



# Journal of Turkish Operations Management

## Araç rotalama probleminin sezgisel algoritmalar ile çözülmesi: Bir boya fabrikasında uygulama

Harun Reşit YAZGAN<sup>1</sup>, Serap ERCAN CÖMERT<sup>2\*</sup>, Ecem Nükte KILIÇ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye  
e-mail: yazgan@sakarya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8791-0458>

<sup>2\*</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye  
e-mail: serape@sakarya.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0274-0806>

<sup>3</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye  
e-mail: nukte.kiyak@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0524-515X>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 31.07.2020  
Revize: 22.10.2020  
Kabul: 24.10.2020

#### Anahtar Kelimeler:

Kapasiteli araç rotalama problemi,  
Clarke-Wright tasarruf algoritması,  
Yerel aramalı sezgisel algoritma

### Özet

Kapasiteli araç rotalama problemi (KARP), talepleri belirli olan müşterilere, depolardaki ürünlerin, belirli bir kapasiteye sahip araçlarla en kısa mesafeyi izleyerek hizmet vermeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmada bir boya fabrikasının, Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en az maliyetli araç rotalarının belirlendiği Kapasiteli Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Ele alınan rotalama problemi Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma ile çözülmüş en az maliyetli rotalar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar fabrikanın gerçek verileri ile FRIEDMAN testi yardımıyla karşılaştırılmış ve yerel aramalı sezgisel algoritmanın diğerlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

## Solution of the vehicle routing problem with heuristic algorithms: an application in a paint factory

### Article Info

#### Article History:

Received: 31.07.2020  
Revised: 22.10.2020  
Accepted: 24.10.2020

#### Keywords:

Capacitated vehicle routing problem,  
Clarke-Wright savings algorithm,  
Local search heuristic algorithm

### Abstract

The capacitated vehicle routing problem (CVRP) aims a distribution of the products to customers with specific demands in the warehouses by following the shortest route with standard capacity vehicles.

In this study, objective of the capacitated routing problem was to minimize travelling cost route while meeting the demand of customer at a paint factory in Turkey was discussed. The routing problem was solved by both the Clarke-Wright Savings Algorithm and a new Local Search Heuristic Algorithm. Two algorithms' results and the company's real results were compared with the FRIEDMAN test and the results illustrated that the local search heuristic algorithm provided the better results than the others.

## 1. Giriş

Yeni dünya düzenindeki pazar koşulları şirketleri daha rekabetçi haline getirmiştir. Karar vericiler karşılaştıkları problemlere daha hızlı ve yaratıcı çözümler üretirken aynı zamanda bu çözümlerin sürdürülebilir olmasını sağlamalıdır. Bu sebeple oluşturulmuş olan çözümlerin performans göstergeleri klasik hedeflerden daha ziyade sürdürülebilir olmayı sağlayan hedefleri yerine getirecek yaratıcı fikirleri içermelidir. Bu durum içerisinde müşteri beklentilerini karşılayabilmek adına, Tedarik Zinciri halkalarından olan Lojistik bölümünün, en etkin şekilde yönetilmesi beklenmektedir.

Lojistik; bir ürünü tedarikçilerinden müşterilere ulaştırabilmek için gerekli olan tüm faaliyetlerdir. Bu faaliyetler tedarik zinciri olarak adlandırılan bir akış içinde gerçekleştirilir. Lojistik maliyetlerinin en aza indirilmesinde araçların rotalanması çok önemlidir. Araç rotalama problemi (ARP), bir işletmenin konumları belli olan “n” adet müşterisine bir veya birden fazla depodan hizmet verebilmek için araçların en iyi rotalarının belirlenmesi problemidir. Lojistik sisteminde yer alan kısıtlara göre birçok ARP çeşidi bulunmaktadır. Bu kısıtların en önemlileri araç kapasitesi, aracın bir defada yol alabileceği maksimum mesafe ve süre kısıtıdır. Bu çalışmada kapasiteli araç rotalama problemi ele alınmıştır.

Kapasiteli araç rotalama problemi (KARP), talepleri belirli olan müşterilere, depolardaki ürünlerin, belirli bir kapasiteye sahip araçlarla en kısa güzergâhı izleyerek dağıtım yapmaktadır. Literatürde araç rotalama probleminin çözümü için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler kesin, klasik sezgisel ve metasezgisel olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Araç rotalama problemi NP-zor problem sınıfından olduğu için çok değişkenli problemlerde çözüme kesin yöntemlerle ulaşmak oldukça zor ve hatta bazen imkânsız olmaktadır. Problemin kısıtları arttıkça problem daha da karmaşık hale gelmekte ve optimum sonuca ulaşmak daha da zorlaşmaktadır. Bu nedenle problemin boyutu büyüdükçe kısa sürede iyi kalitede sonuçlar üreten klasik sezgiseller ve çözüm uzayındaki olurlu bölgelerde derin araştırmalar yapabilmeyen metasezgiseller tercih edilmektedir (Düzakın ve Demircioğlu, 2009).

Bu çalışmada Gebze’de faaliyet gösteren bir boya fabrikasının Trabzon ve Afyonkarahisar’da bulunan iki ana deposundan Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en uygun araç rotalarını belirlendiği problem ele alınmıştır. Ele alınan problem sezgisel yöntemlerden Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar firma verileri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın birinci, giriş bölümünde, konu hakkında genel bir bilgi verilmiş; ikinci bölümünde, literatür taraması yapılmış ve üçüncü bölümde ise KARP detaylı bir şekilde incelenmiştir. Dördüncü bölümde, problemin çözümünde kullandığımız sezgisel yöntemler açıklanmış ve beşinci bölümde ise ele alınan araç rotalama problemi Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma ile çözülmüş, sonuçları da Friedman testi yardımıyla karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

## 2. Literatür Araştırması

Araç rotalama problemi (ARP) ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından incelendiği ve çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtımını problemini ele aldıkları görülmektedir. Ele aldıkları problemde kendi deposundan hareket eden ve yine depoya dönen, müşterilerin ihtiyaçlarını belirlenen kısıtlar altında karşılayan ve taşıma maliyetlerinin veya kat edilen yolun her bir araç için en aza indirildiği rotalar kümesi belirlenmiştir.

