis araçlarını ulaşımında tercih etmektedirler. Bu oran önemli bir pazar oluşturarak sektörün teknolojik imkanlardan yararlanma ihtiyacını arttırmaktadır. ARP'nin bir alt türü olan Okul Servisi Rotalama Problemi (OSRP) bir çeşit gezgin satıcı problemi olarak da tanımlanmaktadır. OSRP, bir servis aracının en uygun sürede, en kısa rotayı izleyerek listesinde bulunan duraklardan öğrencileri toplayıp okula götürmesini ve okulda toplanan öğrencileri evlerine bırakmasını içerir. Rota üzerindeki durakların, öğrencilerin devamsızlık, adres değiştirme vb. nedenlerinden dolayı çok sık

değişme ihtimali, duraklar arası birçok yol seçeneği bulunması, servis aracı şoförlerinin değişmesi gibi etmenler rota planlamalarının optimum düzeye getirilmesini zorlaştırmaktadır. Servis araçlarının rota seçimlerini optimum bir şekilde gerçekleştirmeleri önemli yakıt ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. Küresel konumlama sistemi (GPS), coğrafi bilgi sistemleri (GIS), mobil iletişim ağları, trafik sensörleri gibi alanlarda yaşanan teknolojik gelişmeler bu problemlerin optimizasyonunda elde edilen başarı oranının artmasına fayda sağlamıştır. Klasik metotlar ile çözümü mümkün olmayan bu karmaşık problemin optimizasyonu için ağırlıklı olarak daha verimli ve hızlı sonuçlar üretebilen metasezgisel ve yapay zeka yöntemleri tercih edilmiştir.

Bu çalışmada OSRP'nin optimizasyonu için yapay zeka ve kümeleme teknikleri birlikte kullanılarak bir yöntem geliştirilmiştir. Kümeleme tekniklerinden olan K-means tekniği temel alınarak geliştirilen yöntem ile öğrenci duraklarının servis araçlarına en uygun şekilde dağıtım yapılmaya çalışılmış ve dağıtım işleminin ardından yapay zeka tekniklerinden olan Genetik Algoritma (GA) kullanılarak geliştirilen yöntem ile her bir servis aracı için en uygun rotanın belirlenmesi amaçlanmıştır. Ankara ilinde bulunan bir okula taşımacılık hizmeti veren servis firmasından toplanan veriler üzerine söz konusu yöntemin uygulanması için mobil destekli bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın toplanan veriler üzerinde uygulanması ile mevcut servis rotalarının iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın aşağıda belirtilen konularda katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir;

- K-means algoritması temelli yeni bir kümeleme yönteminin geliştirilmesi ve bu yöntem ile durakların araçlara en uygun şekilde atanması,
- GA temelli bir rotalama yöntemi geliştirilmesi ve okul servis rotalarının mesafe, zaman, rakım parametreleri açısından optimizasyonu,
- OSRP'nin bir önceki maddede belirtilen kriterler ile optimizasyonu sayesinde yakıt, bakım giderlerinin azaltılarak ekonomik fayda sağlanması ve çevre kirliliği ile trafikte meydana gelebilecek olumsuzlukların azaltılması,
- Mobil destekli geliştirilen yazılım sayesinde, okul servis hizmetlerine değişen koşullara adapte olabilen, izlenebilir, ölçülebilir ve profesyonel bir yönetim anlayışı kazandırılması.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde konuya ilişkin literatürde yapılan çalışmalar ve problemin çözüme yönelik geliştirilen yöntemler ile ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ARP ve OSRP incelenmiş, problemin optimizasyonuna yönelik önerilen kümeleme ve rotalama yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde geliştirilen yöntemin toplanan veriler üzerine uygulanması ile elde edilen sonuçlar verilmiş ve son bölümde ise sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Li ve Fu (2002), yayınlamış oldukları makalelerinde, Hong Kong'da bulunan bir anaokulundaki servis rotalarının optimizasyonu için zaman kısıtı ve araç kapasitelerini de göz önünde bulundurarak sezgisel bir yöntemle dağıtım planı geliştirmişlerdir. Optimizasyonda, kullanılan servis sayısı ve servislerin rota sürelerinin minimize edilmesi ile servis yük ve rota zamanlarının dengeli dağıtılması hedeflenmiştir. Geliştirilen çözüm planı mevcut duruma göre %29'luk bir optimizasyon sağlamıştır.

Martínez ve Viegas (2011), yayınlamış oldukları makalelerinde, Lizbon kentinde okul servisi kullanan öğrencileri ele aldıkları çalışmada OSRP'nin çözümüne iki adımda yaklaşmışlardır. İlk adımda öğrencilerin coğrafi konumlarını alarak, en uygun şekilde servis araçlarına atamalarını yapmışlar, ikinci aşamada ise oluşturulan servisler için en uygun rota planlamasını gerçekleştirmişlerdir.

Önder (2011), yayınlamış olduğu makalesinde, çok depolu ARP (ÇDARP)'nin çözümü için GA ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) yöntemlerini kullanmıştır. Çözüm İstanbul Halk Ekmek A.Ş.'ye ait ekmek dağıtım ağı üzerinde denenmiş ve mevcut durumla karşılaştırıldığında yıllık 952.286 kilometrelik bir iyileştirme sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Nazif ve Lee (2012), yayınlamış oldukları makalelerinde, kapasite sınırlı ve merkezi tek bir depodan dağıtım yapılan ARP için optimize edilmiş GA tekniğini kullanarak çözüm geliştirmişlerdir. Test verileri üzerinde elde ettikleri sonuçlara göre kullandıkları tekniğin benzer algoritmalara oranla daha hızlı çözüm ürettiğini belirtmişlerdir.

Rojas vd. (2012), yayınlamış oldukları makalelerinde, OSRP'nin Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) yöntemi ile çözümüne

yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kolombiya Bogotá şehrinde yer alan bir okulun servis ağı üzerine uygulanan çalışma ile bir ders yılı için %17,9'luk bir yakıt tasarrufu elde edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Sghaier vd. (2013), yayınlamış oldukları makalelerinde, OSRP'nin GA ile çözümüne yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen çözüm ile okul servis ağı üzerinde kullanılan araç sayısını 26'dan 21'e, toplam kat edilen mesafeyi ise 162.410 km den 154.880 km ye düşürerek genel toplamda %17,87'lik bir maliyet kazancı elde edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Bögl vd. (2015), yayınlamış oldukları makalelerinde, transfer metodunu kullanarak OSRP ve çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, yolcuların araçlar arasında transferine izin veren sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin yolcu transferini dikkate almayan diğer yöntemler ile karşılaştırmasını yaparak, söz konusu yöntemin zaman kaybı ve operasyon maliyetlerinde daha başarılı bir optimizasyon sağladığı sonucuna varmışlardır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Araç Rotalama Problemi

Literatürde ilk defa 1959 yılında Dantzig ve Ramser'in problem olarak tanımladığı ARP'nin amacı, merkezi bir depoya bağlı araçların rotalanmasında kat edilen toplam yolun minimize edilmesidir. Literatürde ARP için birçok tanım bulunmaktadır. ARP genel olarak depodaki malzemelerin müşterilere ulaşım araçları ile dağıtılması veya toplanması problemidir. ARP başka bir tanımda, farklı coğrafi konumlarda bulunan müşteri taleplerini karşılamak üzere bir yada daha fazla depodaki görevli araçlara ait optimum rotaların dağıtım/toplama yönünde oluşturulması şeklinde tarif edilmiştir (Laporte vd., 1988). ARP'nin çözümünde temel amaç, dağıtım/toplama yapacak araçların dağıtım halde bulunan müşteri/durakların her birisine uğramak kaydıyla en az maliyetli rotayı izlemelerini sağlamaktır. Bu sayede ulaşımın yaşanan zaman ve maliyet kayıplarının önüne geçilmesi mümkün olmaktadır.

