



Karıncı Koloni ve Genetik Algoritma Yöntemleri Kullanarak En İyi Sayaç Okuma Güzergâhının Tespit Edilmesi

Determining the Best Meter Reading Route Using Ant Colony and Genetic Algorithm Methods

Murat Taşyürek^{1*}, Mehmet Erat²

¹ Kayseri Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, murattasyurek@kayseri.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5623-8577>

² Kayseri Üniversitesi, Hesaplamalı Bilimler ve Mühendislik, mehmed.erat@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1868-5824>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 17 Mart 2022
Revizyon 20 Nisan 2022
Kabul 1 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:
Karıncı Kolonisi Algoritması,
Gezgin Satıcı Problemi, Sayaç
Okuma, Su ve Kanalizasyon
Idareleri

ÖZ

Elektrik, su ve doğalgaz dağıtım idareleri abonelerin tüketimlerini belirli dönemlerde faturalandırmaktadırlar. Tüketim miktarının belirlenmesi için abonelerin adreslerindeki sayaç endekslerinin okunması gerekmektedir. Dağıtım idareleri bu süreci minimum iş gücü ile maksimum fayda sağlayacak şekilde yürütmeye çalışmaktadırlar. Aboneler fiziki şartlar göz önünde bulundurularak bir personelin günlük okuyabilecekleri limitlerde bölgesel olarak gruplandırılmaktadır. Su ve Kanalizasyon idarelerinde de endeks okuma personelleri mobil cihaz ve uygulama ile belirlenen dönemlerde sayaç okuma işlemi yaparak abonelerin tüketim miktarlarını belirlemekte ve tahakkuk oluşturmaktadırlar. Abonelerin sayaç okuma güzergâhı endeks okuma personellerinin alışkanlığına ve saha koşullarına göre tayin edilmektedir. Okuma dönemlerinde yaşanan abone hareketliliği (yeni abonelik, abonelik iptali vb.) sayaç okuma sürecini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada bölgesel sayaç okuma süreci ele alınmış ve endeks okuma personellerinin okuma performanslarının iyileştirilmesi için literatürde Gezgin Satıcı Problemi diye ifade edilen sorunun çözümünde Karıncı Koloni ve Genetik algoritmalarının yaklaşımları ve performansları incelenmiştir. Kayseri Melikgazi ilçesi Erenköy mahallesinde bulunan aboneler için her iki algoritma ile sayaç okuma rotalama işlemi yapılmış, Karıncı Koloni Algoritmasının aynı mesafeyi yaklaşık olarak 3 kat daha hızlı sürede tespit ederek daha iyi sonuç ürettiği gözlemlenmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 March 2022
Received in revised form 20 April 2022
Accepted 1 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords: Ant Colony Algorithm,
Traveling Seller Problem, Optimum
Route Determination, Meter
Reading, Water and Sewer Utilities

ABSTRACT

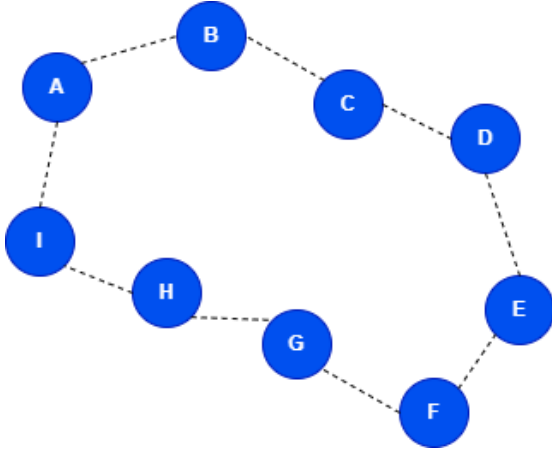
Electricity, water and natural gas distribution administrations invoice the consumption of the subscribers in certain periods. In order to determine the consumption amount, it is necessary to read the meter indices at the addresses of the subscribers. Distribution administrations are trying to carry out this process in a way that will provide maximum benefit with minimum workforce. Subscribers are grouped regionally within the limits that a staff member can read daily, taking into account the physical conditions. In the Water and Sewerage administrations, index reading personnel also perform meter readings in periods determined by mobile device and application, determine the consumption amounts of the subscribers and create accruals. The meter reading route of the subscribers is determined according to the habits and field conditions of the index reading personnel. The subscriber mobility (new subscription, subscription cancellation, etc.) experienced during the reading periods negatively affects the meter reading process. In this study, the regional meter reading process is discussed and the approaches and performances of Ant Colony and Genetic algorithms in solving the problem, which is called the Traveling Salesman Problem in the literature, are examined in order to improve the reading performance. For subscribers in Kayseri Melikgazi district, Erenköy neighborhood, meter reading routing process was performed with both algorithms, it was observed that the Ant Colony Algorithm determined the same distance approximately 3 times faster in terms of time and produced better results compared to time criteria.

