

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNİN İKİ AŞAMALI ÇÖZÜMÜNDE GENETİK ALGORİTMA KULLANIMI

Gül GÖKAY EMEL*

Çağatan TAŞKIN**

Özet:

Günümüzde, hem yerel hem de küresel pazarlarda yoğun bir rekabet söz konusudur. İşletmeler, yoğun rekabetin olduğu bu müşteri odaklı pazarlarda var olabilmek ve rekabet ile mücadele edebilmek için mamullerinin kalitesini yükseltirken, maliyetlerini minimize etmek durumundadırlar. İşletmelerin toplam maliyetleri içinde önemli bir büyüklüğe sahip olan maliyet kalemlerinden biri dağıtım maliyetleridir. Bu çalışmada, bir işletmenin dağıtım problemlerinden biri incelenerek maliyet azaltımı ele alınmaktadır. Ele alınan dağıtım problemi klasik araç rotalama problemi olarak modellenmiştir. Problem, önce en yakın komşu yöntemi ile çözülmüştür. Elde edilen her araç rotası bir gezgin satıcı problemi olarak modellenmiş ve araç rotalarını iyileştirmek için genetik algoritma kullanılmıştır. Özellikle büyük ölçekli problemlerde kullanılan iki aşamalı bu yaklaşım, hesaplama yükünün azaltılması için uygulanmıştır. Genetik algoritma uygulanması sonucunda turlarda hızlı bir iyileşme gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araç rotalama problemi, gezgin satıcı problemi, genetik algoritmalar.

THE USE OF GENETIC ALGORITHM FOR THE TWO-STEP SOLUTION OF VEHICLE ROUTING PROBLEMS

Abstract:

Nowadays, competition in both local and global markets is so crucial. To cope with increasing competition in today's customer oriented markets, enterprises must minimize their costs. Distribution cost is one of the major cost elements of enterprises. In this paper, one of the distribution problems of an enterprise is handled. The problem is modelled as a classical vehicle routing problem. At first, nearest neighbour heuristic is used to solve the classical

* Yrd. Doç. Dr., Uludağ Üniversitesi İ.İ.B.F. İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, ggokay@uludag.edu.tr.

** Araştırma Görevlisi, Uludağ Üniversitesi İ.İ.B.F. İşletme Bölümü, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Anabilim Dalı, ctaskin@uludag.edu.tr.

vehicle routing problem. Secondly, because the customers are located in clusters rather than randomly, each vehicle route is modelled as a traveling salesman problem and genetic algorithm is used to improve the vehicle routes. This is done, in order to save computation time. After the solution of the traveling salesman problems, routes are improved fast.

Keywords: Vehicle routing problem, traveling salesman problem, genetic algorithms.

GİRİŞ

Rekabetin gittikçe şiddetlendiği günümüzün müşteri odaklı pazarlarında, işletmeler daha kaliteli fakat daha düşük maliyetli mamuller üretmeye zorlanmaktadır. Bu nedenle, günümüz işletmeleri sürekli olarak maliyetlerini ve özellikle de önemli bir maliyet kalemi olan lojistik maliyetlerini düşürmeye yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Dağıtım fonksiyonu toplam maliyetler içindeki önemli payı nedeni ile işletmelerin lojistik sistemlerinin başta optimize edilmesi gereken bir fonksiyonudur. Bu optimizasyon çalışmalarının bir parçası, dağıtımda kullanılan araçların minimum maliyetli rotalarının tespitidir. Bu tip optimizasyon problemleri, literatürde araç rotalama problemleri olarak adlandırılmaktadır. İşletmelerin bu tip problemleri özellikle büyük ölçekli olduğu zaman çözmeleri zorlaşmaktadır. Bu nedenle bu problemlerin polinomial zaman içinde optimum değere en yakın olacak şekilde çözümünü verebilecek yöntemler sürekli araştırılmaktadır.