ARP'nin çözümünde aşağıda verilen koşulların sağlanması gerekmektedir (Çatay, 2010):

- Her araç bir rotayı tamamlamak zorundadır.

- Her müşterinin yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilmesi ve ihtiyaçlarının tam olarak karşılanması sağlanmalıdır (Toth ve Vigo, 2002).
- Dağıtım rotasının toplam müşteri kapasitesi, o rotada kendilerini ziyaret edecek olan araç kapasitesini aşmaması gerekmektedir.
- Bir rotada kat edilen toplam mesafenin, önceden belirlenmiş maksimum rota mesafesini aşmaması gerekmektedir.
- Araç rotalarının başlangıç ve bitiş noktaları merkezi dağıtım deposu olmalıdır.

ARP karmaşık yapısı itibariyle birçok bileşenden meydana gelmektedir. Bu bileşenler problemin çözüm yöntemleri ve alt türlerinin sınıflandırılmasına dayanak oluşturmaktadır. Her bir bileşen problemin uygulandığı alana göre farklı roller üstlenmektedir. Genel tanımda verilen depo, araç ve malzeme kavramları problemin uygulandığı sektöre göre okul, öğrenci, durak gibi farklı isimler alabilmektedir. Bunun yanı sıra bileşenlerin sahip olduğu zaman, kapasite, geri toplamalı/toplamasız gibi kısıtlar ise problemin alt türlerini meydana getirmektedir. Problemin çözümüne yönelik kısıtların artmasıyla, ARP'nin karmaşıklığı giderek artmaktadır (Erel, 1995). Toth ve Vigo (2002), ARP'nin ana bileşenlerini yol ağı, müşteri, depo, araç ve sürücü olarak tanımlamıştır.

3.1.1. ARP'nin matematiksel modeli

Genel ARP'nin matematiksel olarak tanımı Laporte tarafından aşağıdaki gibi yapılmıştır (Laporte, 1992):

ARP'nin formülasyonu, $V=\{0,1,\dots,n\}$ dağıtım deposunun 0'da konumlandığı müşteriler (düğümler) kümesi, A ise bu düğümler arasındaki bağlantılar (yollar) kümesi olacak şekilde $G=(V,A)$ şeklinde bir graf üzerinde verilebilir. Bu tanıma göre ARP'nin amaç fonksiyonu Eşitlik(1)'deki gibidir:

$$\min \sum_{i \neq j} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

C_{ij} , $i \neq j$ olacak şekilde her bir $\text{arc}(i,j)$ düğümü arasındaki uzaklıklar matrisidir. C_{ij} ağırlığı, amaç fonksiyonunda minimize edilmek istenen parametreye göre zaman, maliyet yada uzaklığı temsil etmektedir (Rojas vd., 2012).

ARP için x ve y koordinatları ile yerleştirilen i ve j düğümleri arası mesafe hesaplanırken Eşitlik(2)'de gösterilen Öklid bağıntısı kullanılmaktadır.

$$d(i,j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2)$$

X_{ij} , Eşitlik(3)'te gösterildiği gibi $\text{arc}(i,j)$ 'nin optimum çözüm kümesinde yer almasına bağlı olarak değer alan bir mantıksal değişkendir.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, \text{Eğer } (i,j) \text{ bağlantısı} \\ \text{optimum çözüm} \\ \text{kümesinde ise} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3)$$

3.2. Okul Servisi Rotalama Problemi

ARP'nin bir alt türü olan OSRP bir çeşit gezgin satıcı problemi olarak da tanımlanmaktadır. OSRP üzerine ilk çalışmalar Newton ve Thomas tarafından 1961 yılında yapılmıştır (Ben Sghaier vd., 2013). OSRP, bir servis aracının en uygun sürede, en kısa rotayı izleyerek listesinde bulunan duraklardan öğrencileri toplayıp okula götürmesini ve okulda toplanan öğrencileri evlerine bırakmasını içerir. Problemin çözümündeki temel amaç servis araçlarının öğrencileri evlerine bırakması yada evlerinden toplayıp okula götürmesi sürecindeki ortaya çıkan zaman, yol maliyetini minimize etmektir. OSRP bazı yönleriyle Kapasite Kısıtlı ARP'ye (KKARP) benzerlik göstermektedir. Kapasite KKARP'de araçların rota başlangıç noktalarına geri dönmesi zorunluluğu vardır. OSRP'de ise, servis araçlarının öğrencileri dağıtım/toplama işleminden sonra okula yada toplamadaki başlangıç noktasına geri dönme zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu durumda KKARP'de rotalar tur, okul araç rotaları ise yol şeklinde ifade edilir (Bektaş ve Elmastaş, 2004).

Literatürde çeşitli amaçlara yönelik OSRP çalışması bulunmasına rağmen çalışmaların genellikle üzerine yoğunlaştığı konular aşağıdaki gibidir:

- Ulaşım maliyetlerini minimize etme,
- ulaşım sürelerini minimize etme,
- rotalamada kullanılan toplam araç sayısını minimize etme,
- öğrencilerin alınacağı ve bırakılacağı noktaları belirlemedir.

Okul servis hizmetleri gerçekleştirilirken, okul sayısının bir/birden çok olması, kırsal/kent merkezi, özel eğitilmiş öğrenciler ve bu öğrenciler

için belirli özelliğe sahip olması gereken servis araçları vb. gibi birçok farklı durumu içermektedir. Bu durumlar problemin karmaşıklık düzeyini, amaç fonksiyonunu ve sahip olacağı bileşenleri belirlemektedir. Problemin sahip olduğu kriterler ve alabileceği değer seçenekleri Tablo 1’de verilmiştir (Park ve Kim, 2010).

Tablo 1. OSRP Kriterleri

Kriter	Değer
Okul Sayısı	Tek okul Birden fazla okul
Servis Alanı	Kentsel Kırsal
Problem Kapsamı	Sabah Öğle Her ikisi
Karışık Kapasiteli	Karışık kapasiteli Tek kapasiteli
Özel Eğitimli Öğrenciler	Özel eğitimli öğrenciler için ayrı planlama Yalnızca genel öğrenciler için planlama
Karışık Araç Filosu	Homojen araç filosu Heterojen araç filosu
Amaçlar	Kullanılan servis aracı sayısı Araçların toplam sürüş mesafesi yada süresi Öğrencilerin toplam seyahat mesafesi yada süresi Öğrenci yürüme mesafesi Araç kapasite doluluğu dengeleme Maksimum rota mesafesi Öğrenci zaman kayıpları
Kısıtlar	Araç kapasitesi Maksimum sürüş zamanı Okul zaman penceresi Maksimum yürüyüş zamanı yada mesafesi En erken toplama zamanı Rota oluşturmak için gerekli en az öğrenci sayısı

3.2.1. OSRP'nin matematiksel modeli

NP-zor sınıfına giren OSRP, tamsayı doğrusal programlama problemi olarak kabul edilmektedir. Problemin matematiksel tanımı önceki bölümde verilen ARP'nin temel tanımı üzerinde genellenerek aşağıdaki gibi yapılmıştır (Schittekat vd., 2006).

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{0k} \leq K \quad k = 1, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} = \sum_{j \in V} x_{jik} = y_{ik} \quad \forall i \in V, k = 1, \dots, K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \geq y_{hk} \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, h \in S, k = 1, \dots, K \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K z_{ilk} \leq s_{li} \quad \forall l \in S, \forall i \in V \quad (9)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{l \in S} z_{ilk} \leq C \quad k = 1, \dots, K \quad (10)$$

$$z_{ilk} \leq y_{ik} \quad \forall i, l, k \quad (11)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{k=1}^K z_{ilk} = 1 \quad \forall l \in S \quad (12)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, \quad k = 1, \dots, K \quad (13)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \mid i \neq j \quad (14)$$

$$z_{ilk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \mid i \neq j \quad (15)$$

Eşitliklerdeki parametre ve kısıtlamalar Tablo 2 ve Tablo 3’deki gibi açıklanmıştır.

