



Makale / Research Paper

Karınca Kolonisi Algoritmasının Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemine Uygulanması

Buğra Davut DAŞKIN^{a*}, Kadir BÜYÜKÖZKAN^{b*}

^aKaradeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon/TÜRKİYE
^{*}bugra.daskin@gmail.com

Received/Geliş: 26.06.2022

Accepted/Kabul: 01.12.2022

Öz: Bu çalışmada Türkiye'nin Kayseri ilinde faaliyet gösteren bir lojistik firmasının gerçek verileri kullanılarak, firmanın karşı karşıya kaldığı homojen kapasiteli çok araçlı araç rotalama problemi ele alınmıştır. Firma Kayseri'de bulunan depodan, 50 farklı konumda bulunan talep noktalarının siparişlerini haftalık periyotlar ile karşılayacak sevkiyat rotasını, elde bulunan araç sayısını aşmadan, minimum maliyet ile elde etmek istemektedir. Problemin çözümü için literatürde yer alan lineer matematiksel model OpenSolver yazılımı ile üzerinde kodlanmıştır. Matematiksel model 10, 15 ve 20 talep noktalı küçük alt problemler için optimum çözüm elde edebilmiştir. 50 talep noktalı gerçek problem için Karınca kolonisi metasezgiseli kodlanmıştır. Metasezgisel modelin kodlanmasında Pycharm paket program ara yüzü üzerinden Python programlama dili kullanılmıştır. Metasezgisel çözümlerinin kalitesi matematiksel çözümler ile ispat edilmiştir. Metasezgisel model ile elde edilen gerçek problem çözümü firmanın mevcut durum değerleri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen çözüm firmanın mevcut politikasına oranla %297,6 daha iyi maliyet, %236,61 daha az mesafe sonucunu sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Karınca kolonisi algoritması, kapasiteli araç rotalama, matematiksel modelleme, yapay zeka uygulamaları, gerçek hayat uygulaması.

Ant Colony Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem: A Real Life Application

Abstract: In this study, using the real data of a logistics company operating in Kayseri, Turkey, the homogeneous capacity multi-vehicle vehicle routing problem faced by the company is discussed. The company wants to obtain the shipment route that will meet the orders of demand points in 50 different locations on a weekly basis from the warehouse in Kayseri, without exceeding the number of vehicles at hand, with minimum cost. For the solution of the problem, the linear mathematical model in the literature was coded with OpenSolver software. The mathematical model was able to obtain the optimum solution for small subproblems with 10, 15 and 20 demand points. Ant colony metaheuristic is coded for the real problem with 50 demand points. In the coding of the metaheuristic model, Python programming language was used over the Pycharm package program interface. The quality of metaheuristic solutions has been proven by mathematical solutions. The real problem solution obtained with the metaheuristic model is compared with the current state values of the company. The solution obtained provided the result of 297.6% better cost and 236.61% less distance compared to the current policy of the company.

Keywords: Ant colony algorithm, capacitated vehicle routing, mathematical modelling, artificial intelligence, real life application .

1. Giriş

Araç rotalama, lojistik filosuna sahip bir sistemde bir veya daha fazla depodan talep noktalarına veya müşterilere belli miktarda araç ile ürünlerin taşınması ve müşteri noktalarından depoya

How to cite this article

Daşkın B.D., Büyüközkan K., "Ant Colony Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem: A Real Life Application", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (4); 1466-1483.

Bu makaleye atıf yapmak için

Daşkın B.D., Büyüközkan K., "Karınca Kolonisi Algoritmasının Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemine Uygulanması", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (4); 1466-1483.

ORCID ID: ^a0000-0001-7887-5542; ^b0000-0001-6321-0302

ürünlerin getirilmesi faaliyetleri olarak tanımlanabilir. Araç rotalama problemlerinin bir türü olan Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (KARP) literatürde aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [1]:

$G(V, A)$ gösterimi gidilecek düğümlerin tamamını içeren bir şebeke ağını ifade etmektedir (V 'ler düğüm, A 'lar yayları göstermektedir.).

KARP probleminde ürünler depoda hazır halde bulunmaktadır. Depo 0 ile gösterilmektedir. Taşımlar ise N ile gösterilen müşterilerin tamamını kapsayacak şekilde yapılmaktadır ($N = \{1, 2, \dots, n\}$). Bu şekilde düşünüldüğünde, V kümesi depoyu ve tüm düğümleri içermektedir. ($\{0\} \cup N$), A yaylar kümesi ise düğümler arasında bulunan ikili yay çiftlerini ifade etmektedir ($\{(i, j): i, j \in V, i \neq j\}$). Bu yaylar üzerinde düğümler arasında hareket etmek için katlanılan maliyet genellikle mesafelere oranlanarak hesaplanmaktadır ve d_{ij} ile gösterilmektedir. Şebeke yapısı simetrik olmadığı durumlarda aynı düğümler arasındaki gidiş ve geliş maliyetleri değişebilmektedir ($d_{ij} \neq d_{ji}$). Problemin yapısında başlangıçta depoda yer alan eşit kapasiteye sahip ($C > 0$) K adet araç bulunduğu varsayılır. Her bir düğüm noktasının talepleri (D_i) depodan bu araçlar ile müşterilere taşınmaktadır.

Araç rotalama problemleri temel olarak araçların toplam dolaşım miktarlarını enazlamayı amaç edinmektedir. Bu amaca ulaşılması için, probleme özgü kısıtları da sağlayan en uygun araç rotası elde edilmeye çalışılır.

Yapılan bu çalışmada, ele alınan KARP firmadan alınan gerçek veriler doğrultusunda, alınan veri dönemi için metasezgisel yöntem ile çözülmeye çalışılmış, Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) Python programlama dili ile kodlanarak çözümler elde edilmiştir. Kodlanan algoritmanın fizibilite analizi, OpenSolver açık kaynak yazılımı ile çözdürülen ve küçük boyutlu olan problemlerde bulunan optimal sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Fizibilite koşullarını sağlamış olan KKA ile gerçek problem çözülmek üzere çalıştırılmış, bulunan çözümlerden en iyi olurlu çözüm ile firmanın dönemsel verileri karşılaştırılarak problemdeki maliyet ve mesafe iyileştirme oranları belirlenmiştir.

2. Literatür

Araç rotalama problemi (ARP) kısıtlamalara ve kabullere göre 5'e ayrılır. Bunlar: Periyodik ARP, çok depolu ARP, zaman pencereli ARP, kapasite kısıtlı ARP, dinamik ARP'dir. Bu tanımlanan problem dallarından spesifikasyonlarına göre değişik türlerde ARP problemleri türetilmiştir.

Bu çalışmada, literatür araştırması yapılırken, araştırılan problemler kullanılan yöntemler ve problem türleri olarak incelenmiştir.