Doi: 10.24012/dumf.1072010

* Sorumlu Yazar

Giriş

Gezgin satıcı problemi (GSP) Karl Menger tarafından 1930'lu yılların başında matematiksel olarak tanımlanmıştır. Problemin tanımlanması kolay olmasına rağmen çözümü oldukça zordur [1]. GSP modelinin tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri çok fazla gerçek dünya probleminin bu yöntem ile modellenmesidir. Gezgin satıcı problemi literatürde en kısa yol problemi olarak da tanımlanmaktadır. Bu problemde temel mantık bir tüccarın mallarını her şehri bir defa ziyaret ederek başlangıç noktasına geri dönmesidir [2]. Şekil 1' de Hamilton döngüsü gösterilmiştir [3]. Temel prensip en kısa yolu takip ederek tüm işlemleri gerçekleştirmektir.



Şekil 1. Hamilton Döngüsü

Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) abonelerinin tüketimlerini faturalandırmak için belirli zaman aralıklarında sayaç okuma işlemi yapmaktadır. Aboneler, mesafe ve sayacın fiziki durumu göz önünde bulundurularak bir personelin bir günde okuyabileceği kadar bölgelere göre gruplandırılmaktadır. Bölgedeki bu abonelerin sayaçları yerinde okunarak cep telefonu ve mobil uygulama aracılığıyla fatura düzenlenmektedir. Şehirdeki yaşam hareketliliği nedeniyle faturalandırma zaman aralığında yeni abonelikler (binalar) gelebileceği gibi mevcut aboneliklerin iptali (bina yıkım vb.) gerçekleşmektedir. Bölgede gerçekleşen bu hareketlilik sayaç okuma personelinin doğru rotayı izlememesi nedeniyle zaman kaybettirebilmektedir. Yeni oluşacak aboneliğin rotaya zamanında dahil edilememesi aboneye birikmiş bir fatura yükü oluşturmakta ve kurum için de gelirin geç tahsil edilmesi ile sonuçlanabilmektedir.

Endeks okuma sürecinde yaşanan bu olumsuzlukları giderebilmek için literatürde mevcut olan çalışmalar incelendiğinde Gezgin Satıcı Problemi şeklinde ifade edilen sorunun çözümüne yönelik geliştirilen farklı algoritmalar görülmektedir.

Ahn ve diğerleri [17], en kısa yol yönlendirme problemini genetik algoritma yöntemi kullanarak çözmüştür. Gonen ve diğerleri [18], yol ağındaki en kısa yolu bulmak için genetik algoritma yönteminin kullanılmasını tavsiye etmiştir. Diğer taraftan, 2022 yılında Di Caprio ve diğerleri [19] bulanık yay ağırlıkları ile en kısa yol problemlerini çözmek için yeni bir

karınca kolonisi algoritması önermiştir. Yen ve diğerleri [20], mobil robotta en kısa yol planlaması ve engellerden kaçınma için kullanılan karınca kolonisi algoritması ile bulanık kontrol çalışmasını birlikte kullanmayı önermiştir.

Bu çalışma kapsamında, gezgin satıcı problemlerinde yaygın kullanılan algoritmalarından karınca kolonisi ve genetik algoritmalar ile endeks okuma personelleri için optimum rota oluşturulması hedeflenmiştir.

Kayseri Melikgazi ilçesi Erenköy mahallesinde bulunan sayaçlar ile çalışma yapılmıştır. Bu bölge yeni yerleşime açık, dağınık ve müstakil binaların fazlaca olması nedeniyle seçilmiştir. 40, 50 ve 100 adet bina içeren üç farklı veri seti oluşturulmuştur. Her iki algoritmanın farklı sayıda abone için ürettiği sonucun mesafe ve zamansal olarak çözümünü gözlemleyebilmek için farklı sayıda veri içeren veri setleri ile sayaç okuma rotalama işlemi yapılmıştır. 60 iterasyon sonunda birbirine yakın değerler elde edilse de Karınca Koloni algoritmasının en kısa yolu en az sürede bulduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde, sırasıyla, gezgin satıcı problemi, karınca kolonisi algoritması ve genetik algoritmalar açıklanmıştır. Uygulama kısmında karınca kolonisi ve genetik algoritma kullanılarak çalışma alanındaki noktalar için sonuçlar hesaplanmıştır. Sonuç kısmında algoritmaların karşılaştırılması ve gezgin satıcı problemi yaklaşımının vermiş olduğu sonuç değerlendirilmiştir.

Gezgin Satıcı Problemi

GSP, seyahat eden satıcının, mallarını bulunduğu şehirden başlayarak her şehri bir defa ziyaret ederek başlangıç noktasına geri dönmesidir [4]. Asıl amaç bu yolculuk için en kısa rotanın tanımlanmasıdır. GSP, Matematik, Bilgisayar Bilimi, Yöneylem Araştırması vb. birçok dalda yaygın olarak kullanılan modeldir. Zor birleşimsel optimizasyon problemlerine en başarılı yaklaşımların ana bileşenleri olan doğrusal programlama formülasyonundan türetilmiştir. Problem boyutu arttıkça kesin çözüm üretmek zor hatta imkansızlaşmaktadır [5]. İlk olarak GSP için formüle edilmiş ve 1954'te Dantzig, Fulkerson ve Johnson tarafından pratik problem örneklerini çözmek için kullanılmıştır. NP-tam (NP-completeness) teorisi geliştirildiği zaman GSP, 1972'de Karp tarafından NP-zor olarak kantlanan ilk problemlerden biri olarak tanımlanmıştır [6].