Bu çalışmada KARP ele alınmıştır. Ele alınan probleme Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma ile çözüm aranmıştır. KARP ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Osman (1993) tabu arama algoritması ve tavlama benzetimini kullanarak hibrit bir algoritma geliştirmiş ve KARP’ye çözüm aramıştır. Taillard (1993) KARP’yi çözmek için paralel tabu arama algoritmasını kullanmış ve Osman’ın sonuçlarından daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Rochat ve Taillard (1995) yerel arama yöntemini kullanarak birçok KARP seti için en iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Barbarosoglu ve Ozgur (1999) tabu arama algoritmasını kullanarak KARP’ye çözüm aramışlar ve elde ettikleri sonuçların Osman (1993)’ün sonuçlarından daha iyi olduğunu iddia etmişlerdir. Bullnheimer, Hartl ve Strauss (1999) karınca sistemi algoritmasını geliştirerek KARP’lerin en iyi çözümlerine yakın çözümlere daha kısa sürelerde ulaşmışlardır. Baker ve Ayechev (2003) KARP’nin çözümü için genetik algoritmayı hibritleştirmişler ve sonuçları genetik algoritmanın sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar hibrit genetik algoritmanın genetik algoritmaya göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Prins (2004) KARP’lerinin çözümü için genetik algoritma temelli bir rota ayırma algoritması geliştirmiştir. Reimann, Doerner ve Hartl (2004) paralel karınca sistemlerini kullanarak büyük boyutlu KARP’ler için etkili çözümler bulmuşlardır. Ho ve Gendreau (2006) tabu arama algoritmasını hibritleştirerek KARP’ye çözüm aramışlardır. Elde edilen sonuçlar hibrit tabu arama algoritmasının tabu arama algoritmasına

göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Wang ve Lu (2009) hibrit genetik algoritma geliştirerek KARP için çözüm aramışlardır. Ai ve Kachitvichyanukul (2009) küçük ve büyük boyutlu KARP'leri çözmek için parçacık sürü algoritmasını kullanmışlar ve bazı çözümler için optimale ulaşmışlardır. Lin, Lee, Ying ve Lee (2009) Tabu arama algoritması ve tavlama benzetimini kullanarak hibrit algoritma geliştirerek küçük boyuttaki problem setleri için bilinen en iyi değerlere ulaşmışlardır. Chen, Huang ve Dong (2010) KARP'yi çözmek için en yakın komşu sezgiselini kullanmışlar ve problem setleri için bilinen en iyi değerlere ulaşmışlardır. Çiçekdeğ (2011) gerçek hayattaki bir KARP'yi çözmek için genetik algoritmayı kullanmıştır. Szeto, Wu ve Ho (2011) küçük ve büyük boyutlu KARP'ler için yapay arı kolonisi algoritmasını kullanmışlar ve küçük boyuttaki problemlerde büyük boyuttaki problemlere göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Kao, Chen ve Huang (2012) KARP'yi çözmek için parçacık sürü algoritmasını ve karınca kolonisi algoritmasını kullanarak hibrit algoritma geliştirmişler ve küçük boyuttaki problemlerin bazıları için optimum sonuçlara ulaştıklarını belirtmişlerdir. Pichpibul ve Kawtummachai (2013) uyarlanmış armoni arama algoritması ile küçük boyuttaki KARP'ler için optimum değerlere ulaşmışlardır. Pichpibul ve Kawtummachai (2013) uyarlanmış armoni arama algoritması ile küçük boyuttaki KARP'ler için optimum değerlere ulaşmışlardır. Stanojević, Stanojević ve Vujošević (2013) geliştirdikleri tasarruf algoritmasının bir versiyonu ile KARP'lerin bazıları için optimum sonuçlarına ulaştıklarını belirtmişlerdir. Abdulmajeed ve Ayob (2014) KARP'leri çözmek için havai fişek algoritmasını kullanmışlar ve küçük boyuttaki problemlerin bazıları için bilinen en iyi değerlere ulaşmışlardır. Yazgan, Ercan ve Arslan (2014) KARP için Clarke-Wright tasarruf algoritması ile en kısa yol yöntemini esas alan yeni bir melez algoritma geliştirmişlerdir. Şen, Yazgan ve Ercan (2015) kümeleme ve genetik algoritma destekli yeni bir algoritma geliştirerek gerçek hayattaki KARP'ler için çözüm aramışlardır. Akpınar (2016) karınca kolonisi algoritması ve en yakın komşu sezgiselini kullanarak küçük boyuttaki KARP'ler için çözüm aramış ve etkili sonuçlar elde etmişlerdir. Uyumaz (2017) KARP'nin çözümü için paralel genetik algoritma kullanmış ve optimal sonuçlara kısa sürede ulaşmıştır.

### 3. Kapasiteli Araç Rotalama Problemi

KARP, bir veya daha fazla depo bulunan bir işletmede, yükleme kapasiteleri kısıtlı araçların talepleri belli olan müşterilere servis yapmak için izlemesi gereken rotaların belirlenmesi problemidir (Ai ve Kachitvichyanukul, 2009). Klasik ARP ile bir tutulmasının yanında tek farkı rota üzerindeki müşterilerin tüm taleplerinin toplamı araç kapasitesinden fazla olamamasıdır. ARP ailesinin en iyi bilinen ve üzerinde en çok çalışılan üyesidir.