Tablo 2. Parametreler

Parametre	Açıklama
K	Servis Aracı Sayısı
C	Araçların kapasitesi
V	Potansiyel durakların kümesi
E	Duraklar arasındaki bağlantıların kümesi
S	Öğrenciler kümesi
C _{ij}	i ve j durağı arasındaki geçiş uzaklığı(maliyeti)
S _{li}	Eğer l öğrencisi i durağına yürüyebilir ise 1 aksi halde 0
i = 0	Okul için atanan indeks

Tablo 3. Karar değişkenleri

Değişken	Açıklama
x _{ijk}	Eğer k aracı i’den j’ye giderse 1 aksi halde 0
y _{ik}	Eğer k aracı i’ye uğrarsa 1 aksi halde 0
z _{ilk}	Eğer l öğrencisi i durağında k aracı tarafından alınır ise 1 aksi halde 0

Eşitlik(4)’te toplam rota mesafesini minimize eden amaç fonksiyonu verilmiştir. Eşitlik(5)’te tüm servis araçlarının okuldan başlaması ve araç sayısının durak sayısı aşamayacağı kısıtları verilmiştir. Eşitlik(6)’da eğer **k** servis aracı **i** durağına uğramış ise, bu durumda **k** aracı için **i** durağına giriş ve duraktan çıkış için bir bağlantı oluşturulmalıdır kısıtı verilmiştir. Eşitlik(7)’de kapasite kesimi kısıtı ile her bir (V\S,S) kesimi **r(S)**’den küçük olmayacak sayıda bağlantı ile geçilen bir öğrenci kümesi tarafından tanımlanmaktadır, **S** kümesi için en az sayıda servis aracının sağlanması gerekmektedir kısıtı verilmiştir. 5, 6 ve 7 numaralı eşitliklerde kısıtlar alt turların elenmesini sağlamaktadır.

Eşitlik(8)'deki kısıt okul haricindeki her bir durağın birden fazla olmamak şartı ile ziyaret edilmesini sağlamaktadır. Eşitlik(9)'daki kısıt her bir öğrencinin gitmesine izin verilen yalnızca tek bir durağa gidebilmesini sağlamaktadır. Eşitlik(10)'daki kısıt servis aracı kapasitesinin aşılmasını engellemektedir. Eşitlik(11)'deki kısıt, i durağını ziyaret etmeyen k aracının i durağındaki l öğrencisini almasını engellemektedir. Eşitlik(12)'deki kısıt her bir öğrencinin bir kez alınmasını sağlamaktadır.

13, 14 ve 15 numaralı eşitliklerde kısıtlar tüm karar değişkenlerinin ikili olmasını gerektirmektedir. Bu durum sırasıyla, bir k servis aracının i durağını ziyaret edip etmemesini, k servis aracının i durağından j durağına hareket edip etmemesini ve k servis aracının i durağından l öğrencisini alıp almamasına karşılık gelmektedir.

3.2.2. OSRP'nin çözüm aşamaları

Bu problem kendi içinde alt problemler içermektedir. Problemin çözümü beş adımda gerçekleştirilmektedir (Park ve Kim, 2010).

- Veri hazırlama
- Durak seçimi(öğrencilerin araçlara atanması)
- Servis rotasının oluşturulması
- Okul ziline ayarlanması
- Rotanın planlanması

Veri hazırlama adımında okul, öğrenci, servis araçları ve mesafeler matrisi belirlenir. Öğrenciler ile ilgili veriler; ev adresi, okula olan uzaklığı ve öğrencinin engelli yada normal olmasını içermektedir. Okul ile ilgili veriler; okulun konumu, okulun servis araçları için belirlenen başlangıç ve bitiş zamanı ve maksimum öğrenci seyahat süresi şeklindedir. Servis araçları ile ilgili veriler; başlangıç konumu, normal ve engelli öğrenciler için kapasiteleridir. Mesafeler matrisinde en kısa rota süresi yada düğümler arasındaki mesafe bilgileri tutulmaktadır. Mesafeler matrisi, düğümlerin GPS konumları kullanılarak gerçek mesafeleri yada çeşitli en kısa yol algoritmaları kullanılarak oluşturulmaktadır.

Durak seçimi adımında öğrencilerin duraklara atanması gerçekleştirilmektedir. Servis hizmetinin verildiği yörenin kent merkezi olması durumunda öğrencilerin evlerinden duraklara yürümesi gerekirken, kırsal bölgelerde öğrenciler evlerinden toplanabilmektedir.

Servis rotasının oluşturulması adımında servis rotaları yapılandırılırken kullanılan algoritmalar, "önce rotala sonra sınıfla" ve "önce sınıfla sonra rotala" olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Önce rotala, sonra sınıfla metodunda Gezgin Satıcı Problemi(GSP) mantığı ile tüm duraklardan oluşan büyük bir rota oluşturulur ardından problemin kısıtlarına göre alt rotalara bölünür. Önce sınıfla, sonra rotala metodunda ise öğrenciler kısıtlara göre gruplara ayrılır daha sonra bu gruplar için rotalar oluşturulmaktadır. Rotalar oluşturulduktan sonra klasik, sezgisel yada yapay zeka yöntemleri rotaların optimizasyonu üzerinde uygulanabilmektedir. OSRP'nin tek bir okula yönelik uygulandığı durumlarda problemin çözümü bu adımda sonlanmaktadır.

Okul ziline ayarlanması adımı birden çok okul için servis hizmeti verildiği problemlerde kullanılmaktadır. Bu tip problemlerde hizmetin verildiği okulların başlangıç ve bitiş zamanlarının ayarlanması gerekmektedir. Bu ayarlama ile amaç servis araçlarının hizmet verdiği süre aralıklarının optimizasyonunun sağlanması ile yol ağında kullanılan servis araç sayısını minimize etmektir.

Okul ziline ayarlanması gereken problemlerde zaman ayarlamaları yapıldıktan sonra servis hizmetinin verildiği ağdaki tüm okullar için rota planlaması yapılmaktadır.

3.3. Problemin çözümünde kullanılan yöntemler

Üzerinde uzun yıllardır çalışılan ARP gerçek hayatta birçok farklı alana uygulanmış ve çözülmesi zor olan problemler (NP-zor) sınıfında kabul edilmektedir. Araştırmacıların daima ilgisini çeken bu problem için birçok çözüm yöntemi ve algoritma geliştirilmiştir. ARP'nin 1950'li yılların sonunda ortaya atılmasıyla birlikte tam sayılı programlama ile 10-20 müşterili küçük çaplı problemler çözülmeye çalışılmıştır. ARP'de kısmen daha büyük 30-100 müşterili problemin çözümü için rota kurma sezgiselleri üzerinde 1960'lı yıllarda, iki fazlı sezgiseller üzerinde ise 1970'li yıllarda çalışılmıştır. 1980'li yıllarda yaklaşık 50 müşterili problemler matematiksel programlama ile optimal olarak çözülmeye başlanmıştır. 1990'lı yıllardan günümüze kadar ise problemin çözümü için metasezgisel ve yapay zeka tekniklerinden faydalanılmıştır ve optimum sonuçlar elde edilmektedir (Yılmaz, 2008). Literatürde araç rotalama problemine ait yöntemler kesin yöntemler ve sezgisel yöntemler olarak iki bölümde incelenmektedir.