Bu çalışmada da, lojistik sistemlerinde yüksek maliyetlere neden olan dağıtım problemlerinden biri incelenmektedir. Ele alınan problem klasik araç rotalama problemi tipindedir ve minimum maliyetli rotaların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Burada problemin çözümü, özellikle talep noktalarında kümelenmeler olduğundan, iki aşamalı olarak önerilmektedir. Sözü edilen iki aşamalı çözüm yöntemi gereksiz hesaplamaları önleyeceğinden çok daha hızlı çözüm sağlayabilmektedir.

İlk aşamada, olurlu araç rotaları belirlenmektedir. Bunun için bu çalışmada, araç rotalama probleminin klasik bulgusal çözüm yöntemlerinden biri olan en yakın komşu yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasındaki amaç, belirli kümeler halinde coğrafi alana dağılan müşterileri birbirlerine olan yakınlıklarına göre kümelere ayırmaktır. İkinci aşamada ise elde edilen araç rotalarının iyileştirilmesi yapılmaktadır. Yine bu çalışmada, hesaplama yükünü azaltmak amacı ile elde edilmiş çözüme bir rota iyileştirme yöntemi uygulamak yerine her bir araç rotası bir gezgin satıcı problemi olarak ele alınmakta ve genetik algoritma yöntemi ile çözülmektedir. Genetik algoritmalar paralel arama ve başlangıç çözümünden bağımsız olma gibi birçok üstünlüğe sahip olmaları nedeni ile ikinci aşamanın çözüm yöntemi olarak seçilmiştir.

Bu çözüm yaklaşımı, Türkiye’de faaliyet gösteren bir kağıt endüstrisi üreticisinin dağıtım problemlerinden biri üzerinde uygulanmıştır.

I) ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç rotalama problemi; mamullerin bir veya birden fazla araç ile bir veya birden fazla merkezden ilgili talep yerlerine minimum mesafe veya minimum maliyetle nasıl taşınabileceğini inceleyen bir problem tipidir. Tüm taşımalarda mamullerin belirlenen bir zamanda, bir üretim merkezinden veya bir depodan tahsis edilen araçlarla, istenilen yerlerden toplanması veya yerlere dağıtılması ile oluşan mesafe veya sürenin büyüklüğü maliyetlerin artışında önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, işletmeler bu tip bir rotalama problemi ile karşılaştıklarında, taşıma maliyetlerini düşürecek optimal bir rotalama kararı almak zorundadırlar. Rotalama kararı, hangi talebin hangi araçla karşılanacağını ve bu araçların hangi rotaları izleyeceğini belirlemesidir (Emel vd. 2004: 60). Bir birleşim optimizasyonu (combinatorial optimization) problemi olan araç rotalama problemi, NP-zor problem sınıfına aittir. Başka bir ifade ile araç rotalama problemlerinde değişken sayısı arttıkça çözüme ulaşma zamanı minimum üstsel olarak artış gösterir (Taşkın, 2003: 46).

Bu problem tipinde, dağıtım veya toplama yapan işletme belli kapasitelerdeki araçlardan oluşan bir filoya sahiptir. Her aracın yolculuğu, tek depo söz konusu olduğunda merkez depodan başlar ve dağıtım sonunda yine merkez depoda son bulur. Birden fazla depo söz konusu olduğunda ise her araç çıktığı depoya geri dönmek zorundadır. Araç rotalama problemlerinde ayrıca, teslim saatleri, maksimum mesafe ve maksimum çalışma süresi gibi bir çok kısıt yer alabilir. Araç rotalama problemleri içerdiği kısıt tiplerine göre sınıflara ayrılabilir (Tung ve Pinnoi, 2000: 449-450). Klasik araç rotalama probleminin özellikleri ise şöyle sıralanabilir (Tan vd., 2001: 281-282):

- Tek bir depo vardır,
- Dağıtım söz konusudur,
- Araçlar aynı kapasiteye sahiptir,
- Araçlar için kapasite kısıtlaması vardır,
- Müşteri talepleri bilinmektedir,
- Bir müşteriye yalnızca bir araç hizmet sunar,
- Tüm araçlar depodan yola çıkıp tekrar depoya dönerler,
- Amaç toplam mesafeyi veya maliyeti minimize etmektir.