Literatür incelemelerimizin tümü; yıl, yazarlar, çözüm yöntemleri, problem türleri olarak gruplandırılmıştır. Literatür araştırmamızı, 7'si yüksek lisans tezi 25'i makale ve 2'si bildiri olmak üzere toplamda 34 adet resmi bilimsel araştırma belgesi oluşturmaktadır.

Literatür araştırmamızın kapsamı %34'ü ARP, %15'i Araç Atama Problemi, %22'si Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri, %8'i Çok Depolu Araç Rotalama Problemleri, %9'u KARP, %5'i Gezgin Satıcı Problemleri, %6'sı Önce Topla Sonra Dağıt Araç Rotalama Problemleri ve %1'i diğer (Sipariş Büyüklüğü Problemleri) oluşturmaktadır.

Literatür araştırmamızda karşılaştığımız problem türleri ARP ağırlıkta olup, incelemiş olduğumuz ARP çözüm yöntemleri de genel olarak iki aşamalıdır. İlk aşamada araç atama ve yol rotalamaları yapılmıştır. Burada atama problemleri doğrusal programlama, Macar Metodu gibi yöntemler kullanılarak çözülmüştür. Rotalama problemleri ise koordinat merkezindeki hedeflerin öklid mesafeleri hesaplanarak çeşitli sezgisel ve metasezgisel yöntemler yardımı ile çözülmüştür.

İkinci aşamada ise atanan bu değerlerin optimizasyonunu gerçekleştirebilmek için iterasyonlar yapılarak değişik değer kümeleri denenmiştir. Denenen bu değerlerden, uygulanan algoritmaya göre optimum sonuç veren iterasyon nihai sonuç olarak nitelendirilmiştir. İterasyonlar komşu arama gibi yöntemler kullanılarak oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmamızda Karınca Kolonisi Metasezgiseli kullanılarak, her karınca bir araca benzetilerek, bir karıncanın yuvadan çıkıp döndüğü yol bir rota olarak alınmış, KARP prensiplerine metasezgisel yöntem entegre edilerek bir noktaya yalnızca bir karıncanın/aracın girip, noktanın talebini taşıma kapasitesine göre karşılaması ve ardından terk etmesi sağlanmıştır. Bu karıncanın elde ettiği yol bir rotayı vermektedir ve bu yüzden bir karınca aynı zamanda bir çözüm sağlamaktadır. Kolonideki karıncaların tümü denenerek bütün talep noktalarının talebini karşılayacak rotalar bütünü elde edilerek, bütün rotaların toplam mesafesini minimuma indirmek amaçlanarak, böylece firmanın toplam maliyetinin de minimuma indirgeyebileceği öngörülmüştür. Çalışmanın özgünlüğünü, firmadan alınan gerçek veriler ile gerçek hayat probleminin çözümü sağlamaktadır.

3. Önerilen Yöntem

3.1. Matematiksel Model

Aşağıda verilen matematiksel model için gerekli tüm notasyonlar aşağıda sunulmaktadır. [1]

Tablo 1: Matematiksel model ve notasyonlar

Kümeler	$N = \{1, 2, \dots, n\}$	Müşteri kümesi
	$V = \{0\} \cup N$	Düğüm kümesi
	$A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$	Yaylar kümesi
Parametreler	d_{ij}	i ve j arasındaki mesafe
	K	Filoda yer alan araç sayısı
	C	Araç kapasitesi
	D_i	i müşterisinin talebi
Karar Değişkenleri	x_{ij}	Aracın i düğümünden j düğümüne gitmesi durumunda 1 diğer durumlarda ise 0 değerini alan ikili karar değişkeni ($\forall i, j \in V, i \neq j$)
	f_{ij}	i'den j'ye giden aracın giderkenki taşıdığı talep miktarı
Amaç Fonksiyonu	$Z = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}$	(1)
Kısıtlar	$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i = 2, \dots, n$	(2)
	$\sum_{j=1}^n x_{ji} = 1, \forall i = 2, \dots, n$	(3)

$$\sum_{j=1}^n f_{ji} - \sum_{j=1}^n f_{ij} = D_i, \forall i \quad (4)$$

$$= 2, \dots, n$$

$$0 \leq f_{ij} \leq Cx_{ij}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Yukarıdaki modelde, (1) numaralı denklem modelin amaç fonksiyonudur ve gidilecek toplam yolun en küçüklenmesini sağlar. (2) ve (3) nolu denklemler ise bir noktaya yalnızca bir araç girebilmesinin ve çıkabilmesinin kısıtlarıdır. (4) numaralı denklem ise girilen şehirden talebin karşılandıktan sonra çıkılablmesine olanak tanır. (5) numaralı denklem ise araç kapasitesinin aşılmamasının kısıtıdır. (6) numaralı kısıt ise atama işareti kısıtıdır.

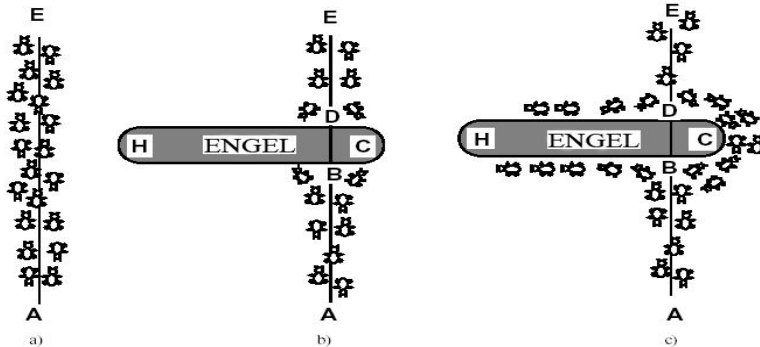
3.2 Metasezgisel Yöntem

Canlıların dünyasında, bireysel yeteneklere sahip bireylerin oluşturduğu pek çok sosyal yaşam unsuru mevcuttur. Bunlara örnek olarak karınca kolonileri verilebilir. Karınca kolonileri metasezgiseli, karıncaların yuvalarından besin aramak için çıktıklarında gözlemlenmesiyle oluşan, bilimsel araştırmalardan elde edilen gerçekler üzerine kurulmuştur. Bu çalışmaları Goss ve arkadaşları 1989 yılında, laboratuvar ortamında yetiştirilmiş karıncalar üzerinde gerçekleştirerek bilim dünyasına sunmuşlardır [2].

Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre; pek çok karınca türünün kör olduğu, karıncaların yuvalarından çıkıp geçtikleri yollara feromon adı verilen kimyasal madde bıraktığı gözlemlenmiştir. Feromon, aynı türün üyeleri arasındaki sosyal ilişkileri düzenleyen kimyasal maddedir. Karınca kolonisi üyeleri bir yol seçeceklerinde o yolda feromon konsantrasyonuna göre yol seçmektedirler ve karıncaların hareketleri merkezi bir kontrol sistemi ile sağlanmamaktadır şeklinde özetlenmiştir.