ARP'nin ilk ortaya atıldığı yıllarda, genel olarak müşteri sayısının fazla olmadığı problemler için kesin çözüm yöntemleri başarı ile uygulanmıştır. Kesin çözüm yöntemleri Dal Sınır (Carpaneto ve Toth, 1980; Fisher, 1994), Dal Kesme (Laporte vd., 1985; Padberg ve Rinaldi, 1991; Ralphs vd., 2003; Fukasawa, 2006), Dinamik Programlama (Christofides vd., 1981; Taha, 2000) ve Sütun Yaratma (Chabrier 2006; Ceselli vd., 2009) şeklindedir.

Müşteri sayısının arttığı problemlerin çözümü bilgisayar hesaplama süresini arttırdığından, araştırmacılar bu tip problemlerin çözümünde kesin çözüm algoritmaları kullanmak yerine daha çok sezgisel ve metasezgisel yöntemleri tercih etmişlerdir (Çolak ve Güler, 2009). Sezgisel yöntemler kendi içerisinde klasik sezgisel ve metasezgisel yöntemler olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır. ARP'ye ait bilinen ilk klasik sezgisel çözüm yöntemi 1964 yılında Clarke ve Wright tarafından geliştirilen Klasik Tasarruf yöntemidir. 1974 yılında Gillet ve Miller Süpürme yöntemini, 1976 yılında Foster ve Ryan Petal Sezgiseli yöntemini, 1979 yılında Christofides ve arkadaşları İki Aşamalı yöntemi ve 1996 yılında Renaud ve arkadaşları ise Geliştirilmiş Petal Sezgiseli yöntemini geliştirmişlerdir.

Cordeau ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, klasik sezgisel ile metasezgisel, yapay zeka yöntemlerini araç rotalama problemi üzerine uygulayarak elde ettikleri sonuçları doğruluk, hız, basitlik ve esneklik yönünden karşılaştırmışlar ve metasezgisel, yapay zeka yöntemlerinin doğruluk, hız ve esneklik yönünden klasik sezgisel yöntemlere göre daha üstün olduğu sonucuna varmışlardır (Cordeau, vd. 2002). ARP'nin çözümünde önde gelen metasezgisel, yapay zeka yöntemleri Tavlama Benzetimi (TB), TA, Yapay Sinir Ağları (YSA), GA ve KKO'dur. Literatürde metasezgisel yöntemlerin ARP'nin optimizasyonuna yönelik performanslarının rota uzunluğu, çözüme ulaşma süresi, deneme sayısı gibi çeşitli kriterlerde karşılaştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmalar incelendiğinde KKO ve GA'nın diğer metasezgisel yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiği, söz konusu iki yöntemden KKO'nun GA'ya göre sonuçlara daha uzun süre ve deneme sayısında ulaştığı, rota uzunluklarında problemin sınırlılıklarına göre değişken performanslar gösterildiği görülmüştür.

OSRP'nin çözümü genel olarak durak seçimi(öğrencilerin araçlara atanması) ve servis araçlarının rotalarının oluşturulması şeklinde iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Araç rotalarının belirlenmesinde kullanılan kesin ve

sezgisel yöntemler yukarıda anlatılmıştı. Servis ağında hizmet alan öğrenci duraklarının araçlara kapasite kısıtları da göz önünde bulundurularak atanmasında ise kümeleme yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Öğrenci duraklarının araçlara atanması işlemindeki başarı oranı araç rotalarının optimizasyonunda önemli bir role sahiptir.

Kümeleme analizinde veri matrisi üzerinde uzaklık ölçüleri hesaplandıktan sonra, bu uzaklıklara kümeleme algoritması uygulanmaktadır. Literatürde birçok kümeleme algoritmasının adı geçmektedir. Algoritmalar birbirlerinden, kümelemenin oluşturuluş şekline göre ayrıldıkları gibi kullanılan veri türüne, yapılacak olan çalışmanın amacına göre de farklılıklar gösterirler. Literatür incelendiğinde KKARP sınıfına giren OSRP'nin çözümünde K-means algoritması dinamik yapısı sayesinde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Diaz-Parra vd. (2012), OSRP'nin çözümüne yönelik GA yöntemini kullanarak yapmış oldukları bildiride, başlangıç popülasyonlarını K-means kümeleme yöntemini kullanarak belirlemişler ve geliştirdikleri yöntemin servis rotalarında hem araç sayısını azaltmada hem de rota mesafelerini kısaltmada başarılı sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır.

K-means, kümelerin sürekli olarak yeniden oluşturulduğu ve en uygun çözüme ulaşana kadar devam edilen döngüsel bir algoritmadır. Bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan kümeleme algoritmasıdır. K-means algoritmasının ismindeki 'k' oluşturulacak küme sayısını, 'means', kümeyi oluşturan elemanların ağırlıklı ortalamasını ifade etmektedir. K-means algoritması, küçük ve orta boyutlu veritabanlarında küresel kümelerin bulunmasında başarılı bir algoritmadır. İlk olarak MacQueen tarafından 1967 yılında ortaya atılan K-means algoritması, elemanları k sayıdaki kümeye, küme ortalama değerlerine göre atar(k küme sayısı başlangıçta verilmektedir) (MacQueen, 1967). Buradaki ortalama daha önce belirlenen küme merkezidir. K-means algoritmasının kaba kodu aşağıda verilmiştir.

Girdiler:

$D=\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ // eldeki veritabanı

K // verilen küme sayısı

Algoritma:

- Keyfi olarak m_1, m_2, \dots, m_k ortalama belirle.
- Her bir t_i yi en yakın olduğu m_i nin kümesine ata
- Kümelere ait m_1, m_2, \dots, m_k değerlerini yeniden hesapla.
- Küme elemanlarında herhangi bir değişiklik yoksa dur.

- İlk adıma dön.
- Çıktı:
K adet küme

K-means algoritmasının kümeleri belirlemede hızlı, esnek, benzerlik oranı yüksek ve yeniden güncellenebilir yapıya sahip olması ve bu ölçekteki bir çalışmada kullanılacak veri miktarı üzerinde başarılı sonuçlar vermesi gibi avantajları çalışmada tercih edilmesinde etkili olmuştur. Ayrıca söz konusu yöntemde, dağıtım işleminin sonunda kümeler en iyi duruma geldikten sonra küme sayısının belirlenmesi ile K-means yöntemindeki (k) küme sayısının baştan belirlenmesi dezavantajı da ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

3.4. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada OSRP'nin optimizasyonu amaçlanmıştır. Problemin çözümü Ankara ilinde faaliyet gösteren İpekyolu Turizm adlı firmanın taşımacılık hizmeti verdiği bir özel ortaokulun servis rotalarına yönelik olarak uygulanmıştır. İlk aşamada servis firmasının mevcut durumda gerçekleştirdiği servis hizmetine ait bilgiler toplanmış, ikinci aşamada ise mevcut rotaların optimizasyonunun yapılması için bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım ile okul servis hizmeti veren firmanın sahip olduğu araç kapasiteleri, servis hizmetinin verildiği okul ve bu okuldaki öğrenci bilgileri kullanılarak servis araçları için en uygun rotaların üretilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Birinci aşamada servis araç kapasiteleri kısıtlarına göre, servis hizmetinin verildiği öğrenci durak konumlarına K-means kümeleme tekniği temelli geliştirilen yeni bir kümeleme yöntemi uygulanarak öğrenci

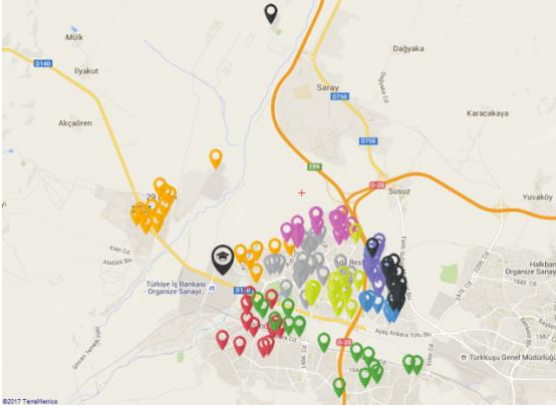
duraklarının en uygun şekilde servis araçlarına atanması sağlanmıştır. Kümeleme işlemi ile araç kapasitelerinin verimli bir şekilde kullanılması ve rota uzunluklarının en uygun şekilde belirlenmesine imkan tanınması amaçlanmıştır. İkinci aşamada ise servis araçlarının izleyeceği rota belirtilen kısıtlar çerçevesinde önceki bölümlerde anlatılan ve probleme göre geliştirilen GA yöntemi kullanılarak en uygun şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Mevcut kullanılan rotalar ile geliştirilen sistemin önerdiği rotalar süre, mesafe, rakım değişimi gibi kriterler üzerinden karşılaştırıldığı sonuçlar ile geliştirilen yöntemin başarısı ölçülmüştür.