KARP'nin farklı çeşitleri bulunmaktadır. Örneğin bazı problemlerde her aracın bir sabit çalıştırma maliyeti bulunup bu değer amaç fonksiyonuna eklenmektedir. Bu durumda sabit maliyet unsurundan dolayı amaç fonksiyonunda kullanılan araç sayısı en az yapılmaya çalışılmakta ve çözümde sonuç olarak bazı araçların rotalaması yapılmamaktadır. Başka bir KARP çeşidi ise problemde farklı kapasiteleri olan araçlar kullanılarak dağıtımın söz konusu olmasıdır (Erol, 2006). KARP'nin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

Parametreler:

Q= araç kapasitesi,

N= müşteri veya durak sayısı,

$q_i = i$  ( $i > 0$ ) müşterisinin talep miktarı,

$d_{ij} = i$  müşterisi ile  $j$  müşterisi arasındaki uzaklık,

Değişkenler:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer araç } i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine gidiyorsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$i \neq j, \quad i, j \in \{0, \dots, \dots, N\} \text{ ve } 0 \text{ ana depo}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En az } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, i \neq j}^N d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1, i \neq j}^N x_{ij} = 1, \quad \forall j, \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N x_{ij} = 1, \quad \forall i, \quad i \in \{1, \dots, N\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0, i \neq j}^N x_{ij} + x_{ji} \leq 1, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, i \neq j}^N x_{ij} \leq Q, \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu (1) toplam kat edilen mesafenin en az yapılması gerektiğini ifade etmektedir. (2) ve (3) nolu kısıt, bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi gerektiği ve bir müşteriye ziyaret eden aracın aynı zamanda o müşteriden hareket etmek zorunda olduğunu belirtmektedir. (4) nolu kısıt, depoda başlamayan ve depoda bitmeyen turları elemekte kullanılmaktadır. (5) nolu kısıt ise araçlara yapılan yüklemelerin araç kapasite değeri  $Q$ 'yu geçmemesi gerektiğini belirtmektedir (Ruiz, 2004).

## 4. Metot

Bu çalışmada ele alınan araç rotalama problemini çözmek için Clarke-Wright Tasarruf Algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmaların detayları aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada Araştırma ve Yayın Etiğine uyulmuştur.

### 4.1. Clarke-Wright Tasarruf Algoritması

Clarke-Wright tasarruf algoritması 1964 yılında Clarke ve Wright tarafından ARP'yi çözmek için geliştirilmiştir. Clarke-Wright tasarruf algoritmasında bir adet ana depo ve birden fazla dağıtım noktası vardır (Toth ve Vigo, 2002). Tasarruf algoritmasının adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Her müşteri çifti için tasarruflar  $s_{ij} = d_{io} + d_{oj} - d_{ij}$  formülüne göre hesaplanmaktadır.  $d_{io}$  i'den ana depoya seyahat mesafesini,  $d_{oj}$  0'dan j'ye olan seyahat mesafesini,  $d_{ij}$  ise i'den j'ye olan seyahat mesafesini göstermektedir.  $s_{ij}$  değerleri büyükten küçüğe sıralanır.

Adım 2: Araç kapasite kısıtı dikkate alınarak iki güzergâh birleştirilir. Tasarruf sağlayamayan uygun birleşmeler olması durumunda sezgisel yöntem sonuçlanmış olur. Kapasite ile doğru orantılı biçimde tasarruf değeri yüksek olanlar birbirine ve depoya bağlanmaya çalışılır. Sıralı algoritmada güzergâhlara aynı anda iki rotaya gidilmez. Güzergâh içerisinde araç kapasitesinin hepsi kullanılmalıdır ya da uygun durumlar yola eklenir. Aşımelerde yeni yollar için çalışma yapılır ve mevcuttan eklemeler yapılır (Yazgan ve diğ., 2014).

### 4.2. Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma

Bu çalışmada kullanılan ikinci algoritma Kır, Yazgan ve Tüncel (2017) tarafından geliştirilen komşuluk aramasına dayalı yeni bir yerel aramalı sezgisel algoritmadır. Algoritmanın detayları aşağıdaki gibidir.

Ziyaret edilecek noktalar,  $p$  elemanı olan  $S$  kümesi ile belirtilir  $S = \{1, \dots, p\}$ . Tüm noktalar  $P$  set ile belirtilir  $P = \{(x_i, y_i) : i \in S\}$ .  $\Delta_{ij} = \left( (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \right)^{0,5}$  ise  $S$  kümesinin elemanları arasındaki mesafeyi belirten mesafe matrisidir. Çözüm,  $k$  rotalarının ve aynı zamanda araçların  $R$  kümesi,  $R_k \subseteq S$  ve  $t$  araç sayısı  $k$  araç sayısından daha az ve eşittir. Ziyaret edilecek tüm noktaların bir talebi vardır ve toplam talebin karşılanması serbest araçların kapasitesi olarak kabul edilir  $\sum d_i \leq tC$ .

Amaç fonksiyonu;

$$F = \sum_{k=1}^t \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \pi_{ijk} \Delta_{ij} \text{ hepsi için } i, j \in S, i \neq j \text{ ve } k \leq t.$$

Burada;

$$\pi_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{i. müşteriden j. müşteriye k aracı ile gidiliyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Bir çözüm aranırken kapasite kısıtı dikkate alınmalı ve her atamada kalan kapasite azaltılmadır. Bu nedenle aday çözümün fizibilitesini kontrol etmek için bir fonksiyon belirlemektedir.

$$\sum_{k=1}^t \pi_{ijk} d_j \leq C \quad \text{for all } i, j \in S \text{ and } i \neq j.$$

Algoritmanın performansına ilk çözüm kalitesi etki etmektedir. Algoritmanın detayları adım adım aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Rastgele bir i noktasından başlayıp ve  $\Delta_{ij}$ 'nin minimum değeri göz önünde bulundurarak burada  $S = S^*$  ve  $R_k = R_{k^*}$  olduğunda  $\pi_{ijk}$  1 olarak belirlenir.

Adım 2:  $\bar{C}_k = C_k + d_j$  ve  $S = S^* \setminus \{j\}$  ve  $R_{k^*} = R_k \cup \{j\}$  hesaplanır.

Adım 3:  $\bar{C}_k \geq C$  gerçekleşene kadar aşama 1 ve 2 tekrarlanır. Gerçekleşme durumunda  $k=k+1$  olur.

Adım 4:  $S^* \in \emptyset$  olana kadar önceki tüm adımları uygulanır. Sonunda ise tüm  $R_{k^*}$  bize çözümü ifade eder.

İlk çözümün belirlenmesinden sonra, yeni çözümlerin bulunmasına geçilir.

Bundan sonraki süreçte ise, komşuluk aramak için bir yer değiştirme prosedürü çalışır.