Karınca Kolonisi Algoritması (KKA)

Sürü zekâsı araştırma alanının kurucularından biri olan Marco Dorigo tarafından ortaya atılmıştır [7]. Karıncalar yiyecek ararlarken öncelikle yuvalarını çevreleyen alanı rastgele bir şekilde araştırırlar. Bir karınca besin bulunduğu anda değerlendirir ve yiyeceği yuvasına taşıırken yol üzerinde iz biriktirir [8]. Karınca kolonilerinin üyeleri arasındaki sosyal ilişkileri düzenlemek için salgıladıkları kimyasal bir madde vardır. Feromon adı verilen bu maddenin salgılanmasıyla yiyecek kaynakları ile yuvaları arasındaki en kısa yolu bulma yöntemlerinden esinlenerek oluşturulmuştur [9]. Yol ne kadar kısa olursa ortamdaki Feromon o kadar

yoğun olur, karıncalar tarafından yüksek olasılıkla bu yol tercih edileceğinden diğer yollardaki Feromon zamanla kaybolacaktır [10].

Karıncanın Turunun Oluşturulması

Karıncanın koloni algoritmasında ilk olarak kaç tane karınca olacağı belirlenir. Daha sonra her bir karınca rastgele olarak bir düğüme yerleştirilir. Daha sonra bütün düğümleri tek tek ziyaret ederek turunu tamamlar. Her bir karıncanın mevcut düğümden bir sonraki düğüme gidebilmesinin matematiksel formülü Denklem 1'de verilmiştir [22].

$$P_{i,j}^l = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^l} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}$$

(Denklem 1)

Denklem 1'de, $P_{i,j}^l$ karıncasının i düğümünden j düğüme geçme olasılığı $\tau_{i,j}$ i ve j düğümleri arasındaki feromon değeri $\eta_{i,j}$ i ve j düğümleri arasındaki sezgisel değeri α feromon katsayısı β sezgisel katsayısı N düğümler kümesini ifade etmektedir [23].

Karıncanın koloni algoritmasının dört adet temel parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur [24].

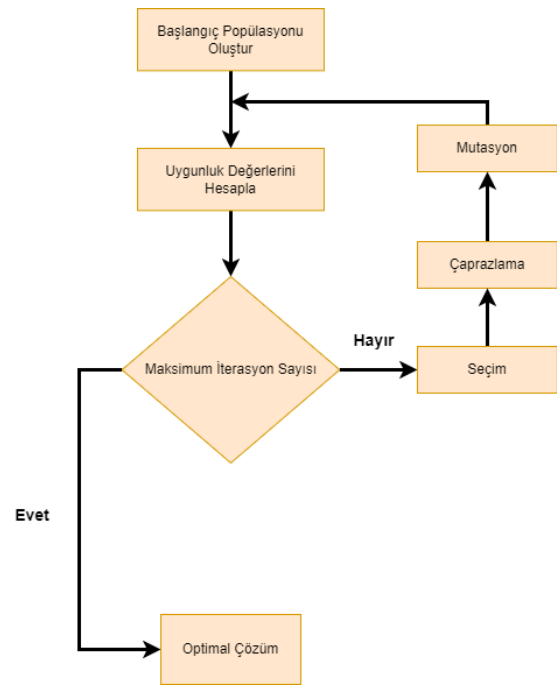
- Karınca Sayısı: Kolonide bulunacak karınca sayısı
- İterasyon Sayısı: Arama işleminin kaç adımda gerçekleşeceği
- Feromon Kuvvetlendirme Oranı: Düğümler arası feromon miktarlarının önem derecesi
- Feromon Buharlaştırma Oranı: İterasyon sonunda düğümler arasındaki feromonların buharlaşacağı oran

Genetik Algoritmalar

Genetik algoritma (GA), genellikle küresel bir arama buluşsal tekniği olarak kategorize edilen bir optimizasyon algoritmasıdır. Evrimsel hesaplamaların bir dalı olarak, biyolojik üreme süreçlerinin doğal seçilimi taklit ettiği ve "en uygun" çözümleri ürettiği bilinmektedir [11]. 1960'larda John Holland, öğrencileri ve Michigan Üniversitesi'ndeki meslektaşları tarafından geliştirilmiştir [12]. Genetik algoritma evrimsel hesaplamadaki en popüler tekniklerden biridir [13]. Algoritma, yeni nesillerin türetileceği bir başlangıç popülasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Bu popülasyonun çeşitliliği ve boyutu çözüm kalitesini doğrudan etkilemektedir [14].