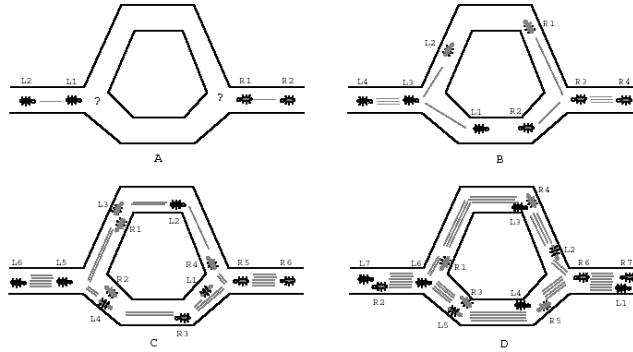
Aşağıdaki, Şekil 1’de; a) Karıncalar A-E arasında hareket ederek yiyecek bulmaya çalışmaktadırlar. b) Aniden yolun herhangi bir noktasına engel konulmuştur, karıncalar bu durumda nereye doğru hareket edeceklerine rassal bir şekilde karar vermektedirler. c) Kısa mesafede bulunan yol üzerinde daha fazla feromon barınır. [3]

Karıncaların yuvaları ile yiyecek kaynağı arasındaki hareketleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2’de sunulduğu gibi, karıncalar yuvalarından çıktıktan sonra etrafındaki alanda yiyecek kaynaklarını rassal bir şekilde ararlar. Herhangi bir koloni üyesi karınca, bir yiyecek bulduğu zaman yiyecek kaynağının durumunu veya miktarını değerlendirerek kaynaktan taşıyabileceği kadar yiyecek alarak yuvasına geri döner.



Şekil 1: Karıncaların en kısa yolu bulması [3]

Bu geri dönüş sırasında, geçtiği yola, bulduğu yiyecek kaynağının durumu veya miktarıyla doğru orantılı olacak feromon maddesi bırakır. Bu sayede diğer karıncalar bulunan yiyecek kaynağı hakkında bilgilendirilir. Yuvaya yakınlığı fazla olan kaynaklara ulaşmak kolay olacağından dolayı bu yollardaki feromon miktarı da fazla olacaktır.

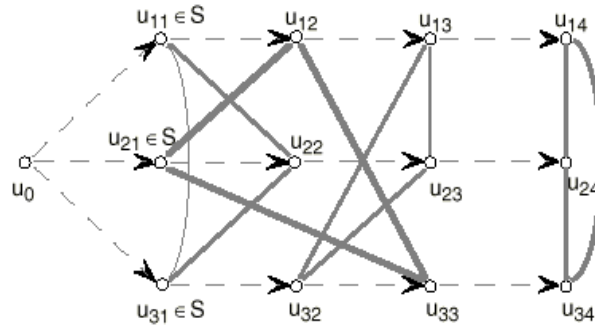


Şekil 2: Karıncaların Yol Tayini [3]

a) Karıncalar tayin edecekleri rotaları için, bir karar aşamasına gelirler. b) Bir grup karınca yukarıdaki yolu bir grup ise aşağıdakini seçer. Yaptıkları seçimler tümüyle rassaldır. c) Karıncalar hemen hemen sabit bir hızda yürüdükleri için aşağıda bulunan kısa olan yolu seçen karıncalar turlarını daha hızlı bitirerek bir sonraki karar aşamalarına daha çabuk ulaşırlar. d) En kısa olan yolda feromon birikmesi daha fazla olacaktır.

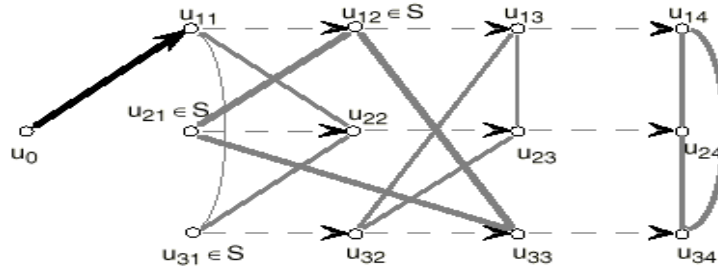
3.2.1 Karınca sisteminin işleyişi

Karıncanın sisteminin işleyişinde, tüm mümkün komşu düğüm noktaları bir grafik üzerinde gösterilecektir. Söz konusu grafikte, $t = 0$ anı karıncalar başlangıç noktasındadırlar. Sistemin başlangıcı Şekil 3'te gösterildiği gibidir. Şekil 3'te gösterilen sistemde, 3 rota ve 4 adet araçtan oluşan bir lojistik sistemi olarak düşünülebilir.



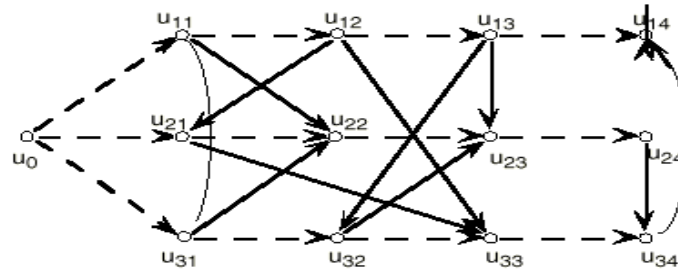
Şekil 3: Ele alınan problemin başlangıç konumu [3]

Şekil 3'te, düğümleri birbirine bağlayan oklar yapılabilecek seçimleri temsil etmektedir. Karıncalar bir sonraki zaman diliminde, gidecekleri düğümü rassal olarak seçerler. Karınca ilk seçimini Şekil 4'te yaparak u_{11} düğümüne gitmeye karar vermiştir.



Şekil 4: Karıncanın seçtiği ilk düğüm noktası [3]

Şekil 4'te karınca aynı düğüm noktasını tekrar seçememe kısıtı ile, tüm düğüm noktalarını seçerek bir turunu tamamlar. Karıncanın seçmiş olduğu tüm noktalar Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Problemin son hali [3]

Söz edilen bir adet koloni üyesi karınca, turunu tamamladıktan sonra, geçtiği düğümlerin arasındaki yola feromon izleri bırakacaktır. Karıncanın sonraki turlarında, geçmişte bıraktığı feromon iz miktarları, karıncanın düğüm seçimlerini etkileyecektir.

3.2.2. Metasezgisel algoritma

Algoritma karıncanın yuvasından (depodan) rassal bir düğüme gitmesi ile başlar. Yuvadandan çıkan karınca sayısının toplam karınca sayısına küçük eşit olması kısıtına kadar, yuvadan çıkan her bir karınca için çözüm üretilir, çözümler içerisinde en iyi olan çözümler işaretlenir. Karşılaştırılan çözümler içerisinde 1000 iterasyona kadar çözüm değerinde bir iyileştirme sağlanamazsa algoritma sonlandırılır, sağlanırsa bulunan iyileştirilmiş karınca yolundaki (çözümdeki) feromon miktarı artırılarak bu yol üzerinden optimal yol aranır. Döngü optimum sonuç bulununcaya kadar devam eder. Metasezgisel algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Karın Kolonisi Algoritmasının parametre değerlerini belirle. (Alfa, beta, sigma, ro, teta, iterasyon sayısı, karınca sayısı)

Adım 2. Tüm karıncalar hedefe ulaşmadığı sürece aşağıdaki adımı tekrarla.