Adımlar aşağıdaki gibidir:

Aşama 1: Rulet tekerleği prensibi ile her bir rotadan  $R_{k^*}$  her bir denklemden i denklemini kullanarak seçilir.

$$p_k = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \pi_{ijk} \Delta_{ij}}{\sum_{k=1}^t \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \pi_{ijk} \Delta_{ij}}$$

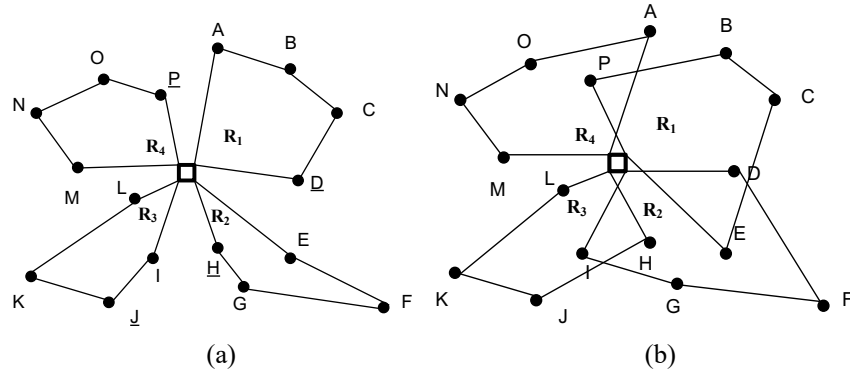
Aşama 2:  $\Delta_{ij}$  matrisine göre seçilen her noktaya en yakın ikinci noktaları belirleyin.

Aşama 3:  $R_1$ 'den başlanır ve seçilen noktayı en yakın ikinci noktasıyla yeniden konumlandırın. Seçilen nokta ve ikinci noktası aynı rotadaysa, yerini değiştirmeyin. Böylece çözüm alanını çok fazla geliştirmeyi önleyebiliriz.

Aşama 4': Yer değiştirirken,  $\bar{C}_k = C_k + d_j$  kapasitesi kontrol edilmelidir.

Aşama 5: Aşama 1 de seçilen tüm noktalar için Aşama 2 ve 3 tekrarlanır.

Yer değiştirme prosedürü Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'in (a) kısmında D, H, J ve P noktaları rastgele seçilmiştir. İkinci sırada sırasıyla E, I, H ve A bulunur. Şekil 1'in (b) kısmında, kapasite kısıtlamasının aşılmaması koşuluyla yer değiştirmeden sonra bize komşu bir çözüm gösterilmektedir.



Şekil 1. Yer değiştirme

Ayrıca, önerilen algoritmada döngüyü önlemek için bir hareket listesi vardır. Bu liste, son yinelemelerde bunlardan biri kullanılıyorsa, birkaç yineleme için bazı özel çözüm kümelerinin kullanılmasını yasaklar. Bu nedenle, arama yerel optimum noktaların etrafında dolaşmaz. Listenin boyutunu deneysel olarak belirlemeyi tercih ettik.

Son olarak, önerilen algoritmanın her bir yinelemesinde, iki rotayı ayrı rotalarda bırakmak yerine aynı rotada sunarak gerçekleştirilebilir, çözümü geliştirmek için uygulanır ve yeni bir çözüm olarak tabu olmayan bir çözüm seçilir. Bir ilk çözelti adımları belirlendikten sonraki algoritma, kodlarla Şekil 2’de özetlenebilir (Kır ve diğ., 2017).

```

while ( $F = F_0$  and  $k = 1$ )
 $F^* = F_k$ 
if (İçermez ise ( $F^*$ , tabu list) ve içermez ise (değişiklik listesi)) or ( $F^* > F_{best}$ )
     $c(F^*) = k \times \text{Kapasite ihlali}$ 
    if ( $c(F^*) < c(F)$ )
        set  $F = F^*$  and  $c(F) = c(F^*)$ 
    Güncelleme (frekans matrisi, tabu listesi, değişiklik listesi, değişiklik matrisi,  $k$ )
    end
    if ( $F > F_{best}$  ve  $s$  uygun)
         $F_{best} = F$ 
    end
end
return ( $F_{best}$ )

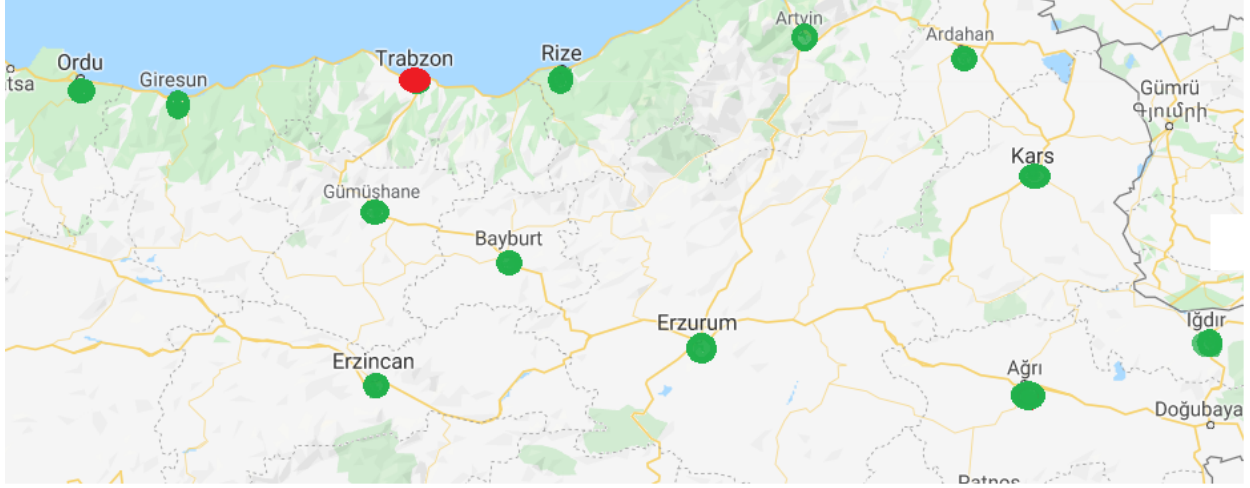
```