Genetik Algoritma Adımları:

1. Başlat: Başlangıç popülasyonunu oluştur.
2. Uygunluk: Tüm kromozomların uygunluğunu hesapla.
3. Yeni popülasyon oluştur.
 - a) Seçim: Seçim yöntemine göre popülasyondan 2 kromozom seçin.
 - b) Çaprazlama: Seçilen 2 kromozom üzerinde çaprazlama gerçekleştirin.
 - c) Mutasyon: Elde edilen kromozomlar üzerinde mutasyon gerçekleştirin.
4. Değiştir: Mevcut popülasyonu yeni popülasyonla değiştirin.
5. Test: Son koşulun karşılanıp karşılanmadığını test edin. Eğer öyleyse, dur. Değilse, mevcut popülasyondaki en iyi çözümü döndürün ve Adım 2'ye gidin.



Şekil 2. GA Modeli

Genetik Algoritmanın Temel Unsurları

Çoğu GA yöntemi şu unsurlara dayanır: kromozom popülasyonları, uygunluğa göre seçim, yeni yavrular üretmek için çaprazlama ve yeni yavruların rastgele mutasyonu [25].

GA modellerindeki kromozomlar, aday çözümlerin uzayını temsil eder. Olası kromozom kodlamaları ikili, permütasyon, değer ve ağaç kodlamalarıdır. GA modelleri, mevcut popülasyondaki her kromozoma bir puan tahsis eden bir uygunluk fonksiyonu gerektirir. Böylece çözümlerin ne kadar iyi kodlandığı ve problemi ne kadar iyi çözdüğü hesaplanabilir.

Bulgular

Genetik Algoritmalar kullanılarak Gezgin Satıcı Problemi yaklaşımı ile sayaç okuma personellerinin okuma güzergâhları geliştirilen uygulama üzerinden oluşturulmuştur. Personel sahada okuma işlemi yaparken canlı olarak merkez tarafında yapılan değişiklikler anlık olarak rotayı güncelleyecek ve personel en kısa mesafede en verimli bir şekilde çalışma yapmış olacaktır. Bu çalışma kapsamında kullanılan binaların harita üzerindeki konumu Şekil 3'te sunulmuştur.

Karınca Kolonisi Algoritması (KKA)

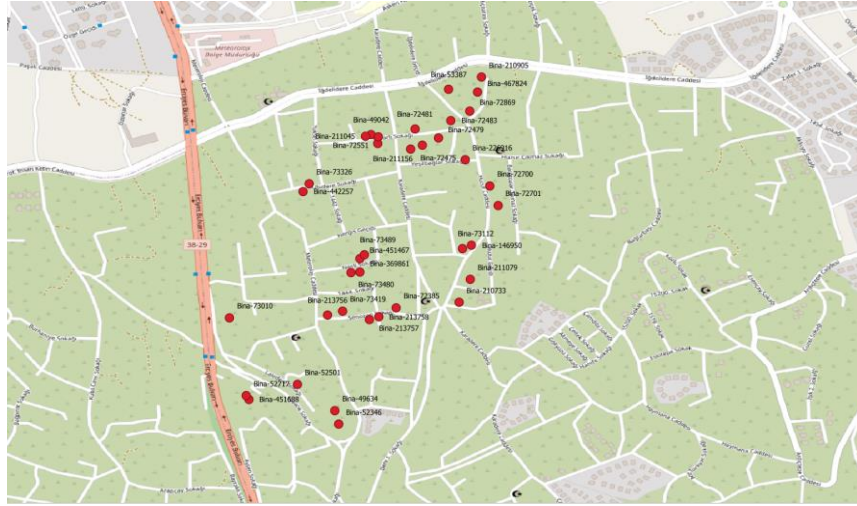
Algoritma, 40-50 ve 100 adet binadan oluşan 3 farklı veri setinde test edilmiştir. Değişen veri setlerinde sadece karınca

sayısı parametre değeri bina sayısına eşit olacak şekilde aşağıdaki parametre değerleri kullanılmıştır.

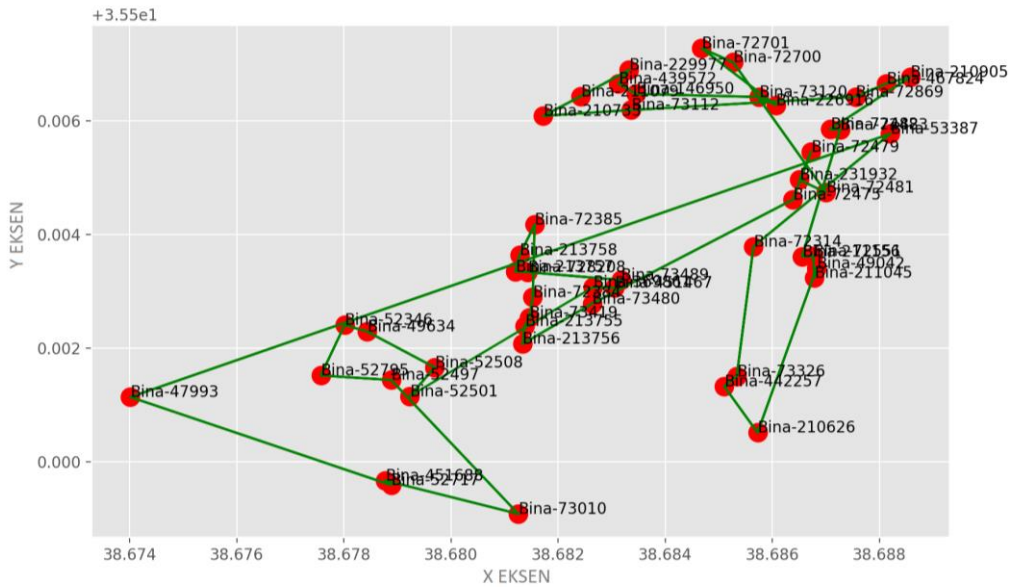
Tablo 1. KKA kullanılan parametre değerleri