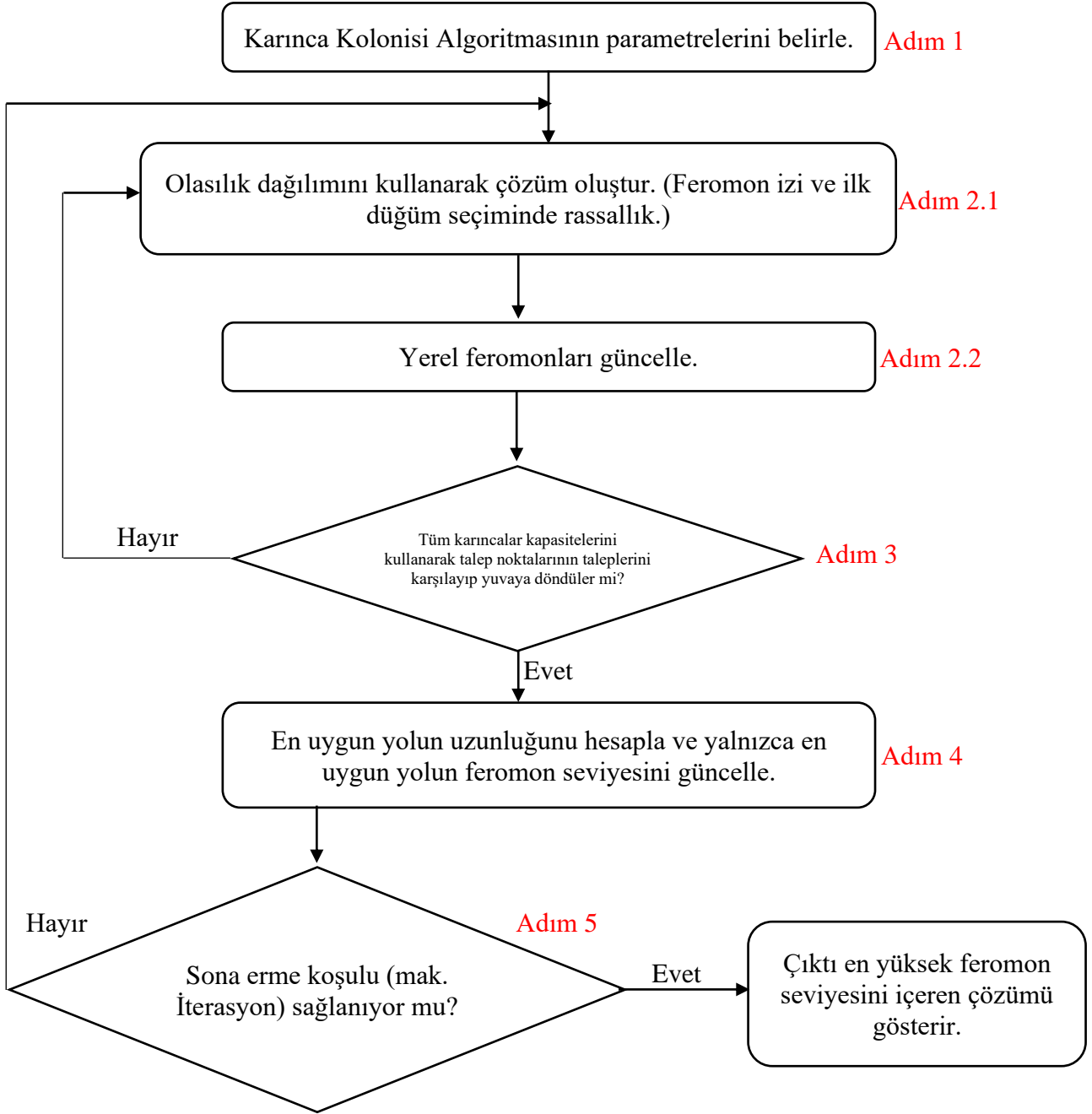
Adım 2.1. Olasılık dağılımını kullanarak çözüm oluştur.

Adım 2.2. Yerel feromonları en kısa yola göre güncelle.

Adım 3. Sona erme koşulları sağlanmıyorsa Adım 2'ye dön.

Adım 4. En uygun yolun uzunluğunu hesapla ve yalnızca en uygun yolun feromon seviyesini güncelle.

Adım 5. En yüksek feromon seviyesini içeren çözümü göster.



Şekil 6: Metasezgisel Algoritma

Karıncı kolonisi algoritması için kullanılan indisler ve denklemler aşağıdaki gibidir [3]:

α : Problemde feromon izine verilen bağıl önemi gösteren bir parametredir.

β : Problemde görünürlük (visibility) değerine verilen önemi gösteren bir parametredir.

ρ : t.döngü sonunda feromonun buharlaşma parametresidir ($0 \leq \rho < 1$).

σ : Seçkin karınca sayısıdır.

m : Toplam karınca sayısıdır.

θ : Sabit bir değerdir.

n_{ij} : $h_{ij} = 1/d_{ij}$ bir sezgisel değerdir.

τ_{ij} : τ_{ij} , i ve j şehirlerini birbirine bağlayan uçtaki feromon konsantrasyonunu belirtirken, $\mu_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$; iki farklı turda ziyaret etmek yerine, iki i ve j şehri bir turda birleştirmenin sağladığı tasarruftur.

N_i : Rotada ziyaret edilecek bir sonraki şehir olarak seçilebilecek mevcut şehir i için sadece en yakın şehirleri içeren aday listesi olarak da adlandırılan N kümesidir.

Δt_{ij} : Karıncanın bir turu boyunca (i,j) köşesini seçmelerinden dolayı bu köşedeki feromon iz miktarını gösterir. Bu miktar, $\Delta t_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta t_{ij}^k$ bağıntısına göre hesaplanır.

$p_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta \cdot [\mu_{ij}]^\gamma}{\sum_{1 \in N_{ki}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta \cdot [\mu_{ij}]^\gamma}$: Karıncalar bu olasılık bağıntısına göre bir sonraki seçimlerini yaparlar.

$\tau_{ij}(\tau + n) = \gamma \cdot \tau_{ij}$: Problemdaki tüm düğüm noktaları gezildikten sonra bir tur veya iterasyon tamamlanmıştır. Bu noktada, buradaki bağıntısına göre feromon iz miktarı güncellenir. [3]

$\tau_{ij} = \left(\rho + \frac{\theta}{L^{ort}}\right) \tau_{ij}, \forall (i,j) \in A$; Burada, $0 \leq \left(\rho + \frac{\theta}{L^{ort}}\right) < 1$ kısıtına uyulması gerekir. Bu kısıt feromon buharlaşma katsayısıdır.