3.4.1. Toplanan veriler

Ankara ili Sincan ilçesinde faaliyet gösteren İpekyolu Turizm adlı servis firmasının Sincan ilçesinde taşımacılık hizmeti verdiği bir özel ortaokulda kullandığı araç filosu, personel ile servis hizmetinden yararlanan öğrenci adres bilgileri, servis güzergahına ait bilgiler toplanmıştır. Veriler toplanırken okul, araç, personel, öğrenci, rota başlıkları altında gruplanmıştır. Firma söz konusu okulun kayıtlı 187 öğrencisine 137 durakta 9 araçlık filosu ile servis hizmeti vermektedir. Rota bilgileri toplanırken hem dağıtım hem de toplama yönünde veriler alınmıştır. Toplanan rota ve araç kapasite bilgileri Tablo 4'de gösterilmiştir. Toplanan rotalara ait durakların Google haritalar üzerinde gösterimi Şekil 1'deki gibi verilmiştir. Rotalar gösterilirken Tablo 4'de verilen rota adları için sırasıyla; kırmızı, mavi, yeşil, sarı, gri, mor, eflatun, açık yeşil ve siyah renkte ikonlar kullanılmıştır.

Tablo 4. Toplanan araç ve rota verileri

Rota	Kapasite	Durak/ Öğrenci Sayısı	Doluluk (%)	Dağıtım		Toplama	
				Mesafe (km)	Süre (dk)	Mesafe (km)	Süre (dk)
Sincan	20	12/14	70	22	40	22,2	42
Bahçen	21	14/17	80,95	14	48	15	52
Etimesgut	21	16/18	85,71	23	50	23,3	51
Yenikent Fatih	19	18/19	100	23	45	22,7	44
Devlet Mah.	27	22/25	92,59	23	45	23,2	46
Susuz	27	15/22	81,48	35	43	35,6	46
Göksu Mah.	28	11/23	82,14	18	45	20,2	48
Eryaman 3.Etap	20	15/23	115	13	38	14,3	41
Eryaman 2.Etap	27	14/26	96,3	23,8	42	20,7	37
Toplam	210	137/187	89,05	194,8	396	197,2	407



Şekil 1. Toplanan rotaların harita üzerinde gösterilmesi

3.4.2. Durakların kümeleme yöntemi ile araçlara atanması

Öğrencilerin araçlara dağıtılması 4 farklı stratejiye göre yapılmaktadır. Bu stratejiler güzergahların oluşturulmasında araç kapasitelerinin büyükten küçüğe yada küçükten büyüğe kullanılması ile güzergahların okula göre en yakından uzağa yada en uzaktan yakına gelinerek oluşturulması üzerine kurulmuştur. Araçlara dağıtım yapılırken, araç kapasitelerinin aşılması kısıtı ile aynı duraktan birden fazla öğrencinin servis hizmeti alabilmesi ihtimali göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 5'te stratejilere ait parametreler anlatılmıştır.

Tablo 5. Dağıtım stratejileri

No	Araç Kapasite Kullanımı	Rotaların Okula Uzaklığı
1	Büyükten Küçüğe	Uzaktan Yakına
2	Büyükten Küçüğe	Yakından Uzağa
3	Küçükten Büyüğe	Uzaktan Yakına
4	Küçükten Büyüğe	Yakından Uzağa

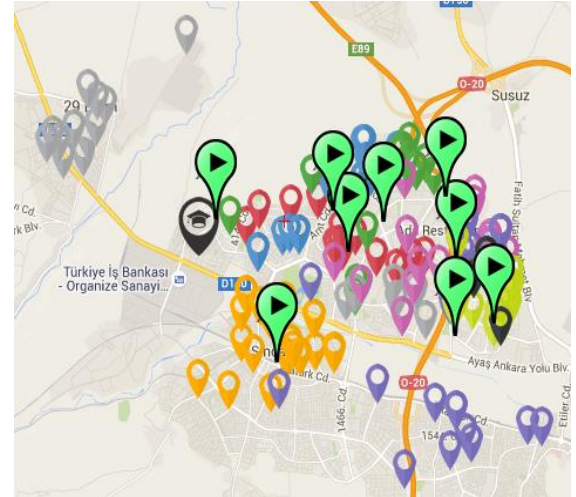
K-means kümeleme yönteminde başlangıçta küme sayısı girilmekte ve bu sayıda küme merkezi rastgele atanarak noktalar kendilerine en yakın küme merkezine atanmaktadır. Sonraki adımda noktaların oluşan küme merkezlerine yakınlık derecelerine göre en yakın kümeye değişimi yapılmakta ve bu adım küme merkezi değiştirilebilecek nokta kalmayınca kadar devam etmektedir. Rastgele belirlenen küme merkezlerinin güncelleme sayılarını arttırması ve problemin bir KKARP olmasından dolayı ilk aşamadaki küme merkezlerinin belirlenmesinde farklı bir yöntem izlenmiştir.

Geliştirilen yöntemde seçilen strateji için araçlar kapasitelerine göre sıralanmaktadır. Seçilen stratejiye göre okula uzaklığı en yakın yada en uzak noktadan başlanarak noktaların kapasitelerine göre sıradaki araca atanması yapılmaktadır. İlk nokta atandıktan sonra sıradaki noktaların seçimi mesafe matrisine göre bir önceki atanan noktaya en yakın mesafedeki nokta olacak şekilde yapılmaktadır. Araç kapasitesi dolduğunda yeni küme oluşturulmaktadır. İkinci

küme için atanması yapılmayan noktalardan yine seçilen stratejiye göre okula en yakın yada en uzak noktadan başlanarak atamalar yapılmaktadır. Servis hizmeti verilecek tüm noktaların kümelere atanması tamamlanana kadar bu adım tekrarlanarak başlangıç kümeleri oluşturulmaktadır. Yöntemin toplanan veriler üzerinde Strateji 4'ün uygulanmasıyla oluşturulan ilk kümeler ve bu kümelere atanan öğrenci sayıları Tablo 6'da, harita üzerinde gösterimi ise Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 6. Oluşturulan ilk küme verileri

Küme No	Renk	Öğrenci Sayısı
1	Kırmızı	19
2	Mavi	20
3	Yeşil	20
4	Sarı	21
5	Gri	21
6	Mor	27
7	Eflatun	27
8	Açık Yeşil	27
9	Siyah	5