Parametre Adı	Değeri
Karınca Sayısı	50
Feromon Buharlaşma Oranı	0.3
Alfa	1
Beta	2.5
İterasyon Sayısı	60

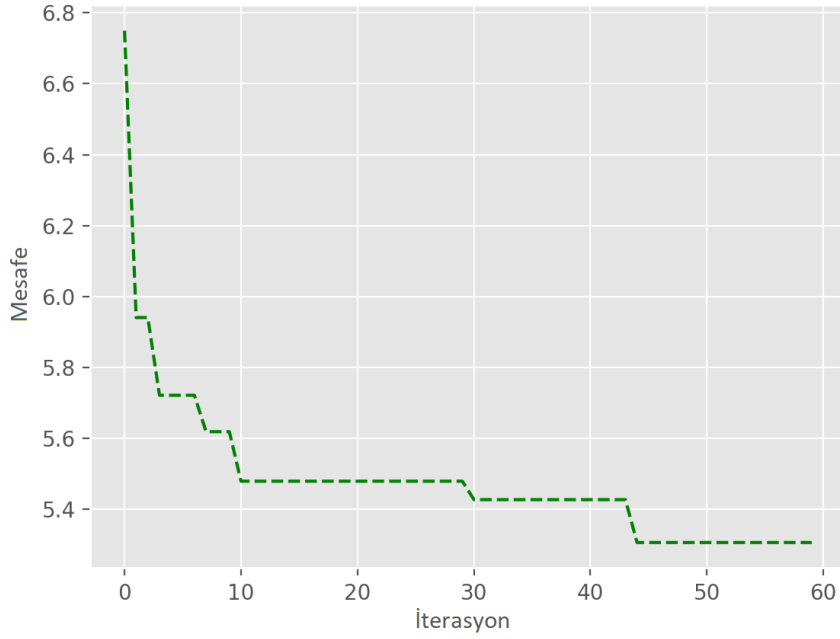
Karınca sayısını artırmak çözümün iyileşmesine katkı sağlamakta fakat işlem süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle problemin büyüklüğüne bağlı olarak genellikle karınca sayısı şehir sayısı ile eşit seçilmektedir.



Şekil 3. Abonelerin (Bina) Coğrafi Koordinatları



Şekil 4. 50 Adet Binanın KKA ile rotalanması



Şekil 5. 50 Adet Binanın KKA İterasyon - Mesafe Grafiği

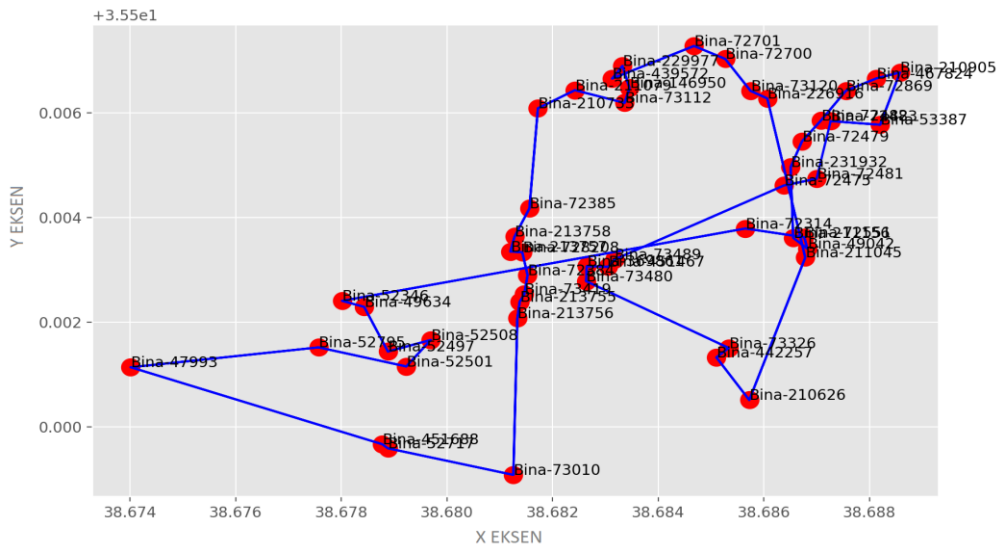
50 adet binanın karınca kolonisi algoritması ile rotalanmasında elde edilen sonuç Şekil 4 ve 5'te sunulmuştur. Şekil 5 detaylıca incelendiğinde 43. iterasyonda optimum güzergâhın oluştuğu görülmektedir. Her bir iterasyonda en uygun turu gerçekleştiren karınca ile birlikte en iyi tur korunarak bir sonraki iterasyona aktarılmaktadır. Dolayısıyla iterasyon sayısı arttıkça mesafe değeri de iyileşmektedir.