$L^{ort} = \sum_{k=1}^m \frac{L^k}{m}$, bu denklemde L^{ort} ; m tane yapay karınca için her iterasyonda bulunan toplam mesafelerin ortalamasıdır.

L^k : Bir yapay karıncadan elde edilen toplam mesafedir.

$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \sum_{\lambda=1}^{\sigma-1} \Delta \tau_{ij}^\lambda + \Delta \tau_{ij}^*$, Feromon birikimi: Feromon buharlaştırma işleminden sonra, sadece en iyi karıncalar ve seçkin karıncalar, bu denklemi takip ederek gittikleri kenarlara feromon bırakacaktır. Burada;

$$\Delta \tau_{ij}^\lambda = \begin{cases} \frac{(\sigma - \lambda)}{L^\lambda}, & \text{eğer } \lambda \text{ en iyi karınca} \\ (i,j) \text{ yolunu seyahat ediyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$\Delta \tau_{ij}^* = \begin{cases} \frac{\sigma}{L^*}, & (i,j) \text{ yolu en iyi çözümün bir parçası ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Burada, Δt_{ij}^k : k. karıncanın (i,j) köşesine bıraktığı feromon iz miktarıdır.

$\Delta t_{ij}^k = \left\{ \frac{\theta}{L^k} \right\}$: Bu bağıntı ise her bir k karıncasının herhangi bir (i,j) köşesindeki feromon iz miktarına ne kadarlık katkı yapacağını gösterir. [3]

Feromon güncellenmesi sırasında 2 tür feromon izi serilir. Bu işlem yukarıdaki karar denkleminde gösterilmiştir. İlk olarak, karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasının başlangıcından bu yana bulunan şimdiye kadarki en iyi çözüm olan L^* değeri sanki σ tane seçkin karıncaların bu değeri geçmiş olacağı düşünülerek güncellenecektir. İkinci olarak, mevcut iterasyondaki m adet karıncadan yalnızca $\sigma-1$ adet seçkin karıncaların geçtikleri güzergahlara bu seçkin karıncalar tarafından bırakılan feromon miktarları λ oranlarına bağlıdır ve bundan dolayı bu karıncaların çözüm kalitesi L^λ 'dir. Burada λ . en iyi karınca Δt_{ij}^k 'ye eşit miktarda feromon bırakır.

Kısacası, seçkin karınca stratejisinin fikri her iterasyondan sonra şimdiye kadar bulunan en iyi çözüme ait yollara güçlü takviyeler sağlamaktır. Amaç şimdiye kadarki en iyi çözümün bazı yollarının optimal çözümün bir parçası olduğu muhtemel düşünüldüğünden sonraki iterasyonlarda aramaya rehberlik etmektir.

4. Uygulama

4.1 Uygulama Verileri ve Kısıtlar

Her geçen gün büyümeye devam eden Kayseri, Türkiye’de bulunan bir lojistik firması kendi araç filosu ile Kayseri’de bulunan bir şirketin deposundan, gelen müşteri siparişleri doğrultusunda, kurutulmuş et dağıtımını yapmaktadır. Lojistik firmasının ilgili şubesinde 5 frigo tipte aracı ve 5 şoförü bulunmaktadır. Araçların kapasiteleri ve özellikleri özdeştir.

Firmanın sipariş politikaları gereğince herhangi gelen ve teslimata çıkan sipariştan kar elde edememesi söz konusu değildir. Firma her gelen sipariştan kar elde edeceğinden dolayı gelen siparişi hemen teslimata çıkarmakta ve bu yüzden sipariş yoğunluğu yaşadığında dışardan araç kiralamak zorunda kalmaktadır. Bu durum firmanın maliyetini artırdığından dolayı firmanın kar oranı düşmekte, bundan dolayı da firma bu durumu yaşamak istememektedir.

Ele alınan problem, tüm bu nedenlerden ötürü, bir kapasiteli araç rotalama problemi kapsamında ele alınmıştır.

Şubesinde 5 frigo tipte aracı ve 5 şoförü bulunan lojistik firmasının, araçlarının kapasiteleri ve özellikleri özdeştir. 5 adet araç 18 paletlik (plt) yük almakta ve 330 beygir motora sahiptir. Araçların plaka numaraları ve kapasiteleri aşağıdaki gibidir:

35 aag 701 Ford 2533 Model 18 plt (13000 kg)
 35 abe 377 Ford 2533 Model 18 plt (13000 kg)
 35 aky 850 Ford 2533 Model 18 plt (13000 kg)
 35 aky 858 Ford 2533 Model 18plt (13000 kg)
 35 aky 988 ford 2533 Model 18 plt (13000 kg)

Şoförlerin iş yapış şekilleri; şoför, aracı yüklendikten sonra ilk teslimat noktasına gider ve gittiği yerde gittiği müşterinin talebini, yük boşaltarak karşılar. Talep teslimi yapıldıktan sonra sıradaki müşterisine doğru yola devam eder. Her şoförün kendi aracı vardır. Acil bir durum olmadıkça herhangi bir şoför başka araca binemez.

Mevcut varılan dağıtım bayileri aşağıdaki gibidir:

Karadeniz Rotası: 8 bayi, İstanbul Rotası: 9 bayi, Doğu Güzergahı: 13 bayi, Akdeniz-Ege Güzergahı: 19 bayi olmak üzere toplam 49 dağıtım merkezine mal taşımaktadırlar. Maliyet unsurları şöyledir: 4000 TL şoför maaşı ve güncel mazot zamları ile kilometre başına firmanın kendi aracının maliyeti 2,25 TL olmaktadır. Dışardan araç kiralanması durumunda kilometre başına 3,20 TL ekstra ücret ödenmektedir. Firmadan alınan, Aralık ayındaki bir haftalık dağıtım verileri Ek 1’deki tabloda verilmiştir. Bu verilerden hareketle mesafe matrisi oluşturulmuş, yapılan müşteri talep analizleri Ek 2’deki tabloda verilmiştir.

