# GLOBAL KARINCA KOLONİ ALGORİTMASININ SİMETRİK VE SİMETRİK OLMAYAN GEZGİN SATICI PROBLEMLERİNE UYGULANMASI

Öner ESEN
*İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi,Sayısal Yöntemler ABD, Avcılar-İSTANBUL*
*oesen@istanbul.edu.tr*

Timur KESKİNTÜRK*
*İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sayısal Yöntemler ABD, Avcılar-İSTANBUL*
*tkturk@istanbul.edu.tr*

Hasan SÖYLER
*İnönü Üniversitesi İİBF Ekonometri Bölümü, Yöneylem ABD 34280 –MALATYA*
*hsoyler@inonu.edu.tr*

**ÖZET**

Gezgin satıcı problemi (GSP), özellikle düğüm sayısı arttığında çözümü zorlaşan NP-hard problemlerdendir. Çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş birçok yöntem sözkonusudur. Özellikle son yıllarda GSP ve benzeri problemlerin çözümüne yönelik meta-sezgiseller geliştirilmiştir. Bunlardan biri de karınca koloni optimizasyonmudur (KKO). Birtakım modifikasyonlarla sürekli geliştirilmekte olan teknik GSP ve benzeri problemlere başarıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada Keskintürk ve Söyler (2007) tarafından geliştirilen global karınca koloni optimizasyonu (GKKO) simetrik ve simetrik olmayan GSP problemleri üzerinde denenmiş ve sonuçlar diğer KKO algoritmlarıyla karşılaştırılmıştır.

***Anahtar Sözcükler:*** *Karınca kolonisi optimizasyonu, Global karınca kolonisi optimizasyonu, Gezgin satıcı problemi*

## 1. GİRİŞ

Karınca Kolonisi Optimizasyonu, *NP*- hard optimizasyon problemlerine başarılı bir şekilde uygulanabilen populasyon temelli bir yaklaşımdır (Dorigo ve Gambrella, 1997). Yaklaşımın ilk versiyonu olan Karınca Sistemi (KS) ilk olarak Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem) üzerinde uygulanmıştır. KKO gerçek karınca kolonilerinin davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir. Yöntemin en temel unsurlarından biri haberleşme aracı olarak kullanılan ve problemlerde çözümün kalitesini gösteren feromon kimyasalıdır. Feromon izleri, karıncalar tarafından güncellenmekte ve bir bilgiyi temsil etmektedir. Bir yolda feromon izinin yoğun olması, yolun kalitesini gösterir ve tercih olasılığını arttırır. KKO'da, yapay karıncalar, gerçek mesafeler dikkate alınarak yapılmış olan model üzerinde en kısa yolu araştırmaktadırlar. Yollardaki feromon izleri yine yapay olarak, karıncaların geçiş sıklığıyla orantılı bir şekilde güncellenmektedir.

Global karınca koloni optimizasyonu, Keskintürk ve Söyler (2006) tarafından geliştirilmiş populasyon temelli bir karınca koloni optimizasyon sezgiselidir. Özellikle tüm düğümlere uğrama kısıtı içermeyen problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiştir. İlgili çalışmada da geliştirilen algoritma sipariş büyüklüğü problemlerine (SBP) uygulanmıştır.

Çalışmada, simetrik ve simetrik olmayan gezgin satıcı problem için Global karınca koloni optimizasyonu denenmiş ve sonuçlar diğer karınca koloni algoritması sonuçlarıyla karşılaştırılmış, global karınca koloni optimizasyonunun diğer algoritmalara göre üstün ve zayıf yönleri üzerinde durulmuştur.

* Bu çalışma devam etmekte olan doktora tezinden alınmıştır.

## 2. GEZGİN SATICI PROBLEMİ

Gezgin satıcı problem (GSP), bir satış elemanının ya da bir aracın belli bir noktadan başlayıp, tüm noktalara uğradıktan sonra yine aynı noktaya, toplam mesafeyi en az kılacak şekilde dönmesi problemidir. Düğümler (şehirler) arası mesafeler simetrik ve simetrik olmayan problemlere göre değişmektedir. Simetrik GSP'nde iki düğüm arasındaki mesafe her iki yönde de aynı olmakla beraber simetrik olmayan GSP'de bu mesafeler farklıdır. Simetrik ve simetrik olmayan GSP problemlerine ait matematiksel model aşağıdaki gibidir:

Girdiler:
N = probleme ait düğüm sayısı,
cij = i düğümünden j düğümüne gidiş maliyeti (mesafe vb.)
Karar değişkenleri:

$$xij = \begin{cases} 1, \text{ eğer } i\text{' den } j\text{' ye gidiliyorsa} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases} \quad (1)$$

Minimize:

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

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \qquad \sum_{j=1}^{n} x_j = 1 \quad (3)$$

## 3. KARINCA KOLONİ ALGORİTMALARI

### 3.1. Karınca Sistemi

Karınca sistemi ilk olarak Marco Dorigo tarafından 1992'de yazmış olduğu doktora tezinde ortaya atılmıştır. İlk olarak gezgin satıcı problemine ve karesel atama problemine uygulanmıştır. Temel karakteristiği, her iterasyonda çözümde yer alan her karıncanın feromonunun yenilenmesidir. Feromon $\tau_{ij}$, (*i* ve *j* şehirleri arasındaki feromon miktarı) şu şekilde hesaplanır:

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij} \quad (4)$$

$\rho$, sabit bir değer olup (1- $\rho$) buharlaşma oranıdır.

$\Delta\tau_{ij}^{k}$, (t, t+n) zaman aralığında kenar (i,j) deki k karıncasının geçişinden dolayı arttırılan feromen miktarını temsil etmekte olup aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$\Delta\tau_{ij}^{k}(t+1) = \begin{cases} \dfrac{Q}{L_k} & \text{k karıncası (i, j) yolunu kullanmışsa ((t, t + n zaman aralığında),} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5)$$

Q sabit $L^k$ ise k karıncasının tur uzunluğudur.

### 3.2. Elitist Karınca Sistemi

Elitist karınca sistemi, KS'nin ilk defa geliştirilmiş versiyonudur (Dorigo, 1992). Elitist strateji olarak adlandırılan yöntem, genetik algoritmadaki uygulamalardan esinlenilerek geliştirilmiştir. En iyi tura ait kenarların feromen miktarları, her döngüde KS'de uygulanan standart feromen güncellemesine ilaveten bir feromen artırımına tabi tutulmaktadır.

*e*, elitist karınca sayısı, L*, en iyi tura ait uzunluk olmak üzere en iyi turun üzerindeki kenarlara ait feromen miktarı $e \cdot Q/L^*$ kadar arttırılmaktadır. Buna göre t anında en iyi tura ait feromen miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanacaktır:

$$\tau_{ij}(t) = p \cdot \tau_{ij}(t-1) + \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij}^{k} + e \cdot \Delta\tau_{ij}^{bs}, \tag{6}$$

$$\Delta\tau_{ij}^{bs} = Q/L^* \tag{7}$$

### 3.3. Karınca Koloni Sistemi

Karınca Koloni Sistemi (KKS) tarafından GSP problemlerinin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş bir karınca koloni optimizasyon sezgiselidir.
KKS'de; m adet karınca n adet şehirden birine belli bir başlangıç kuralına göre yerleştirilmektedir. Tüm karıncalar durum geçiş kuralının (state transition rule) da uygulandığı bir süreçte turlarını tamamlamaktadır. Turlar gerçekleştirilirken, karıncaların geçiş yaptığı kenarlarda lokal feromen güncellemesi de yapılır. Turlar tamamlandıktan sonra kenarlara ait feromen miktarları global feromen güncelleme kullanılarak arttırılır (Dorigo ve diğerleri, 2006).
KKS'de durum geçiş kuralı şu şekilde kullanılmaktadır:

$$s = \begin{cases} \arg \max_{u \in J_k(r)} \left\{ \left[\tau(r,u)\right] \cdot \left[\tau(r,u)\right]^{\beta} \right\} & \text{eğer } q \le q_0 \\ S & \text{değilse} \end{cases} \tag{8}$$

*S* gidilecek olan şehrin olasılık dağılımına göre belirlenmesi alternatifini temsil etmektedir.

$$p_k(r,s) = \begin{cases} \dfrac{[\tau(r,s)] \cdot [\tau(r,s)]^{\beta}}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r,u)] \cdot [\tau(r,u)]^{\beta}} & \text{eğer } s \in J_k(r) \text{ ise} \\ 0 & \text{değilse} \end{cases} \tag{9}$$