Genetik Algoritma

NP-zor problemler için en iyi çözümü standart matematiksel yaklaşım kullanarak bulmak mümkün değildir. Genetik

öncelikle rastgele bireylerden oluşan bir popülasyon (çözüm havuzu) oluşturulmaktadır. Popülasyondaki birey sayısının küçük seçilmesi daha kısa iterasyonda çözüme ulaşılacağı gibi yerel optimuma takılabilmektedir. Birey sayısının çok fazla olması ise çözüm kalitesini artıracak ancak iterasyon sayısını uzatacaktır. 50 adet binanın genetik algoritma ile rotalanmasından Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur. Şekil 7'de detaylıca incelendiğinde 56. iterasyon da optimum güzergâhın oluştuğu görülmektedir.

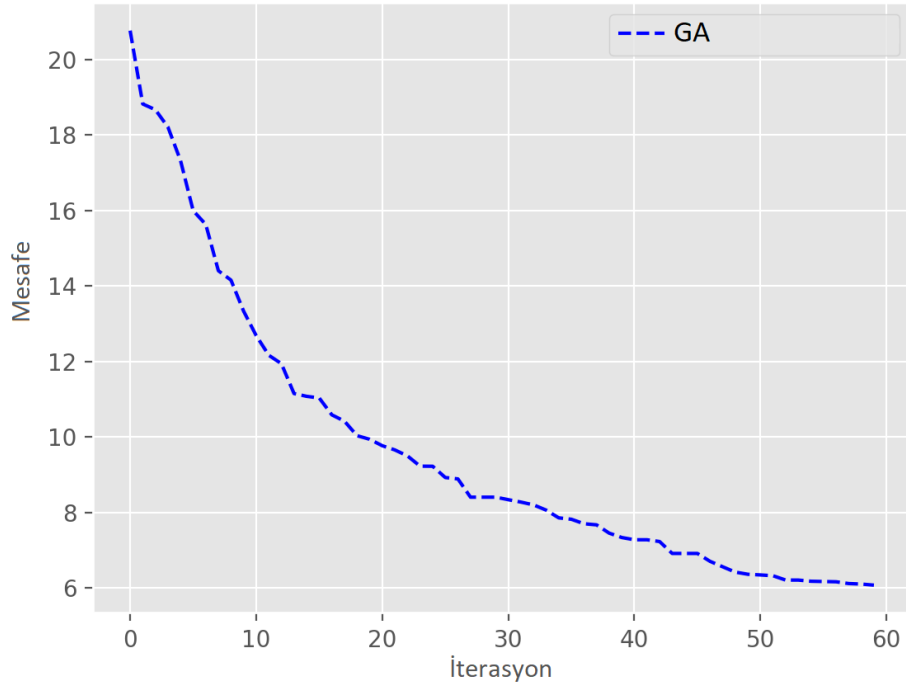
Algoritma, 40-50 ve 100 adet binadan oluşan 3 farklı veri



Şekil 6. 50 Adet Binanın GA ile rotalanması

Algoritmalar, çok sayıda olası çözüm içinde bir soruna iyi çözümler arayan bilgisayar algoritmalarıdır.

setinde test edilmiştir. Değişen veri setlerinde sadece "Birey



Şekil 7. 50 Adet Bina'nın GA İterasyon -Mesafe Grafiği

Sayı” parametre değeri bina sayısına eşit olacak şekilde aşağıdaki parametre değerleri kullanılmıştır.

Tablo 2. GA kullanılan parametre değerleri

Parametre Adı	Değeri
Birey Sayısı	50
Mutasyon Olasılığı	0.1
Çaprazlama Olasılığı	0.9
İterasyon Sayısı	60

Algoritmaların Karşılaştırılması

Karınca Kolonisi Algoritması grafikte de görüleceği üzere Genetik Algoritmaya göre ilk adımlarda daha kısa mesafeli rotaya ulaşmaktadır. Çünkü Karınca Kolonisi Algoritması turuna ilk olarak kendisine en yakın aboneye uğrayarak başlamakta iken genetik algoritma ise başlangıçta tamamen rastsal olarak üretilen popülasyon havuzundaki rotayı iterasyon ilerledikçe iyileştirmektedir. 50 adet aboneden oluşan veri setinde Karınca Kolonisi algoritmasının yaklaşık olarak 43. iterasyonda, genetik algoritmanın ise yaklaşık olarak 56. iterasyonda yerel minimuma ulaştığı görülmektedir.

Tartışma ve Sonuç

Python ile geliştirilen uygulama ile Karınca Kolonisi ve Genetik algoritmalar, aynı sayaç okuma bölgesinde yer alan 40-50 ve 100 adet binadan oluşan farklı veri setleri ile test edilmiştir. GSP yaklaşımı ile abone noktaları arasındaki en

kısa yol hesaplanabilmektedir. Bunun yanında uygulama ile abone noktaları arasındaki gerçek mesafeler gösterilerek çıkan sonuca göre oluşturulan rotanın performans karşılaştırması mümkün kılınmıştır.