4.2 Uygulama Parametreleri Seçimi

Literatürde yer alan çalışmaların parametre değerleri seçilerek [3,15,24,30,31], geliştirilen algoritmada Tablo 2’de verildiği gibi test edilmiştir. Tablo 2’ye göre farklı problem boyutu ölçeklerinde, aynı iterasyon değerlerinde farklı parametre değerleri denenerek en iyi sonucu verecek olan parametre değeri tespit edilmeye çalışılarak, α : 0.2, β :0.5, σ :3, ρ :0.8, θ :80 ve m :22 adet karınca, parametreleri algoritmada kodlanarak; 3 farklı problem boyutunun ikisinde en iyi sonucu

vermiş, 20 adet düğümden oluşan problemde ikinci en iyi sonucu vererek, firmanın probleminin parametreleri olarak kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 2: Farklı problem boyutu ölçeklerinde denenen parametre değerleri ve elde edilen sonuçlar

Problem Boyutu	Değerler ($\alpha, \beta, \sigma, \rho, \theta, m$)	İterasyon	CPU (Sn)	Amaç Fonksiyonu (Km)
10	0,1-0,2-2-0,3-50-10	200	2,6	4322,927
10	0,2-0,3-3-0,4-55-12	200	2,8	4322,690
10	0,3-0,4-4-0,5-60-15	200	3,4	4322,690
10	0,2-0,4-4-0,7-70-20	200	3,5	4322,690
10	0,2-0,5-3-0,8-80-22	200	3,7	4322,690
15	0,1-0,2-2-0,3-50-10	200	4,4	5748,767
15	0,2-0,3-3-0,4-55-12	200	4,5	5738,669
15	0,3-0,4-4-0,5-60-15	200	4,5	5743,146
15	0,2-0,4-4-0,7-70-20	200	4,6	5730,706
15	0,2-0,5-3-0,8-80-22	200	4,7	5725,621
20	0,1-0,2-2-0,3-50-10	200	5,8	6804,800
20	0,2-0,3-3-0,4-55-12	200	6,1	6653,029
20	0,3-0,4-4-0,5-60-15	200	6,3	6679,448
20	0,2-0,4-4-0,7-70-20	200	6,3	6617,223
20	0,2-0,5-3-0,8-80-22	200	6,4	6619,951

5. Sonuç ve Öneriler

5.1 Algoritma Fizibilite Analizi

İncelenen çözüm yöntemleri içerisinde karınca kolonisi metasezgiselini literatürdeki mevcut matematiksel modele entegre ederek firmanın problemine uygulanmasına karar verilmiştir. Uygulama aşamasında KARP için Python’da karınca kolonisi optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonun fizibilitesini analiz edebilmek için matematiksel model OpenSolver yazılımında çözdürülüp, optimum sonuçlar elde edilerek, karşılaştırmalar Tablo 4’te yapılmıştır.

Tablo 3: Fizibilite Analizi

Deneme	Problem Boyutu	Çözüm Yöntemi	CPU (Sn)	Amaç Fonksiyonu Değeri
1	10	Matematiksel Model	7,470	432,269
2	10	Karınca Kolonisi	7,470	432,269
3	15	Matematiksel Model	1051,670	572,596
4	15	Karınca Kolonisi	1051,670	572,620
5	20	Matematiksel Model	1621,270	661,722
6	20	Karınca Kolonisi	1621,270	661,722

Kodlanan karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasının fizibilite koşullarını sağladığı test edilerek kanıtlanmıştır.

5.2 Uygulama Sonuçları

Karıncı kolonisi algoritması ile çözdürülen gerçek boyutlu firma probleminin farklı zaman aralıklarında çözdürülmesi ile elde edilen sonuçlar Tablo 4'te sıralanmıştır.

Tablo 4: Karıncı Kolonisi Metasezgiseli Çözümleri

Deneme	CPU (sn)	Sonuç (km)	Araç Rotaları	Araç Sayısı
1	100	8906,928	[1,32, 33, 34, 35, 40, 16, 43, 17, 18, 13, 42, 14, 15, 19, 41, 20, 12, 21,1], [1,6, 5, 46, 3, 47], [9, 36, 37, 38, 50, 44, 23, 4,1], [1,2, 48, 22, 49, 8, 45, 39, 7,1], [1,10, 11, 27, 26, 25, 24, 28, 29, 30, 31,1]	5
2	300	8700,618	[1,5, 47, 46, 3], [9, 37, 36, 44, 50, 38, 23, 6, 4,1], [1,31, 30, 29, 28, 39, 45, 7, 24, 26, 25, 27, 11, 10,1], [1,32, 33, 34, 35, 40, 16, 43, 17, 18, 13, 42, 14, 15, 19, 41, 20, 21, 12,1], [1,8, 49, 48, 22, 21,]	5
3	450	8646,760	[1,3, 46, 5, 47, 6,1], [1,12, 21, 10, 11, 27, 26, 25, 24, 45, 39, 7, 28, 29, 30,1], [1,9, 37, 36, 50, 38, 44, 23, 4, 2,1], [1,20, 41, 19, 15, 14, 42, 13, 18, 17, 43, 16, 35, 34, 40, 33, 32, 31,1], [1,22, 48, 49, 8,1]	5
4	900	8753,938	[1,9, 37, 36, 50, 38, 44, 23, 46,1], [1,32, 33, 34, 40, 35, 16, 43, 17, 18, 13, 42, 14, 15, 19, 41, 20, 21, 12,1], [1,6, 47, 5, 3, 4, 2,1], [1,29, 28, 30, 31, 45, 7, 24, 25, 26, 27, 11, 10, 39,1], [1,48, 22, 49, 8,1]	5
5	1800	8606,674	[1,21, 12, 20, 41, 40, 16, 19, 15, 14, 42, 13, 18, 17, 43, 35, 34, 33, 32,1], [1,31, 30, 29, 28, 39, 7, 24, 45, 25, 26, 27, 11, 10,1], [1,5, 3, 46, 47, 6,1], [1,9, 37, 36, 44, 38, 50, 23, 4, 2,1], [1,22, 48, 49, 8,1]	5
6	3600	8554,545	[1,20, 41, 19, 15, 14, 42, 13, 18, 17, 43, 35, 40, 16, 34, 33, 32, 31,1], [1,22, 48, 49, 8, 7, 24, 25], [3, 46, 5, 47, 6,1], [1,9, 37, 36, 50, 38, 44, 23, 4, 2,1], [1,45, 39, 28, 29, 30, 21, 12, 10, 11, 27, 26,1]	5
7	21600	8420,904	[1,31, 30, 29, 28, 45, 39, 7, 24, 25, 26, 27, 11, 10,1], [1,32, 33, 34, 40, 35, 43, 16, 17, 18, 13, 42, 14, 15, 19, 41, 20, 21, 12,1], [1,5, 46, 3, 47, 6,1], [1,2, 4, 23, 44, 50, 38, 36, 37, 9,1], [1,22, 48, 49, 8,1]	5

Tablo 5: OpenSolver ile matematiksel modelin çözümü

CPU (sn)	Sonuç (Km)	Araç Rotaları	Araç Sayısı
58556	8617,750	[1,2,4,5,3,48,22,1],[1,12,21,20,41,19,15,14,4,2,13,18,17,43,16,40,35,34,33,32,1],[1,24,8,3,7,50,38,44,36,9,7,1],[1,10,11,27,16,15,45,28,19,31,30,1],[1,46,47,6,23,49,39,1]	5

Tablolar incelenecek olursa 16 saat 30 dakikaya yakın çözdürülen matematiksel modelin verdiği değer, karınca kolonisi meta sezgiselinin daha az zamanda, matematiksel modelden daha iyi çözüme ulaştığını ve kısa zamanda karınca kolonisi meta sezgiselinin kullanımının daha iyi sonuçlar verdiğine ulaşılmış, bu alanda üstünlüğü kanıtlanmıştır.