Şekil 2. Yerel aramalı sezgisel algoritmanın kodları

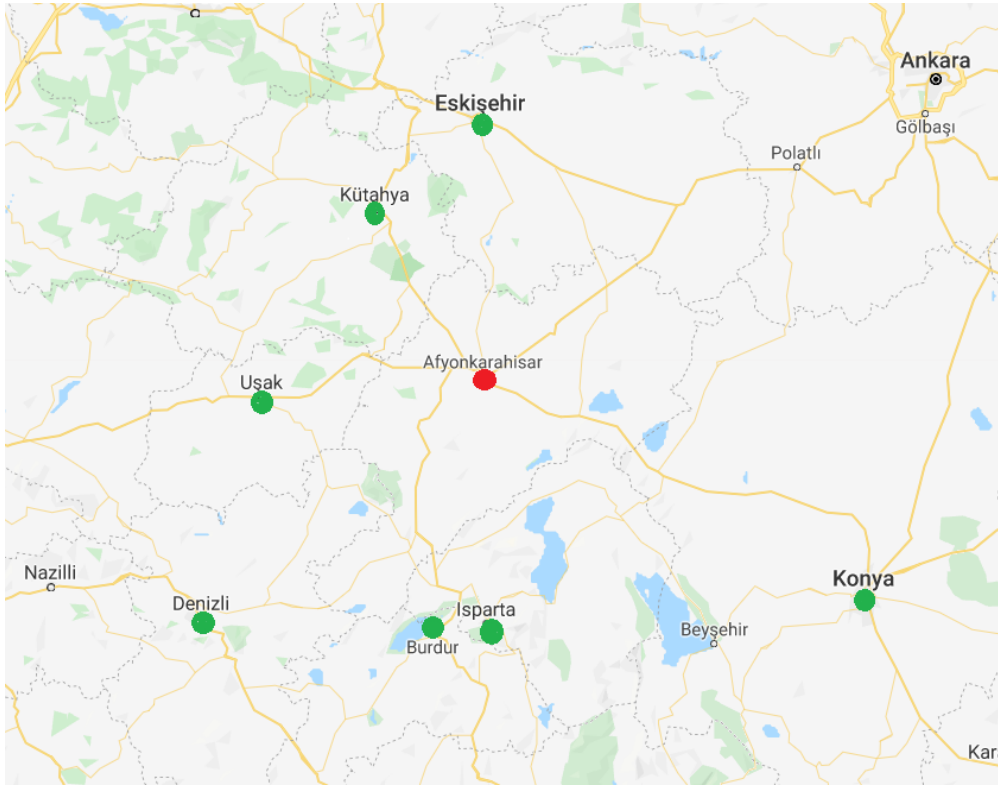
## 5.Uygulama

### 5.1 Problemin Tanımı

Bu çalışmada Gebze’de faaliyet gösteren bir boya fabrikasının Trabzon ve Afyonkarahisar’da bulunan iki ana deposundan Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en uygun araç rotalarını belirlediği problem ele alınmıştır. Bu makale, yazarlardan Ecem Nükte KILIÇ’ın Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir. Makalede yapılan çalışma için herhangi bir yasal/özel izin gerekmemiştir. Şekil 3 ve Şekil 4’te iki ana depo ve dağıtım yapılacak olan iller gösterilmektedir.



Şekil 3. Trabzon depo ve dağıtım yapılacak iller



Şekil 4. Afyonkarahisar depo ve dağıtım yapılacak iller

Trabzon deposunun dağıtım ürünleri, Trabzon hattından Iğdır hattına kadar olan güzergâhta yapılmaktadır. Bu hatta boya fabrikasının müşterilere dağıtım yaptığı toplam 360 adet müşterisi mevcuttur. Afyonkarahisar deposunun dağıtım ürünleri, Afyonkarahisar hattından Konya hattına kadar olan güzergâhta yapılmaktadır. Bu hatta boya fabrikasının müşterilere dağıtım yaptığı toplam 400 adet müşterisi mevcuttur.

Üç aylık toplanan talepler dikkate alınarak; her gün için bölüm 4'te aşamaları verilen algoritmalar kullanılarak dağıtımın yapılacağı en uygun araç rotaları oluşturulmuştur. Oluşturulan rotaların toplam km'leri hesaplanmış ve Afyonkarahisar depo için Tablo 1'de, Trabzon depo için ise Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Afyonkarahisar deposundan karşılan üç aylık talepler sonucunda oluşturulan rotaların toplam mesafeleri

Çalışılan Gün Sayısı	Müşteri Sayısı	Toplam Km (A)	Toplam Km (B)
1	13	616,66	486,29
2	4	254,68	243,61
3	9	752,88	751,58
4	10	1073,80	301,15
5	3	277,06	273,72
6	5	142,83	154,07
7	7	472,38	457,80
8	6	296,85	283,19
9	5	409,56	157,46
10	13	597,15	641,06
11	2	44,40	109,28
12	4	109,28	100,00
13	2	98,96	102,96
14	2	357,93	400,00
15	11	605,13	735,40
16	13	842,36	690,00
17	13	842,36	838,36
18	13	1531,55	1470,80
19	11	593,69	911,00
20	4	28,92	50,01
21	8	656,51	588,32
22	6	586,81	556,99
23	2	64,01	59,99
24	8	1148,67	308,00
25	4	347,61	378,76
26	2	104,97	125,02
27	4	254,68	250,04
28	6	315,78	122,00
29	7	579,07	673,00
30	10	1041,11	1029,56
31	6	672,00	449,01
32	19	1856,79	870,00
33	14	1217,50	1035,01
34	2	100,68	147,08
35	13	814,56	628,00
36	11	1513,49	840,01
37	4	351,92	294,16
38	8	823,43	622,00
39	4	413,00	402,00
40	4	351,92	600,00
41	2	186,72	449,01
42	4	534,33	382,00
43	2	93,79	201,84
44	3	623,81	600,00
45	8	823,43	547,01
46	2	100,00	80,00
47	3	206,50	240,01
48	5	438,81	400,00
49	4	530,02	530,02

A: Clarke-Wright Tasarruf Algoritması, B: Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma



**Tablo 2.** Trabzon deposundan karşılan üç aylık talepler sonucunda oluşturulan rotaların toplam mesafeleri

Çalışılan Gün Sayısı	Müşteri Sayısı	Toplam Km (A)	Toplam Km (B)
1	9	92,93	92,93
2	14	318,36	193,60
3	8	554,11	544,20
4	15	230,59	265,01
5	6	683,17	588,32
6	3	87,76	73,54
7	5	361,38	361,38
8	4	410,43	410,43
9	4	437,09	308,87
10	7	1065,20	1029,56
11	3	74,36	66,19
12	3	92,93	92,93
13	8	1077,25	727,06
14	4	228,02	185,32
15	2	67,66	58,83
16	3	225,43	232,31
17	2	170,36	250,43
18	4	554,98	544,20
19	2	92,93	73,54
20	9	1292,35	743,01
21	2	45,26	67,00
22	4	117,88	90,84
23	3	151,43	217,91
24	5	458,61	480,00
25	2	172,95	164,73
26	2	147,08	105,00
27	6	1021,33	321,00
28	2	1292,35	1289,90
29	4	53,86	52,95
30	5	295,13	212,00
31	4	634,14	329,00
32	4	355,36	807,00
33	2	524,00	878,00
34	2	102,96	88,25
35	5	55,24	76,00
36	4	482,70	441,24
37	3	817,40	957,99
38	5	112,72	88,25
39	3	380,31	535,01
40	2	88,25	73,54
41	5	147,08	117,66
42	2	473,23	642,01
43	4	69,52	58,83
44	2	235,76	267,00
45	5	147,08	117,66
46	2	662,52	732,00
47	7	113,58	73,54
48	3	1127,15	819,00
49	2	192,73	191,20
50	3	58,83	65,99
51	5	100,68	226,00
52	4	367,70	367,70
53	5	293,41	382,00
54	2	270,17	496,00
55	5	53,35	65,99
56	2	367,41	294,16

57	3	100,68	137,01
58	2	196,18	191,20
59	5	127,34	117,66

A: Clarke-Wright Tasarruf Algoritması, B: Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma

Üç ayda boya fabrikasında ürün sevkiyatı yapan araçlar toplamda 20079,95 km yol kat ederken harcadığı yakıt maliyeti 13652,36 TL'dir. Hesaplamalara göre kilometre başına yakılan litre ücreti 0,6799 TL'dir. Toplam mesafeye göre hesaplanan maliyetler Afyonkarahisar depo için Tablo 3'te ve Trabzon depo için Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Afyonkarahisar deposundan yapılan dağıtımların maliyetleri (TL)

Talepler	A	B	C
1	419,27	330,63	428,04
2	173,16	165,63	179,01
3	511,88	511,00	526,50
4	730,08	204,75	748,80
5	188,37	186,10	214,70
6	97,11	104,75	111,74
7	321,17	311,26	339,30
8	201,83	192,54	238,10
9	278,46	107,06	322,34
10	406,00	435,86	425,00
11	30,19	74,30	48,91
12	74,30	67,99	81,32
13	67,28	70,00	74,88
14	243,36	271,96	267,93
15	411,43	500,00	455,31
16	572,72	469,13	579,74
17	572,72	570,00	582,66
18	1041,30	1000,00	1077,57
19	403,65	619,39	447,53
20	19,66	34,00	28,43
21	446,36	400,00	470,93
22	398,97	378,70	417,69
23	43,52	40,79	87,40
24	780,98	209,41	789,75
25	236,34	257,52	260,91
26	71,37	85,00	90,09
27	173,16	170,00	200,07
28	214,70	82,95	223,47
29	393,71	457,57	418,28
30	707,85	700,00	726,57
31	456,89	305,28	475,61
32	1262,43	591,51	1271,21
33	827,78	703,70	852,35
34	68,45	100,00	87,17
35	553,82	426,98	590,09
36	1029,02	571,12	1034,87
37	239,27	200,00	248,04
38	559,85	422,90	570,96
39	280,80	273,32	295,43
40	239,27	407,94	252,14
41	126,95	305,28	162,05
42	363,29	259,72	383,18
43	63,77	137,23	105,30
44	424,13	407,94	431,15
45	559,85	371,91	568,62
46	67,99	54,39	72,00
47	140,40	163,18	164,97

48	298,35	271,96	307,13
49	360,36	360,36	369,72
<b>Toplam:</b>	<b>18153,57</b>	<b>15343,01</b>	<b>19104,96</b>

A: Clarke-Wright tasarruf algoritması, B: Yerel aramalı sezgisel algoritma, C:Firma sonuçları

**Tablo 4.** Trabzon deposundan yapılan dağıtımların maliyetleri (TL)

<b>Talepler</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1	63,18	63,18	84,83
2	216,45	131,63	248,63
3	376,74	370,00	421,20
4	156,78	180,18	175,50
5	464,49	400,00	468,00
6	59,67	50,00	64,35
7	245,70	245,70	260,33
8	279,05	279,05	287,82
9	297,18	210,00	304,20
10	724,23	700,00	819,00
11	50,56	45,00	60,72
12	63,18	63,18	64,35
13	732,42	494,33	734,18
14	155,03	126,00	160,88
15	46,00	40,00	60,00
16	153,27	157,95	157,95
17	115,83	170,27	117,00
18	377,33	370,00	409,50
19	63,18	50,00	64,35
20	878,67	505,17	936,00
21	30,77	45,55	38,03
22	80,15	61,76	87,75
23	102,96	148,16	114,08
24	311,81	326,35	333,45
25	117,59	112,00	128,70
26	100,00	71,39	130,00
27	694,40	218,25	643,50
28	878,67	877,00	760,50
29	36,62	36,00	36,27
30	200,66	144,14	200,66
31	431,15	223,69	438,75
32	241,61	548,68	241,61
33	356,27	596,95	362,70
34	70,00	60,00	100,00
35	37,56	51,67	38,61
36	328,19	300,00	328,77
37	555,75	651,34	558,68
38	76,64	60,00	79,56
39	258,57	363,75	263,25
40	60,00	50,00	60,00
41	100,00	80,00	120,00
42	321,75	436,50	351,00
43	47,27	40,00	58,50
44	160,29	181,53	161,46
45	100,00	80,00	120,00
46	450,45	497,69	462,15
47	77,22	50,00	79,56
48	766,35	556,84	830,70
49	131,04	130,00	187,20
50	40,00	44,87	46,80
51	68,45	153,66	67,28
52	250,00	250,00	380,25