Şekil 2. İlk oluşturulan kümeler

Oluşturulan başlangıç kümeleri için küme merkezleri hesaplandıktan sonra noktaların atanmış oldukları kümeden daha yakın bir küme var ise bu kümeye atanması yapılarak güncelleme yapılmaktadır. Bu küme değişikliği sırasında kümelerdeki noktaların benzerlik oranının artırılabilmesi amacıyla, eğer gerekiyorsa kümelerdeki nokta sayılarının araç kapasitelerini aşabilmesine izin verilmiştir. Güncellemeler tamamlandıktan sonra kümelerin merkezleri son durumdaki noktaları için yeniden hesaplanmaktadır. Bu işlem küme merkezi değiştirilecek nokta kalmayınca kadar tekrar edilmektedir. Önceki aşamada oluşturulan ilk kümeler üzerinde anlatılan güncelleme işlemi uygulanmış ve toplamda 11 kez güncelleme yapılarak işlem tamamlanmıştır. Kümelere uygulanan güncelleme işlemi sonrasında kümelerin son durumdaki öğrenci sayıları Tablo 7'de ve harita üzerinde gösterimi ise Şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 7. Güncelleme sonrası oluşan küme verileri

Küme No	Renk	Öğrenci Sayısı
1	Kırmızı	29
2	Mavi	17
3	Yeşil	23
4	Sarı	25
5	Gri	12
6	Mor	24
7	Eflatun	11
8	Açık Yeşil	24
9	Siyah	22



Şekil 3. Güncelleme işlemi sonrası kümeler

Güncelleme aşaması tamamlandıktan sonra her bir noktanın araçlara atanmasına başlanmaktadır. İlk kümeden itibaren eğer kümedeki nokta sayısı sıradaki araç kapasitesini aşmıyor ise bu kümedeki noktaların tümü araca atanmaktadır. Eğer kümedeki nokta sayısı araç kapasitesinin üzerinde ise bu durumda kümedeki her bir noktanın diğer kümelere olan mesafe toplamları hesaplanarak, toplamı en büyükten küçüğe olacak şekilde noktalar sıralanmaktadır. Bu sıralama ile rotalama sahasında en dışta kalan başka bir deyişle diğer kümelere atanma ihtimali zayıf olan noktaların mevcut durumda buldukları kümelere atanmasında öncelik tanınması amaçlanmıştır. Böylece rotalama aşamasında mesafelerin daha yüksek oranda optimize edilmesi mümkün kılınmaktadır.

Küme içi öncelik sıralaması yapıldıktan sonra noktalar araç kapasitesi dolana kadar atanmaktadır. Tüm kümelerin bu şekilde araçlara ataması yapıldıktan sonra atanmamış olan noktalar için en yakın ve kapasitesi dolmamış küme merkezi bulunarak bu kümedeki araca ataması sağlanmaktadır. Tüm noktaların ataması tamamlandıktan sonra en yakın kümesine atanmamış noktalar için düzeltme yapılmaya çalışılmaktadır. En yakın kümesine atanmamış noktalar belirlenerek düzeltme listesine eklenmektedir. Düzeltme listesinde öncelikle eğer karşılıklı araç değişimi yapılarak düzeltilebilecek noktalar varsa bu noktaların araçları birbirleri arasında değiştirilmektedir. Daha sonra düzeltme listesindeki diğer noktalar için eğer kapasite aşımı

yapılmadan araç değişikliği imkanı var ise bu düzeltme uygulanmaktadır. Düzeltmelerden sonra oluşan küme merkezleri yeniden güncellenmektedir. Bu aşama düzeltme listesi boşalana yada düzeltme listesi üst üste iki kez aynı durumda kalması durumuna kadar devam etmektedir. Noktaların araçlara atanması bu şekilde tamamlanarak rota güzergahları oluşturulmaktadır. Önceki aşamada güncellemeleri tamamlanan kümelerdeki noktaların araçlara atanması anlatılan yöntem ile yapılmıştır. Atama işlemi sırasında 6 adet durak kendi aralarında araç değişimi yapmış, kalan 4 düzeltme isteği ise uygun boş kapasiteli araç bulunmadığı için gerçekleştirilememiştir. Atama işleminden sonra oluşan rota verileri Tablo 8'de, son durumda oluşan araç rotalarının harita üzerinde gösterimi ise Şekil 4'de verilmiştir.

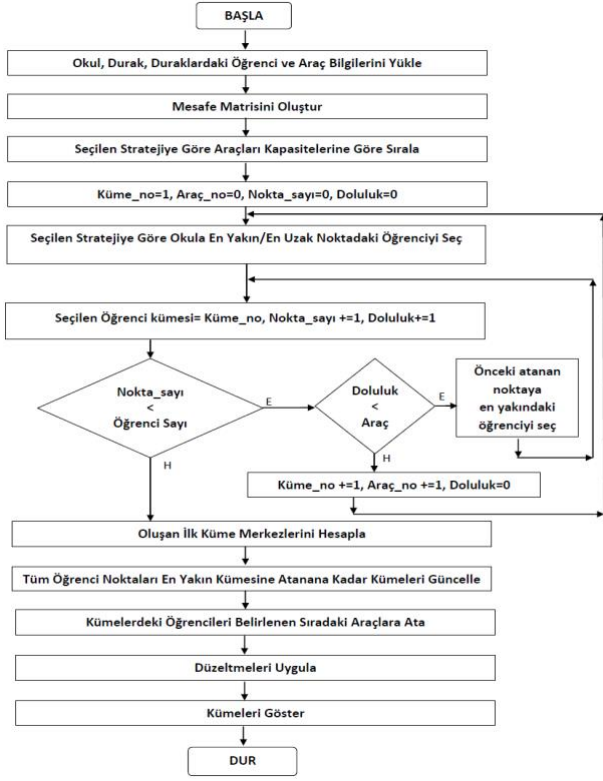
Tablo 8. Araç atamaları sonrası oluşan rota bilgileri

No	Renk	Kapasite	Durak/Öğrenci Sayısı	Doluluk Oranı (%)
1	Kırmızı	28	21/28	100
2	Mavi	20	17/20	100
3	Yeşil	21	14/21	100
4	Sarı	27	21/25	92,59
5	Gri	20	12/12	60
6	Mor	27	13/25	92,59
7	Eflatun	19	10/11	57,89
8	Açık Yeşil	27	18/24	88,88
9	Siyah	21	11/21	100
Toplam		210	137/187	89,05



Şekil 4. Araç atamalarının yapılması sonrası rotaların görünümü

Anlatılan kümeleme yöntemine ait akış diyagramı Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Geliştirilen kümeleme yöntemi akış diyagramı

3.4.3. Rotalama

Önceki aşamada geliştirilen kümeleme yöntemi ile oluşturulan rotalara, GA yönteminin probleme uyarlanmış şekli ile uygulanarak rotalarda izlenecek durak sıraları belirlenmektedir. Rotalama işleminde amaç, katedilen mesafelerin ve yolculuk sürelerinin optimize edilmesidir. Bunun yanı sıra durakların rakım bilgileri kullanarak araçların öğrencileri dağıtma/toplama işlemi sırasında tırmanma mesafelerini en aza indirgenmesi bu sayede yakıt tasarrufunun arttırılması amaçlanmıştır.