Burada bulunan değerler iki boyutlu koordinat sistemi esas alınarak yapılmıştır. Gidilen şehirlerin arasındaki mesafeler Öklid vektörlerinin uzunlukları toplamına eşittir. Bu yüzden önerilen çözümün değeri, rotasına bağlı kalarak navigasyon üzerinde hesaplanacaktır. Bu değer bulunan en iyi sonuç olan 7 numaralı denemenin rotasına ([1,31, 30, 29, 28, 45, 39, 7, 24, 25, 26, 27, 11, 10,1], [1,32, 33, 34, 40, 35, 43, 16, 17, 18, 13, 42, 14, 15, 19, 41, 20, 21, 12,1], [1,5, 46, 3, 47, 6,1], [1,2, 4, 23, 44, 50, 38, 36, 37, 9,1], [1,22, 48, 49, 8,1]) göre hesaplanan değeri 10829 Km'dir.

7 numaralı denemede en iyi çözüm sonucuna ulaşılmış ve bu sonuca göre firma eğer Aralık ayında belirtilen tarihler içerisinde, verilen taleplere göre, karınca kolonisi metasezgiselini kullansaydı toplam maliyetinin ₺24.365,25 olacağı hesaplanmıştır. Bulunan en iyi çözümün değerleri Tablo 6'da verildiği gibidir.

Tablo 6: Bulunan en iyi çözümün atanan değerleri

Rotalamalar	Toplam Yol (Km)	Yükleme Miktarı (Kg)
Rota-1	2277	12620
Rota-2	3465	12693
Rota-3	1798	12353
Rota-4	2332	12885
Rota-5	957	9870
Toplam	10829	60421
Toplam Maliyet	₺24.365,25	

Firmanın belirtilen tarihlerinde politikalarında istenilen değişime gitmesi halinde, bulunan en iyi çözüme göre; mevcut duruma kıyasla lojistik firması kendi araçları haricinde araç kullanmayarak 14794 Km daha az mesafe kat edecek, ₺48.149,25 daha az maliyetle Aralık ayındaki bir haftalık siparişlerini tamamlayacak ve yapılan iyileştirme oranı maliyete göre %297,61, kat edilen mesafeye göre %236,61 olacak, araç rotalandırmaları Şekil 7'deki gibi olacaktır.



Şekil 7: Bulunan en iyi çözümün araç rotalandırması

Yakın gelecekte lojistik araç filolarının tamamını, bir merkezden yapay zeka ile yönetebileceğini öngörerek bu çalışmanın, yönetici yapay zekada kullanılacak bir meta sezgisel yöntemi kullandığından dolayı geleceğin lojistik yönetimine katkıda bulunması ümit edilmiştir.

Yazar(lar)ın Katkıları

Yazarlar çalışmanın tüm bölümlerinde birlikte yer almışlardır. Tüm yazarlar makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Irnich S., Toth P., and Vigo D., “Vehicle routing, chapter 1: the family of vehicle routing problems, MOS-SIAM series on optimization”, Philadelphia, 2014.
- [2]. Dursun P., “Zaman pencereci araç rotalama probleminin genetik algoritma ile modellenmesi”, İTÜ -Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2009).
- [3]. Alaykırın K., Engin O., “Karıncı kolonileri metasezgiseli ve gezgin satıcı problemleri üzerinde bir uygulaması”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 2005, 20 (1): 69-76.
- [4]. Bashiri M., Rasoulinejad Z. & Fallahzade E. “A new approach on auxiliary vehicle assignment in capacitated location routing problem”, International Journal of Systems Science, 2016, 47 (4).
- [5]. Liong C-Y., Omar K., “Vehicle routing problem: Models and solutions”, JQMA, 2008, 4 (1): 205-218.
- [6]. Cordeau J-F., Laporte G. & Mercier A, “A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows”, Journal of the Operational Research Society, 2001, 52 (8): 928-936.
- [7]. Keskinürk T., Topuk ve Özyeşil O., “Araç rotalama problemleri ile çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması ve bir uygulama”, İşletme Bilimi Dergisi, 2015, 3 (2):77-107.
- [8]. Chang M-S. “A vehicle routing problem with time windows and stochastic demands”, Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2005, 28 (5): 783-794.