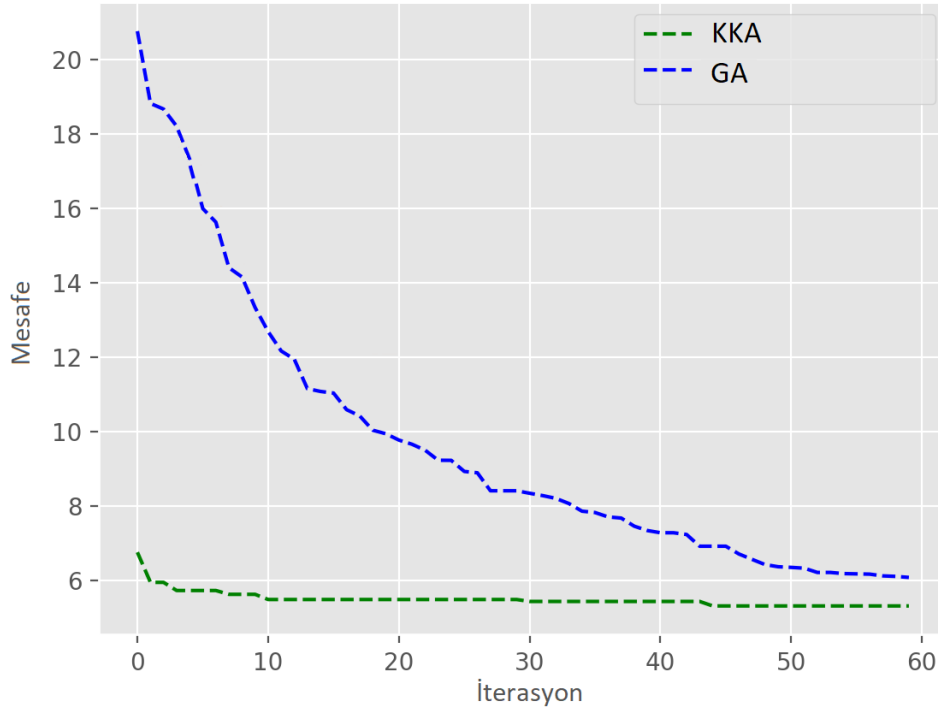
Yöntemlerin başarımlarını irdelemek için elde edilen mesafe grafiği Şekil 8’de sunulmuştur. Her üç veri seti ile yapılan testlerde 60 iterasyon sonunda algoritmalar birbirine yakın sonuçlar verse de Karınca Koloni algoritmasının gerek zaman gerekse mesafe olarak daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Sayaç okuma güzergahının belirlenmesinde, kaynakların verimli kullanılması açısından hesaplama maliyetinin zaman zaman açısından önemli da olduğu durumlarda özellikle Karınca Koloni Algoritması Genetik Algoritmaya göre daha erken iterasyonlarda optimum güzergaha yakın değer üretmektedir. Bu nedenle problemimizin çözümü yaklaşık olarak 3 kat daha kısa zamanda sağlanmaktadır.

Genetik algoritmanın başlangıçta rastsal bir rota oluşturuyor olması, Karınca Koloni Algoritmasının ise başlangıç noktasına en yakın binaları rotalıyor olması Genetik Algoritmanın dezavantajı olarak değerlendirilebilir.

KKA pek çok problemin çözümünde başarıyla kullanılmış ve bu problemlerin çözümünde etkili olduğu ortaya koyulmuştur [15].

KKA, kombinatoriyal optimizasyon gerçekleştirmek için son derece uygundur. Bununla birlikte, sezgisel bir algoritma olarak, yavaş yakınsama hızı ve düşük arama verimliliği gibi birçok eksikliği vardır. Bahsedilen eksiklikleri gidermek



Şekil 8. 50 Adet Binanın KKA ve GA İterasyon - Mesafe Grafiği

için, karıncaların arama alanını büyütüp aranan çözümleri çeşitlendirerek yeni bir KKA geliştirilebilir [16].

Diğer taraftan en kısa yol bilgisinin dinamik olarak değiştiği durumlarda ise anlık olarak çözüm üretilmesi gerekmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için literatürde genetik algoritma ve karınca koloni algoritması birlikte kullanılarak çözümler üretilmektedir [21].