53	199,49	259,72	198,90
54	183,69	337,23	187,20
55	36,27	44,87	46,80
56	249,80	200,00	263,25
57	68,45	93,15	81,90
58	133,38	130,00	175,50
59	86,58	80,00	93,60
<b>Toplam:</b>	<b>13958,79</b>	<b>13244,38</b>	<b>14755,71</b>

A: Clarke-Wright tasarruf algoritması, B: Yerel aramalı sezgisel algoritma, C:Firma sonuçları

## 5.2. Sonuçların Friedman Testi ile Yorumlanması

Bu çalışmada Afyonkarahisar depo ve Trabzon deponun sonuçlarını istatistiksel olarak karşılaştırmak için 0,05 anlamlılık düzeyinde Friedman testi uygulanmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada ilk olarak Afyonkarahisar depo için;

H<sub>0</sub>: “Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma sonucunda bulduğumuz sonuç ile firma verileri arasında maliyet farkı yoktur”

H<sub>a</sub>: “Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma sonucunda bulduğumuz sonuç ile firma verileri arasında maliyet farkı vardır”

Olacak şekilde hipotezler tanımlanmıştır. Tablo 5 Afyonkarahisar depo için Friedman test sonuçlarını göstermektedir. Friedman test ( $p \leq 0.05$ ), bu nedenle sıfır hipotezi reddedilir. Bu durumda, sonuçların toplamına baktığımızda Afyonkarahisar depo hattındaki geçmiş verilerinin toplamı 19104,96 TL’dir. Clarke-Wright tasarruf algoritmasının uygulanması ile elde edilen sonucun 18153,57 TL ve yerel aramalı sezgisel algoritmanın uygulanması ile elde edilen sonucun ise 15343,01 TL olduğunu görüyoruz. Bu durumda yerel aramalı sezgisel algoritmayı uyguladığımızda daha iyi sonuçlar elde ettiğimizi söyleyebiliriz. Ayrıca Tablo 6’daki Mean Rank sonuçları da yerel aramalı sezgisel algoritmanın diğerlerine göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini doğrulamaktadır.

**Tablo 5.** Afyonkarahisar depo için Friedman istatistiği

Total N	49
Chi-Square	44,687
df	2
p-value	0.0000

**Tablo 6.** Afyonkarahisar depo için Friedman testi sıra ortalamaları

	Mean Rank
A	1,66
B	1,56
C	2,78

Trabzon depo için;

H<sub>0</sub>: “Clarke-Wright tasarruf algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma sonucunda bulduğumuz sonuç ile firma verileri arasında maliyet farkı yoktur”

H<sub>a</sub>: “Clarke-Wright tasarruf algoritması ve Yerel Aramalı Sezgisel Algoritma sonucunda bulduğumuz sonuç ile firma verileri arasında maliyet farkı vardır”

Olacak şekilde hipotezler tanımlanmıştır. Tablo 7 Trabzon depo için Friedman test sonuçlarını göstermektedir. Friedman test ( $p \leq 0.05$ ), bu nedenle sıfır hipotezi reddedilebilir. Bu durumda, sonuçların toplamına baktığımızda Trabzon depo hattındaki geçmiş verilerinin toplamı 14755,71 TL’dir. Clarke-Wright tasarruf algoritmasının uygulanması ile elde edilen sonucun 13958,79 TL ve yerel aramalı sezgisel algoritmanın uygulanması ile elde edilen sonucun ise 13244,38 TL olduğunu görüyoruz. Bu durumda yerel aramalı sezgisel algoritmayı uyguladığımızda daha iyi sonuçlar elde ettiğimizi söyleyebiliriz. Ayrıca Tablo 8’deki Mean Rank sonuçları da yerel aramalı sezgisel algoritmanın diğerlerine göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini doğrulamaktadır.

**Tablo 7.** Trabzon depo için Friedman istatistiği

Total N	59
Chi-Square	32,458
df	2
p-value	0.0000

**Tablo 8.** Trabzon depo için Friedman testi sıra ortalamaları

	Mean Rank
A	1,73
B	1,68
C	2,59

## 6. Sonuç

Tedarik zinciri yönetiminde odak noktası; doğru ürünün doğru zamanda tedarik edilmesi, doğru miktarda üretimi ve doğru zamanda ulaştırılmasıdır. Zincirin tüm halkalarında, rekabet avantajı ve katma değer sağlanması hedeflenir.

Bu hedefleri gerçekleştirebilmek araç rotalama işleminin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesiyle mümkündür. Araç Rotalama Problemi, gerçek hayatta her alanda karşılaşılan bir problemdir. Ticaretin başlamasından beri ürünlerin belirli bir yerden başka bir yere taşınması, dünya ekonomisi açısından çok önemli bir yere sahiptir. Bu problemin çözülmesi için araştırmacılar yıllardır çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu sebepten dağıtım sisteminde yapılan ufak bir geliştirme, tatmin edici bir maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Dağıtım merkezinin yeri ve dağıtımın yapılacağı müşteriler, dağıtım sisteminin iki parçasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada Gebze'de faaliyet gösteren bir boya fabrikasının Trabzon ve Afyonkarahisar'da bulunan iki ana deposundan Türkiye genelindeki müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için en uygun araç rotalarını belirlediği problem ele alınmıştır. Trabzon deposunun dağıtım ürünleri, Trabzon hattından Iğdır hattına kadar olan güzergâhta yapılmaktadır. Bu hatta boya fabrikasının müşterilere dağıtım yaptığı toplam 360 adet müşteri mevcuttur. Afyonkarahisar deposunun dağıtım ürünleri, Afyonkarahisar hattından Konya hattına kadar olan güzergâhta yapılmaktadır. Bu hatta boya fabrikasının müşterilere dağıtım yaptığı toplam 400 adet müşteri mevcuttur. Üç aylık toplanan talepler dikkate alınarak; her gün için Clarke-Wright tasarruf algoritması ve yerel aramalı sezgisel algoritma kullanılarak dağıtımın yapılacağı en uygun araç rotaları oluşturulmuştur. Oluşturulan rotaların toplam mesafeleri ve bu toplam mesafeye göre de maliyetler hesaplanmıştır. Son olarak ise elde edilen sonuçlar ve firmadan alınan gerçek sonuçlar FRIEDMAN testi yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Friedman testi sonuçlarını incelediğimizde Afyonkarahisar ve Trabzon depo için algoritmalar ile elde edilen sonuçlar ile firma sonuçları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Afyonkarahisar depo hattındaki firma verilerinin toplamı 19104,96 TL'dir. Clarke-Wright tasarruf algoritması uygulaması ile elde edilen sonucun 18153,57 TL ve yerel aramalı sezgisel algoritması uygulama ile elde edilen sonucun ise 15343,01 TL olduğunu görüyoruz. Trabzon depo hattındaki firma verilerinin toplamı 14755,71 TL'dir. Clarke-Wright tasarruf algoritması uygulaması ile elde edilen sonucun 13958,79 TL ve yerel aramalı sezgisel algoritma ile elde edilen sonucun ise 13244,38 TL olduğunu görüyoruz. Bu durumda Afyonkarahisar depo ve Trabzon deponun her ikisi içinde yerel aramalı sezgisel algoritmayı uyguladığımızda daha iyi sonuçlar elde ettiğimizi söyleyebiliriz.