Rotalama işlemi yapılacak okula ait kümeleme ile belirlenen her bir rota için rota durak listesi, bu duraklar ve okul arasındaki mesafe, rakım ve süre matrisleri veritabanından yüklenmektedir. GA ile gerçekleştirilen rotalama işlemi için iterasyon sayısı, popülasyon büyüklüğü, çaprazlama büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon oranları ile rota yönü, rakım değişim önem oranı parametreleri kullanılmıştır. Rota yönü ile her bir araç rotası için hem dağıtma hem de toplama yönünde rotalar üretilmiştir. Rotalama işleminde uygulanan GA için varsayılan parametre değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

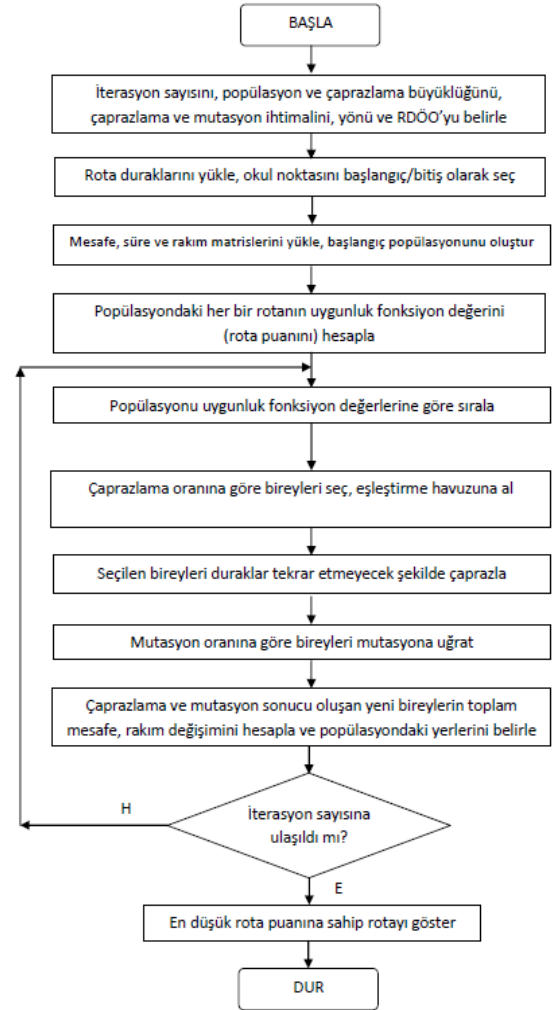
Tablo 9. GA varsayılan parametre değerleri

Parametre	Varsayılan Değer
İterasyon Sayısı	10000
Popülasyon Büyüklüğü	1000
Çaprazlama Büyüklüğü	200
Çaprazlama İhtimali	%90
Mutasyon İhtimali	%10
Rakım Değişim Önem Oranı(RDÖO)	%5

Rotalama probleminin çözümünde popülasyondaki her bir kromozom için uygunluk fonksiyonu girilen RDÖO parametre değerine göre, oluşturulan rotanın toplam puanı (P) olacak şekilde Eşitlik(16)'daki gibi hesaplanmaktadır. Amaç puanının minimize edilmesidir.

$$P = \sum_{i=0}^n M_{ij} \times (1 - RDÖO) + \sum_{i=0}^n R_{ij} \times (RDÖO) \quad (16)$$

Eşitlikteki M_{ij} mesafeler matrisi, R_{ij} ise rakım farkları matrisidir. Rotalama yapılırken öğrencilerin dağıtılması durumunda okul başlangıç durağı olarak, toplanması durumunda ise okul bitiş durağı olarak seçilir. Bu seçimler yapıldığında popülasyonda üretilen kromozomların başlangıç/bitiş genleri yapılan seçimler ile sabitlenmiştir. Rotalama için GA ile geliştirilen yöntemle ait akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Geliştirilen rotalama yöntemi akış diyagramı

4. Araştırma Bulguları

4.1. Geliştirilen Yazılım

OSRP'nin optimizasyonu için geliştirilen yöntemlerin toplanan verilere uygulanması için masaüstü bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılıma kaynaklık edecek olan veritabanı, MSSQL Server 2014 veritabanı programı kullanılarak tasarlanmıştır. Masaüstü yazılım Visual Studio.NET 2013 platformu üzerinde C# programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Yazılımda GIS aracı olarak Google Haritalar eklentisinden yararlanılmıştır. Yazılımda duraklar arası mesafelerin hesaplanması ve rotalarda izlenecek yolların görüntülenmesi işlemleri GMap.NET sınıfı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Konumların sahip oldukları yükseklik ve alternatif mesafe bilgilerinin elde edilmesi için Google api servislerinden faydalanılmıştır.

4.2. Deneysel Sonuçlar

Anlatılan önerilen kümeleme ve rotalama yöntemleri, toplanan veriler üzerinde her 4 dağıtım stratejisi için geliştirilen yazılım aracılığı ile çalıştırılmıştır. Sonuçlar elde edilirken Google haritalar üzerinden verilerin toplandığı süreçte alınan mesafe ve süre bilgileri kullanılmıştır. Yolculuk sürelerinde trafik kurallarına uygun sürüş yapılacağı varsayılmıştır. Yazılım Intel Xeon 2.93 Ghz Çift Çekirdek işlemci, 2 GB RAM Bellek ve 64 bit Windows Server 2008 R2 işletim sistemine sahip bir sunucu bilgisayar üzerinde çalıştırılmıştır. Her strateji için elde edilen kümeleme sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Elde edilen kümeleme sonuçları

Strateji No	Araç Sayısı	Algoritma Çalışma Zamanı (sn)	Toplam Araç Kapasitesi	Toplam Doluluk Oranı (%)
1	8	3,9	191	97,9
2	8	4,21	191	97,9
3	9	3,68	210	89,05
4	9	2,9	210	89,05

Tablo 10'da verilen kümeleme ile oluşturulan araç rotaları için, geliştirilen GA yöntemi Tablo 9'daki parametre değerleri ile bir okul günü için dağıtım ve toplama yönünde olacak şekilde çalıştırılarak rotalama yapılmıştır. Elde edilen en iyi sonuçlar ile Tablo 4'de verilen toplanan rotaları optimize etme oranları Tablo 11 ve Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 11. Dağıtım yönünde elde edilen rotalama sonuçları

Strateji No	Mesafe (km)	Süre (dk)	Rakım Değişimi (m)	Optimizasyon Oranı Mesafe / Süre (%)
1	200,88	433,25	281	-3,12 / -9,41
2	188,14	405,53	293	3,42 / -2,41
3	175,15	383,58	259	10,09 / 3,14
4	171,98	378,28	284	11,71 / 4,47

Tablo 12. Toplama yönünde elde edilen rotalama sonuçları

Strateji No	Mesafe (km)	Süre (dk)	Rakım Değişimi (m)	Optimizasyon Oranı Mesafe / Süre (%)
1	203,63	423,88	-228	-3,26 / -4,15
2	189,02	397,65	-335	4,15 / 2,3
3	174,1	361,98	-289	11,71 / 11,06
4	173,08	368,73	-284	12,23 / 9,4

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 1 ve 2 numaralı stratejilerde en büyük araçtan en küçük araca doğru atama yapılmasından dolayı araç sayısının mevcut duruma göre 1 azaltıldığı ve toplam doluluk oranının %8,85 arttırıldığı görülmüş fakat bu yöntem ile üretilen rota mesafelerinin mevcut rota mesafelerini yeterince iyileştiremediği sonucuna varılmıştır. Araçların küçükten büyüğe doğru doldurulduğu 3 ve 4 numaralı stratejilerde ise mevcut durum ile aynı sayıda araç kullanıldığı, toplam doluluk oranının değişmediği fakat rota mesafe ve sürelerinin hem toplama hem de dağıtım yönünde kabul edilebilir düzeyde iyileştirildiği görülmüştür. Bu 4 strateji içerisinde rota mesafe ve sürelerin optimize edilmesinde en başarılı sonuçları 4 numaralı strateji üretmiştir.

Elde edilen en iyi sonuçlara göre;

a) Dağıtım yönü için;

- Toplam rota mesafesi 194,8 kilometreden 171,98 kilometreye düşürülerek %11,71 oranında,
- Toplam rota süresi ise 396 dakikadan 378,28 dakikaya düşürülerek %4,47 oranında,

b) Toplama yönü için;

- Toplam rota mesafesi 197,2 kilometreden 173,08 kilometreye düşürülerek %12,23 oranında,
- Toplam rota süresi ise 407 dakikadan 368,73 dakikaya düşürülerek %9,4 oranında

bir optimizasyon sağlanmıştır.