Global feromon güncellemesi tüm karıncalar turlarını tamamladıktan sonra aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\tau(r,s) \leftarrow (1-\alpha)\cdot\tau(r,s)+\alpha\cdot\Delta\tau(r,s)$$

$$\Delta\tau(r,s)=\begin{cases}\left(L_{gb}\right)^{-1} & \text{eğer } (r,s)\in \text{ global en iyi tur}\\ 0 & \text{değilse}\end{cases} \quad (10)$$

$\alpha$, 0 ile 1 arasında değişen parametredir. Global feromen güncellemesinin amacı daha kısa turların feromen miktarlarını arttırıp cazip hale getirmektir. 0<ρ<1 parametre olup, turlar tamamlandıktan sonra karıncaların geçiş yaptıkları kenarların feromen miktarları aşağıdaki formüle göre arttırılır:

$$\tau(r,s) \leftarrow (1-\rho)\cdot\tau(r,s)+\rho\cdot\Delta\tau(r,s) \quad (11)$$

### 3.4. Max-Min Karınca Sistemi

Max-min karınca sistemini (MMKS) (Stützle,1998) diğer karınca koloni optimizasyon tekniklerinden ayıran iki temel özellik vardır:

- Her iterasyonda sadece bir karıncanın feromen yenilemesine izin verilmektedir. Bu karınca, mevcut iterasyonun en iyi turunu gerçekleştiren karınca (iterasyon en iyisi) olabileceği gibi başlangıçtan bu yana en iyi turu gerçekleştiren karınca da olabilir.
- İkinci özellik ise, aramadaki dalgalanmayı önlemek için, feromon izlerinin sınırlı bir aralıkta olmasıdır. Alt ve üst sınırlar $[\tau_{\min},\tau_{\max}]$ şeklinde ifade edilir. Buna göre feromen miktarları $\tau_{\min}\le\tau\le\tau_{\max}$ aralığında sınırlandırılır.

Feromon izleri üst limitten başlatılır ve bu da başlangıçta yüksek oranda iyileşme sağlar. MMAS'de alt ve üst limitler uygun seçilmediği takdirde tüm karıncalar aynı yoldan gitmekte ve bu da iyi bir çözümün bulunmasını engellemektedir. Alt ve üst sınırlar aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$\tau_{\max}=\frac{1}{\rho}\times\frac{1}{L^{eniyi}},\ \tau_{\min}=\frac{\tau_{\max}}{2n}, \quad (12)$$

$L^{eniyi}$ = bulunan en iyi turun uzunluğu

### 3.5. Rank Temelli Karınca Sistemi

Rank temelli karınca sistemi (RTKS), Bullnheimer ve diğerleri (1999) tarafından geliştirilmiştir. İlk olarak GSP problemlerine uygulanmakla birlikte kuadratik atama, çizelgeleme, araç rotalama ve grafik renklendirme problemlerine de başarıyla uygulanmıştır (Bullnheimer ve diğerleri, 1999).

RTKS, elitist stratejinin genişletilmiş hali olarak düşünebilir. Elitist stratejide sadece en iyi turu gerçekleştiren karıncanın feromen güncellemesine izin verilmektedir. RTKS'de ise belirlenen sayıda en iyi turu gerçekleştiren karıncaların yollarında feromen güncellemesi yapılmaktadır. *m* sayıda karınca turlarını tamamladıktan sonra bu karıncalara ait tur uzunlukları $L_m$ küçükten büyüğe doru sıralanır ($L_1 \le L_2 \le \ldots \le L_m$). Karıncaların yapmış oldukları turun kenarlarına ait feromen güncellemesi rank $\mu$ ağırlığına göre yapılmaktadır.

## 4. GLOBAL KARINCA KOLONİ OPTİMİZASYONU

Global Karınca Koloni Optimizasyonu (GKKO), tüm düğümlere uğrama kısıtını içermeyen problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş olan bir karınca koloni algoritmasıdır (Keskintürk ve Söyler, 2006). Bu çalışmada GKKO'nda bazı modifikasyonlar yapılarak, algoritma GSP'nin çözümüne uygun hale getirilmiştir.