Bu çalışmada ele alınan problemde ürünlerin teslim zamanı ile ilgili kısıt dikkate alınmamıştır. Bundan sonraki çalışmamıza bu kısıtın da eklenmesi düşünülmektedir. Ayrıca bu problemde ürün dağıtımını yapan araçların sayısı sınırsız olarak ele alınmıştır. Zaman kısıtına ilave olarak araç sayısının sabit tutulması kısıtı da modele eklenebilir. Böylece ele alınan problemin gerçek hayat problemlerine yaklaştırılması düşünülmektedir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Serap ERCAN CÖMERT, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması ve istatistiki analizler; Harun Reşit YAZGAN, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması ve makale çıktılarının yorumlanması; Ecem Nükte KILIÇ, verilerin toplanması, bilgisayar ortamına aktarılması, bilgisayar kodlarının oluşturulması ve uygulanması konularında katkı sağlamışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

- Abdulmajeed, N. H., & Ayob, M. (2014). A firework algorithm for solving capacitated vehicle routing problem. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 6(1), 79-86. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/86ac/1126fdaca8a5703d126be82a58fc114c8455.pdf>
- Ai, T. J., & Kachitvichyanukul, V. (2009). Particle swarm optimization and two solution representations for solving the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 380-387. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.06.012>
- Akpınar, S. (2016). Hybrid large neighbourhood search algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 61, 28-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.023>
- Baker, B. M., & Ayechev, M. A. (2003). A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 30(5), 787-800. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00051-5)
- Barbarosoglu, G., & Ozgur, D. (1999). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 26 (3), 255-270. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(98\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(98)00047-1)
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., & Strauss, C. (1999). An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 89, 319-328. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1018940026670>
- Chen, P., Huang, H. K., & Dong, X. Y. (2010). Iterated variable neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1620-1627. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.047>
- Çiçekdeş, B. (2011). *A genetic algorithm approach for a real life heterogeneous capacitated vehicle routing problem* (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, YÖK tez veri tabanından erişildi. Tez No. 307090
- Düzakın, E. ve Demircioğlu, M. (2009). Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13(1), 68-87. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cuiibfd/issue/4151/54476>
- Erol, V. (2006). *Araç Rotalama Problemleri için Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, YÖK tez veri tabanından erişildi. Tez No. 180526
- Ho, S. C., & Gendreau, M. (2006). Path relinking for the vehicle routing problem. *Journal of Heuristics*, 12(1-2), 55-72. doi: <https://doi.org/10.1007/s10732-006-4192-1>
- Kao, Y., Chen, M. H., & Huang, Y. T. (2012). A hybrid algorithm based on ACO and PSO for capacitated vehicle routing problems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1155/2012/726564>
- Kır, S., Yazgan, H.R., & Tünel, E. (2017). A novel heuristic algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 13, 323-330. doi: <https://doi.org/10.1007/S40092-017-0187-9>
- Lin, S. W., Lee, Z. J., Ying, K. C., & Lee, C. Y. (2009). Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 1505-1512. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.060>

- Osman, I. H. (1993). Meta-strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 41, 421-451. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02023004>
- Pichpibul, T., & Kawtummachai, R. (2012). An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Science Asia*, 38(3), 307- 318. doi: <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2012.38.307>
- Prins, C. (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 31(12), 1985-2002. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00158-8](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00158-8)
- Reimann, M., Doerner, K., & Hartl, R. F. (2004). D-ants: Savings based ants divide and conquer the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 31(4), 563-591. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00014-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00014-5)
- Rochat, Y., & Taillard, É. D. (1995). Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing. *Journal of Heuristics*, 1(1), 147-167. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02430370>
- Ruiz R., Maroto C., & Alcaraz J. (2004). A decision support system for a real vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 153, 593-606. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00265-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00265-0)
- Stanojević, M., Stanojević, B., & Vujošević, M. (2013). Enhanced savings calculation and its applications for solving capacitated vehicle routing problem. *Applied Mathematics and Computation*, 219(20), 10302-10312. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2013.04.002>
- Szeto, W. Y., Wu, Y., & Ho, S. C. (2011). An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 126-135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.006>
- Şen, T., Yazgan, H. ve Ercan, S. (2015). Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için yeni bir algoritma geliştirilmesi: bir süpermarket zincirinde uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 83- 88. doi: <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.33138>
- Taillard, É. (1993). Parallel iterative search methods for vehicle routing problems. *Networks*, 23(8), 661-673. doi: <https://doi.org/10.1002/net.3230230804>
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *An Overview of Vehicle Routing Problems-Chapter 1*, The vehicle routing problem, SIAM, Philadelphia, 1-26. doi: <https://doi.org/10.1137/1.9780898718515.ch1>
- Uyumaz, D. (2017). *Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Paralel Genetik Algoritma ile Çözümü* (Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, YÖK tez veri tabanından erişildi. Tez No. 459306
- Wang, C. H., & Lu, J. Z. (2009). A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2921-2936. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.01.072>
- Yazgan, H., Ercan, S. ve Arslan, C. (2014). Talep ve kapasite kısıtlı optimizasyon problemi için yeni bir melez algoritma. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 25(1), 16-28. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/752226>