- [9]. Khodabandeh E., Bai L., Heragu S-S., Evans G-W., Elrod T. and Shirkness M. “Modelling and solution of a large-scale vehicle routing problem at GE appliances & lighting”, *International Journal of Production Research*, 2017, 55 (4): 1100-1116.
- [10]. Cantu-Funes R., Salazar-Aguilar M-A. & Boyer V. “Multi-depot periodic vehicle routing problem with due dates and time windows”, *Journal of the Operational Research Society*, 2018, 69 (2): 296-306.
- [11]. Crainic T-G., Gajpal Y.& Gendreau M., “Multi-zone multi-trip vehicle routing problem with time windows”, *Information Systems and Operational Research (INFOR)*, 2015, 53 (2): 49-67.
- [12]. Giosa I-D., Tansini I-L. & Viera I-O., “New assignment algorithms for the multi-depot vehicle routing problem”, *Journal of the Operational Research Society*, 2002, 53 (9): 977-984.
- [13]. Ng W-L., Leung S-C-H., Lam J-K-P. & Pan S-W., “Petrol delivery tanker assignment and routing: a case study in Hong Kong”, *Journal of the Operational Research Society*, 2008, 59 (9): 1191-1200.
- [14]. Liu F-H. & Shen S-Y., “The fleet size and mix vehicle routing problem with time windows”, *Journal of the Operational Research Society*, 1999, 50 (7): 721-732.
- [15]. Keskintürk T., Söyler H., “Global karınca kolonisi optimizasyonu”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2006, 21 (4): 689-698.
- [16]. Atan M., Şimşek P., “Doğrusal programlama ile araç atama probleminin çözülmesi”, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2017, 4 (11): 339-358.
- [17]. Güzel D., Erdal H. & Acar E. “Kolluk kuvvetlerinin hizmet üretim etkinliğinin artırılmasına yönelik bir model önerisi: Bütünleşik araç atama modeli”, *International Journal of Social Science*, 2015, 40:463-483.
- [18]. Kiremitçi B., Kiremitçi S. ve Keskintürk T., “Zaman pencereli çok araçlı dağıtım toplamalı rotalama problemi için gerçek değerli genetik algoritma yaklaşımı”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 2014, 43 (2): 391-403.
- [19]. Göçken T., Yaktubay M. ve Kılıç F., “Zaman pencereli araç rotalama problemi çözümü için çok amaçlı genetik algoritma yaklaşımı”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2018, Part C, 6(4): 774-786.
- [20]. Koç Ç. ve Karaoğlan İ., “Çok kullanımlı ve zaman pencereli araç rotalama problemi için bir matematiksel model”, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2012, 27 (3): 569-576.
- [21]. Çevre U., “Çoklu gezgin satıcı probleminin çözümü için bir eniyileme kütüphanesinin tasarımı ve görsel yazılımı geliştirme ortamı ile birlikte gerçekleştirimi”, *Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir*, (2008).
- [22]. Ulutaş A., Bayrakçıl A-O. ve Kutlu M-B., “Araç rotalama probleminin tasarruf algoritması ile çözümü”, *İdari Bilimler Dergisi*, 2017, 18 (1).
- [23]. Önder E., “İstanbul halk ekmek A.Ş. (İHE)'ye ait çok depolu araç rotalama probleminin meta-sezgisel yöntemi ile optimizasyonu”, 2011, 22 (70).
- [24]. Söyler H. ve Keskintürk T., “Karınca kolonisi algoritması ile gezgin satıcı probleminin çözümü”, 8. Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi, İnönü Üniversitesi Malatya, (2007).
- [25]. Yardımcı İ., Vayvay Ö. ve Tanyaş M., “Kentsel lojistikte araç rotalama”, V. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, Toros Üniversitesi / Mersin, (2016).
- [26]. Boer J-W. “Approximate models and solution approaches for the vehicle routing problem with multiple use of vehicles and time windows”, *Master Thesis, School Of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technical University*, (2008).
- [27]. Sözen S., “Bir kamu kurumunda görev yapan denetim görevlileri için görev atama problemi ve çözümü”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2016).
- [28]. Küçük M. Ve Topaloğlu Yıldız Ş., “Zaman pencereli toplama ve dağıtım problemi için kısıt programlama yaklaşımı”, *Pamukkale Üni. Müh. Bilim Derg.*, 2019, 25(9): 1041-1049.
- [29]. Dethloff J., “Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up”, *OR Spektrum*, 2001, 23: 79-96.

- [30]. Ekizler H., “Araç rotalama probleminin çözümünde karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasının kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
- [31]. Kaya C., “Eş zamanlı topla-dağıt rotalama problemi için karınca koloni sistemi ile güçlendirilmiş değişken komşuluk arama algoritması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2017).
- [32]. Gülsoy N., “Av arama algoritması ile sıkı zaman pencereli araç rotalama problemlerinin çözümü”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2013).
- [33]. Ioannou G & Kritikos M-N., “A synthesis of assignment and heuristic solutions for vehicle routing with time windows”, Journal of the Operational Research Society, 2004, 55 (1):2-11.

Ekler**Tablo 7:** Firmadan alınan veri seti

SIRA NO	TARİH	ARAÇ PLAKA	ÇIKIŞ	ROTA	VARIŞ	Km
1	1.12.2020	35 abe 377	Kayseri	Aksaray Konya(Selçuklu) Antalya	Antalya	1252
2	1.12.2020	41 tv 351	Kayseri	Bolu Sakarya Gebze İstanbul(Pendik) Çorlu	Çorlu	1751
3	1.12.2020	35 he 2555	Kayseri	Maraş Antep Adıyaman Cizre Batman Diyarbakır Siirt	Diyarbakır	2026
4	1.12.2020	35 aky 988	Kayseri	Erzurum Ağrı Van Bingöl Elazığ Malatya	Malatya	1950
5	2.12.2020	35 he 1971	Kayseri	Tunceli Bayburt	Bayburt	1375
6	2.12.2020	38 aky 858	Kayseri	Ankara (Etimesgut) Bursa İstanbul(Tuzla)	İstanbul	1658
7	3.12.2020	35 he 5121	Kayseri	Niğde Mersin Adana Hatay	Hatay	1036
8	3.12.2020	46 bs 159	Kayseri	Ankara(Sincan)	Ankara	702
9	3.12.2020	35 he 1971	Kayseri	Gebze İstanbul(Beylikdüzü)	İstanbul	1591
10	3.12.2020	35 aag 701	Kayseri	Mersin	Mersin	652
11	4.12.2020	38 tn 449	Kayseri	Ankara (Polatlı) İstanbul(Tuzla)	İstanbul	1537
12	4.12.2020	41 tv 351	Kayseri	İstanbul(Beylikdüzü)	İstanbul	1590
13	5.12.2020	35 abe 377	Kayseri	Manisa İzmir(Menderes)	İzmir	1788
14	7.12.2020	35 he 2555	Kayseri	Yozgat Çorum Amasya Samsun Ordu Giresun Trabzon Rize Artvin	Artvin	1879
15	7.12.2020	35 apr 354	Kayseri	Mersin Adana	Adana	701
16	7.12.2020	35 aky 850	Kayseri	Aydın Muğla İzmir(Bornova)	İzmir	1980
17	7.12.2020	35 abe 377	Kayseri	Kırşehir Ankara(Etimesgut)	Ankara	698
18	7.12.2020	33 k 0515	Kayseri	Sakarya Gebze İstanbul(Pendik)	İstanbul	1457
					Toplam Yol (Km):	25623
					Toplam Maliyet	₺72.514,50

Tablo 8: Talep noktalarının numaralandırılması ve talep miktarları

No	Ele Alınan Şehirler	Talep Miktarları
1	Melikgazi	depo
2	Bolu	654
3	Gebze	1525
4	Sakarya	2298
5	İstanbul/Tuzla	3054
6	Çorlu	490
7	Aksaray	790
8	Konya/Selçuklu	1628
9	Antalya	2309
10	Maraş	758
11	Antep	1104
12	Adıyaman	843
13	Cizre	554
14	Batman	380
15	Diyarbakır	1395
16	Erzurum	956
17	Ağrı	428
18	Van	625
19	Bingöl	645
20	Elazığ	816
21	Malatya	903
22	Ankara/Etimesgut	3662
23	Bursa	1777
24	Niğde	687
25	Mersin	1150
26	Adana	1145
27	Hatay	1772
28	Yozgat	870
29	Çorum	740
30	Amasya	845
31	Samsun	1388
32	Ordu	671
33	Giresun	540
34	Trabzon	746
35	Rize	658
36	Aydın	1722
37	Muğla	670
38	İzmir/ Bornova	1470
39	Kırşehir	597
40	Bayburt	486
41	Tunceli	559

42	Siirt	795
43	Artvin	693
44	Manisa	922
45	Avanos	774
46	İstanbul/Pendik	2548
47	İstanbul/Beylikdüzü	4736
48	Ankara/Sincan	1803
49	Ankara/Polatlı	2777
50	İzmir/ Menderes	1063