Geçiş kuralı bir fark dışında mevcut karınca koloni algoritmaları ile aynıdır. Bu fark alternatifler arasından seçilenin iki düğüm arasındaki bir yol değil bütün bir tur olmasıdır. Karıncalar tur seçimlerini yine $q_0$ değerine bağlı olarak yapmaktadırlar. $q_0$ olasılıkla global feromon miktarları ve mesafeler dikkate alınarak hesaplanan olasılıklardan maksimum değere sahip olan yol seçilir. 1- $q_0$ olasılıkla ise hesaplanan olasılıkların ağırlıklarıyla orantılı olarak seçilir. $\tau_k$, k karıncasına ait yoldaki feromon miktarı ve $L_k$ k karıncasına ait yolun uzunluğu (uygunluk değeri) olmak üzere geçiş kuralı Denklem (13)'daki gibi gerçekleştirilmektedir:

$$j = \max_{\forall k}\left\{\left[\tau_k\right]^{\alpha}\left[1/L^k\right]^{\beta}\right\} \qquad q \le q_0$$

$$p(k) = \left\{\frac{\left[\tau_k\right]^{\alpha}\left[1/L^k\right]^{\beta}}{\sum_{\forall k}\left[\tau_k\right]^{\alpha}\left[1/L^k\right]^{\beta}}\right\} \qquad q > q_0 \tag{13}$$

$\Delta\tau_k(t+1)$, bir sonraki dönem k karıncasına ait yoldaki feromon miktarındaki değişim olmak üzere feromon güncellemesi (global) her bir karıncaya ait tur için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\tau_k(t+1) = (1-\rho)\,\tau_k(t) + \Delta\tau_k(t+1) \tag{14}$$

Feromon güncellemesi GKKO'da sadece global olarak yapılmaktadır. Ancak bu güncelleme sadece en iyi tura sahip karıncanın yolu için değil tüm karıncaların yolları için yapılmaktadır. Sadece daha iyi uygunluk değeri veren turları seçen karınca sayısı artmaktadır. Çözüm uzayında farklı noktaların araştırılması ve lokal minimuma takılma ihtimalini azaltmak için genetic algoritmadaki mutasyon benzeri bir operatör geliştirilmiştir.

## 4. UYGULAMA

Test problemi olarak, literatürden alınan bir simetrik (bays29) ve bir simetrik olmayan problem (ry48p) kullanılmıştır (TSPLIB, http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/tsp/). Düğüm sayısı sırasıyla 29 ve 48'dir.

Algoritmalara ait kodlar MATLAB programında geliştirilmiştir. Tüm algoritmalar 500 iterasyon için 10 kere çalıştırılmış ve ortalama tur uzunlukları hesaplanarak Tablo 3'te raporlanmıştır. Tüm algoritmalarda karınca sayısı şehir sayısına eşit olarak belirlenmiş, α 1 olarak alınmıştır. β parametresi karınca koloni sisteminde 2, GKKO'nda 7 diğer algoritmalarda 5 olarak belirlenmiştir. Karınca sistemine ait parametreler Dorigo ve diğerlerine ait çalışmadan alınmıştır (1996). Elitist karınca sistemine karınca sistemine ait parametreler aynen kullanılmış, ilave olarak elitist karınca sayısı parametresi (e) 8 olarak belirlenmiştir. Ant-q'ya ait farklı bir takım parametreler söz konusudur. W değeri hariç, Gambardella ve Dorigo'nu 1995 yılına ait çalışmalarındaki parametre değerleri kullanılmıştır. Sadece bays29 problemi için W değeri 10 yerine 100 olarak alınmıştır.

Karınca koloni sistemi, max-min karınca ve rank temelli karınca sistemine ait parametreler Tablo 1'deki gibidir:

**Tablo 1. Karınca koloni sistemlerine ait parametreler**

| | Karınca koloni sistemi | | MMKS | | Rank temelli karınca sistemi | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Parametre | bays29 | Ry48p | bays29 | Ry48p | bays29 | Ry48p |
| Buharlaşma oranı | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 0,9 | 0,5 | 0,5 |
| q0 | 0.9 | 0.9 | - | - | - | - |
| $p_{best}$ | - | - | 0.5 | 0.5 | - | - |
| W | - | - | - | - | 5 | 5 |

GKKO'nun GSP problemine uygulanması sırasında modifikasyonlar yapılmıştır. GKKO'daki yol mutasyonu GSP problemlerine uygun hale getirilmiştir. Turlar mevcut feromon miktarları ve mesafeler dikkate alınarak tamamlandıktan sonra düşük bir mutasyon olasılığı ile tesadüfi olara seçilen bir düğümden bu düğüme mesafe olarak en yakın birkaç düğümden biri yine tesadüfi olarak seçilir. Burada belirlenecek en yakın düğüm sayısı (np) bir parametre olup kullanıcı tarafından belirlenmelidir. Feromon güncellenmesinde iterasyona ait ve global en iyi çözüm üreten karıncaya ait yollar kullanılmıştır. Algoritmaya ait diğer parametreler Tablo 2'de verilmiştir:

**Tablo 2. GKKO'ya ait parametreler**

| Parametre | bays29 | Ry48p |
|---|---|---|
| Buharlaşma oranı | 0,9 | 0,9 |
| Mutasyon olasılığı | 0.1 | 0.05 |
| np | 5 | 3 |
| Wglobal | 100 | 3 |
| Witerasyon | 10 | 0,5 |

Buna göre algoritmalar çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3'te raporlanmıştır.

**Tablo 3. Simetrik ve simetrik olmayan GSP problemlerine ait tur uzunlukları ve çalıştırma süreleri. * Gambardella ve Dorigo'nun çalışmasından alınan değerler (1995).**

| | Ortalama | | En iyi | | Ortalama CPU | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | bays29 | ry48p | bays29 | ry48p | bays29 | ry48p |
| GKKO | 2027.3 | 14911 | 2020 | 14575 | 22.161 | 299.19 |
| Karınca sistemi | 2099.6 | 15463 | 2034 | 15044 | 20.82 | 88.94 |
| elitist karınca sistemi | 2078.8 | 15389.5 | 2035 | 15045 | 21.78 | 90.04 |
| ant-q | 2050.4 | 14690* | 2020 | 14422* | 40.14 | - |
| karınca koloni sistemi | 2032.2 | 15049 | 2020 | 14532 | 62.21 | 192.9 |
| max-min karınca sistemi | 2030.1 | 14994 | 2020 | 14688 | 22.01 | 64.10 |
| rank temelli karınca sistemi | 2049.5 | 15311 | 2022 | 15032 | 33.17 | 117.89 |

Sonuçlar incelendiğinde geliştirilen GKKO algoritmasının simetrik GSP problemleri için iyi bir alternatif olabileceği söylenebilir. Çalıştırmalar sonucunda iki kere optimuma ulaşılmış ve ortalamada da en iyi değer elde edilmiştir. Asimetrik GSP problemlerinde de GKKO'nun ciddi bir alternatif olabileceği görülmektedir. Ant-q hariç diğer tüm KK Algoritmalarından

daha iyi bir ortalamaya ulaşılmıştır. En iyi değer de ise Ant-q ve Karınca Koloni Sistemi daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Algoritma parametreleri ve özellikle mutasyonla ilgili iyileştirmeler yapılarak performans arttırılabilir. Süre açısından bakıldığında Asimetrik GSP problemine özgün olarak geliştirilen mutasyon sebebiyle diğerlerine göre performansının düşük olduğu söylenebilir. Algoritma üzerinde yapılacak performans optimizasyonuyla sürenin azaltılabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

A Library of Sample Instances for the TSP, *http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/tsp/*

Bullnheimer, B., Hartl, R. F., Strauss, C., 1999, A new rank-based version of the Ant System: A computational study, *Central European Journal for Operations Research and Economics*, vol. 7, no. 1, 25–38.

Dorigo, M., 1992. Ottimizzazione, apprendimento automatico, ed algoritmi basati su metafora naturale (Optimization, Learning and Natural Algorithms), *Ph.D.Thesis*, Politecnico di Milano, Italy, in Italian.

Dorigo, M., Gambardella, L.M., Ant Colonies For The Travelling Salesman Problem, *Biosystems*, 43 (2), 73–81, 1997.

Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A., 1996. "Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B*, vol. 26, no. 1, pp. 29–41.

Dorigo, M., Birattari, M., Stutzle, T., 2006. Ant Colony Optimization Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique, *IRIDIA – Technical Report Series*: TR/IRIDIA/023 1

Gambardella L.M, Dorigo M., 1995. Ant-Q: A Reinforcement Learning Approach to the Traveling Salesman Problem, *Twelfth International Conference on Machine Learning*, A. Prieditis and S. Russell (Eds.), Morgan Kaufmann, pp. 252-260.

Keskintürk, T., Söyler, H., 2006. Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*.

Stutzle, T., 1998.Local Search Algorithms for Combinatorial Problems Analysis, Improvements, and New Applications, *PhD Tesis*, Darmstadt University of Technology, Department of Computer Science.