Geliştirilen yöntemlerin rotalardaki tırmanma miktarlarını azaltarak toplam rakım değişimi miktarını azaltabileceği görülmüştür. Okulun bulunduğu konum yüksekliğinin duraklara göre daha düşük seviyede olması dağıtım yönünde rakım değişim miktarlarının toplama yönüne göre daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada OSRP'nin optimizasyonu yapılarak araç rotalarının mesafe, yolculuk süreleri ve rakım değişimi parametreleri açısından iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Problemin optimizasyonu için, K-means kümeleme tekniği temelli yeni bir kümeleme yöntemi ile birlikte probleme uyarlanarak geliştirilen GA yöntemi kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. GIS araçları ve mobil destekli olarak geliştirilen

yazılım ile okul servis araçları rotalarının mesafe, süre ve rakım değişim oranı parametreleri bakımından optimize edilmesi sağlanmıştır. Çalışmanın uygulaması için Ankara ilinde bulunan bir servis firmasının taşımacılık hizmeti verdiği özel bir ortaokuldan rota ve araç bilgileri toplanmıştır. Toplanan rotalara geliştirilen yöntem uygulanmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Sonuçlar değerlendirildiğinde servis firmasının hizmet verdiği okul için mesafe bazında dağıtım rotasında 22,82 km, toplama rotasında ise 24,12 km olmak üzere günlük toplamda 46,94 km daha az yol katedileceği görülmüştür. Süre bazında ise dağıtım yönünde 17,72 dakika, toplama yönünde ise 38,27 dakika olmak üzere günlük toplamda 55,99 dakikalık bir iyileştirme yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Servis firmasının bu okul için verdiği hizmette, 36 haftalık bir eğitim öğretim yılı boyunca toplamda 8449,2 km ve 10078,2 dakikalık bir kazanç elde edebileceği görülmüştür. Geliştirilen kümeleme ve rotalama yöntemlerinin mesafe, zaman ve yakıt tüketimini önemli oranda azaltabileceği sonucuna varılmıştır.

Elde edilen sonuçlarının çevre kirliliği, araç bakım giderleri, trafik yoğunluğunun azaltılması, öğrencilerin trafikte geçirdiği sürenin azaltılarak trafiğin olumsuz etkilerinden korunmaları gibi konulara da katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

4539-D1-16 numaralı proje ile desteklenen bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Bektaş, T., Elmastaş, S., 2004. Okul Araç Rotalama Probleminin Tamsayı Programlama İle Çözümü. YA/EM'2004, 15-18 Haziran, Gaziantep-Adana, 61-63.
- Ben Sghaier, S., Ben Guedria, N., Mraih, R., 2013. Solving School Bus Routing Problem with Genetic Algorithm. In Advanced Logistics and Transport (ICALT), 2013 International Conference on IEEE, 7-12.
- Bögl, M., Doerner, K.F., Parragh, S.N., 2015. The School Bus Routing and Scheduling Problem with Transfers. Networks, 65(2), 180-203.

- Carpaneto, G., Toth, P., 1980. Some New Branching and Bounding Criteria for the Symmetric Traveling Salesman Problem. Management Science, 26(7), 736-743.
- Ceselli, A., Righini, G., Salani, M., 2009. A Column Generation Algorithm for a Vehicle Routing Problem with Economies of Scale and Additional Constraints. Transportation Science, 43(1), 56-69.
- Chabrier, A., 2006. Vehicle Routing Problem with Elementary Shortest Path Based Column Generation. Computers and Operations Research, 33(10), 2972-2990.
- Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P., 1981. State-Space Relaxation Procedures for the Computation of Bounds to Routing Problems. Networks, 11(2), 145-164.
- Clarke, G., Wright, J.W., 1964. Scheduling of Vehicles From a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, 12(4), 568-581.
- Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.Y., Semet, F., 2002. A Guide to Vehicle Routing Heuristics. The Journal of the Operational Research Society, 53(5), 512-522.
- Çatay, B., 2010. A New Saving-Based Ant Algorithm For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pickup and Delivery,. Expert Systems with Applications, 37, 6809-6817.
- Çolak, S., Güler, H., 2009. Dağıtım Rotaları Optimizasyonu İçin Metasezgisel Bir Yaklaşım. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(2), 171-190.
- Diaz-Parra, O., Ruiz-Vanoye, J. A., Buenabad-Arias, A., Cocon, F., 2012. A vertical transfer algorithm for the School Bus Routing Problem. In 2012 Fourth World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC) on IEEE, 66-71.
- Erel, R., (1995), Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi: Otobüsle Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı İçin Bir Model. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Fisher, M.L., 1994. Optimal Solution of Vehicle Routing Problems using Minimum k-trees. Operations Research, 42(4), 626-642.
- Fukasawa, R., 2006. Robust Branch-and-Cut-and-Price for the Capacitated Vehicle Routing Problem. Mathematical Programming, 106(3), 491-511.
- Laporte, G., Nobert, Y., Desrochers, M., 1985. Optimal Routing Under Capacity and Distance Restrictions. Operations Research, 33, 1058-1073.
- Laporte, G., 1992. The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms. European Journal of Operational Research, 59, 345-358.

- Laporte, G., Nobert, Y., Taillefer, S., 1988. Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location Routing Problems. *Transportation Science*, 22(3), 161-172.
- Li, L.Y.O., Fu, Z., 2002. The School Bus Routing Problem: A Case Study. *Journal of the Operational Research Society*, 53(5), 552 – 558.
- Martínez, L. M., Viegas, J. M., 2011. Design and Deployment of an Innovative School Bus Service in Lisbon. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 20, 120-130.
- MacQueen, J. B., 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the Fifth Symposium on Math, Statistics, and Probability*, Berkeley, CA, University of California Press, 1, 281-297.
- Nazif, H., Lee, S.L., 2012. Optimised Crossover Genetic Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 2110-2117.
- Önder, E., 2011. İstanbul Halk Ekmek A.Ş. (İHE)'ye Ait Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Metasezgisel Yöntemler İle Optimizasyonu. *İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 70, 74-92.
- Padberg, M., Rinaldi, G., 1991. A Branch-and-Cut Algorithm for the Resolution of Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems. *SIAM*, 33, 60-100.
- Park, J., Kim, B., 2010. The School Bus Routing Problem: A review. *European Journal of Operational Research*, 202, 311-319.
- Ralphs, T.K., Kopman, L., Pulleyblank, W.R., Trotter, L.E., 2003. On the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Mathematical Programming Series B*, 94, 343.
- Rojas, J.S.A., Jimenez, J.F., Montoya-Torres, J.R., 2012. Solving of School Bus Routing Problem by Ant Colony Optimization. *Revista EIA*, 17, 193-208.
- Schittkat, P., Sevaux, M., Sörensen, K., 2006. A Mathematical Formulation for a School Bus Routing Problem. In: *Proceedings of the IEEE 2006 International Conference on Service Systems and Service Management*, Ekim, Troyes, France, 1552-1557.
- Sghaier, S.B., Guedria, N.B., Mraïhi, R., 2013. Solving School Bus Routing Problem with Genetic Algorithm. In *Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, 2013 International Conference on IEEE, 29-31 May, Sousse, 7-12.
- Taha, H.A., 2000. *Yöneylem Araştırması*. Çev. Baray, A.Ş., Esnaf, Ş. Literatür Yayıncılık, 900s, İstanbul.
- Toth, P., Vigo, D., 2002. *Vehicle Routing Problem*. Siam, 367p, Philadelphia.
- Ünsal, Ö., 2017. Dinamik Okul Servisi Rotalama Probleminin Sezgisel Yöntemler ve Kümeleme Teknikleri Kullanılarak Gerçek Zamanlı Optimizasyonu. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye.
- Yılmaz, Ş., 2008. Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu İle Modellenmesi Ve Bir Çözüm Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.