Endeks okuma ve faturalandırma sürecinin, abone memnuniyeti ve idareye olan maliyeti açısından maksimum fayda sağlayacak şekilde yönetilmesi önem arz etmektedir. Zaman ve maliyeti en iyileyecek farklı teknikler kullanılarak bu kazanımlar elde edilebilir. Endeks okuma süreci için Karınca Koloni algoritması ile geliştirilen iyi tasarlanmış uygulamaların benzer süreçleri olan idarelerde de iyi ve hızlı sonuç vereceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin temini için Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Çolak, S. (2010). Genetik algoritmalar yardımı ile gezgin satıcı probleminin çözümü üzerine bir uygulama. 19(3), 423-438.
- [2] Naralan, A., Kaleli, S. S. & Baygım, M. (2017). Shortest Path Detection Using Clonal Selection Algorithm for Erzurum Metropolitan Municipality. Mugla Journal of

Science and Technology, 3(2), 138--142. doi:10.22531/MUGLAJSCI.357621

- [3] Karagül, K. (2019). Gezgin Satıcı Problemi İçin Yeni Bir Çözüm Yaklaşımı: TPORT. 21(63), 819-832.
- [4] Yapıcıoğlu, H. (2014). Zaman Kısıtları Altında Çok Periyodlu Çoklu Gezgin Satıcı Problemi. Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering, 15(2), 113-124.
- [5] Pulat, M., & Kocakoç, İ. D. (2017). Gezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalarla Çözümünde Başlangıç Popülasyonunun Belirlenmesi, Journal Of Emerging Economies And Policy, 2(1), 1-29.
- [6] Pulat, M., & Kocakoç, İ. D. (2019). Gezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalar Kullanarak Çözümünde Çaprazlama Operatörlerinin Örnek Olaylar Bazlı İncelenmesi. İzmir İktisat Dergisi, 34(2), 225-243.
- [7] Kamilçelebi, S., Ilkin, S., & Şahin, S. (2021). Makine Öğrenmesi Tabanlı Karınca Kolonisi Optimizasyonu Kullanarak Araç Rotalama. Computer Science, (Special), 261-273.
- [8] Şahin, Y. (2019) Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemlerin Gezgin Satıcı Problemi Çözüm Performanslarının Kıyaslanması. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19(4), 911-932.
- [9] Şenaras, A. E. & Şahin, İ. (2017). GSP Çözümü İçin Karınca Kolonisi Optimizasyonu. Sosyal Bilimler Metinleri, 2017(2), 58--67.
- [10] Zhang, Z., Xu, Z., Luan, S., Li, X., & Sun, Y. (2020). Opposition-Based Ant Colony Optimization Algorithm

- for the Traveling Salesman Problem. *Mathematics*, 8(10), 1650.
- [11] Okwu, M. O., & Tartibu, L. K. (2021). Genetic Algorithm. In *Metaheuristic Optimization: Nature-Inspired Algorithms Swarm and Computational Intelligence, Theory and Applications* (pp. 125-132). Cham: Springer International Publishing.
- [12] Rexhepi, A., Dika, A., & Maxhuni, A. (2012). Solving TSP using Genetic Algorithm–Case of Kosova. Paper presented at the WSEAS 6th WSEAS European Computing Conference (ECC'12), Prague, Czech Republic.
- [13] Pulat, M., & Kocakoç, İ. D. (2017). Gezgin Satıcı Probleminin Çözümünde Kullanılan Genetik Algoritmanın Parametrelerinin İncelenmesi, 21-36.
- [14] Osman, P. (2021). Gezgin Satıcı Problemi İçin Ardışık Yerel Arama ile Yeni Bir Hibrit Genetik Algoritma Önerisi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 17(4), 1198-1230.
- [15] Alaykiran, K., & Engin, O. (2005). Karınca Kolonileri Metasezgiseli ve Gezgin Satıcı Problemleri Üzerinde Bir Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(1), 69-76.
- [16] Gao, W. (2020). New ant colony optimization algorithm for the traveling salesman problem. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 13(1), 44-55.
- [17] Ahn, C. W., & Ramakrishna, R. S. (2002). A genetic algorithm for shortest path routing problem and the sizing of populations. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(6), 566-579.
- [18] Gonen, B., & Louis, S. J. (2006). Genetic Algorithm finding the shortest path in Networks. Reno: University of Nevada.
- [19] Di Caprio, D., Ebrahimnejad, A., Alrezaamiri, H., & Santos-Arteaga, F. J. (2022). A novel ant colony algorithm for solving shortest path problems with fuzzy arc weights. *Alexandria Engineering Journal*, 61(5), 3403-3415.
- [20] Yen, C. T., & Cheng, M. F. (2018). A study of fuzzy control with ant colony algorithm used in mobile robot for shortest path planning and obstacle avoidance. *Microsystem Technologies*, 24(1), 125-135.
- [21] Zhang, S., & Zhang, Y. (2018). A hybrid genetic and ant colony algorithm for finding the shortest path in dynamic traffic networks. *Automatic control and computer Sciences*, 52(1), 67-76.
- [22] Dikmen, H., DİKMEN, H., Elbir, A., Ekşi, Z., & Çelik, F. (2014). Gezgin satıcı probleminin karınca kolonisi ve genetik algoritmalarla eniyilemesi ve karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 8-13.
- [23] Serin, S. (2009). Karınca kolonisi yaklaşımıyla karayolu üstyapı rutin bakım çalışmalarının planlanması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [24] Cinsdikici, M. G., & Aydın, D. (2009). Detection of blood vessels in ophthalmoscope images using MF/ant (matched filter/ant colony) algorithm. *Computer methods and programs in biomedicine*, 96(2), 85-95.
- [25] Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80(5), 8091-8126.