Araç rotalama problemleri ayrıca, girdi verilerinin zamana bağlı olup olmamasına ve girdi verilerinin tümünün bilinip bilinmemesine göre de sınıflara ayrılabilir. Araç rotalama problemleri, girdi verileri zamana bağlı değil ise statik, zamana bağlı ise dinamik araç rotalama problemleri olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, araç rotalama problemlerinde araç rotaları oluşturulurken tüm girdi verileri biliniyorsa problem deterministik, bilinmiyorsa stokastik problem olarak da adlandırılır. Bir statik araç rotalama problemi deterministik ya da stokastik olabilir. Deterministik ve statik araç rotalama problemlerinde, tüm veriler bilinmekte ve zaman göz önüne alınmamaktadır. Stokastik ve statik araç rotalama problemlerinde araç rotaları planlama evresinin başlangıcında, bir başka ifade ile belirsiz verinin belirli hale gelmesinden önce oluşturulmaktadır. Belirsizlik; talebi, servis zamanlarını veya yolculuk zamanlarını etkileyebilir. Girdi verisinin belirsiz olduğu durumlarda rastsal değişkenlerin tüm durumları için kısıtların sağlanması genellikle imkansız olur. Belirsizlik kısıtları etkiler ancak amaç fonksiyonu deterministik olursa, kısıtların verilen bir olasılık dahilinde sağlanması istenebilir (şans kısıtlı programlama). Dinamik araç rotalama problemleri de aynı şekilde deterministik ve stokastik olabilir. Deterministik ve dinamik problemlerde tüm veriler bilinmektedir ve verilerin bazı unsurları zamana bağlıdır. Stokastik ve dinamik problemlerde¹ ise veriler belirsizdir ve stokastik süreçlerle temsil edilirler (Ghani vd., 2003).

II) LİTERATÜR TARAMASI

Araç rotalama problemleri NP-zor problem sınıfına ait olduğundan fazla sayıda değişkenin söz konusu olduğu durumlarda, çözüme optimal yöntemler ile polinomial zaman içerisinde ulaşmak oldukça zor ve bazen imkansızdır. Problemin kısıtları da arttıkça problem daha da karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle, literatürde bulgusal çözüm yöntemlerine daha fazla rastlanmaktadır. Araç rotalama problemlerinin çözüm yöntemlerinin gelişimine bakıldığında bu yöntemlerin gezgin satıcı probleminden yola çıkarak oluşturulduğu görülmektedir (Toth ve Vigo, 2002: 488-489).

Araç rotalama problemleri 1950'li yıllardan beri önemli bir araştırma konusu olup, çeşitli çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çözüm yöntemleri temel olarak iki sınıfa ayrılır. Bunlar kesin (exact) ve bulgusal (heuristic) yöntemler olarak adlandırılırlar. Kesin yöntemler ile optimum sonuçlar bulunmaktadır. Ancak, özellikle büyük ölçekli problemlerde, problemin çözüm zamanı oldukça uzun olabilmektedir. Bulgusal yöntemlerde ise hedef, optimuma yakın kabul edilebilir bir çözüme polinomial zaman içerisinde ulaşmaktır. 1960'lı ve 1970'li yıllarda, araç rotalama problemlerinin çözümü için rota oluşturma, rota iyileştirme ve iki aşamalı bulgusal yöntemler üzerinde yoğunlaşmıştır. 1980'li yıllarda, matematiksel programlama tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler daha fazla hesaplama gücüne gereksinim duymakla beraber, yüksek kalitede çözümler üretmişlerdir. Bu 30 yıllık dönemin sonunda, yaklaşık 50 müşteriye kadar olan bazı problemler optimal olarak

çözülebilmiştir. 1990'lı yıllarda, araştırmaların odağı modern bulgusal yöntemlere kaymıştır. Modern bulgusal yöntemler literatürde metahöristikler olarak da geçmektedir. Bu yöntemler arasında yasaklı arama, tavlama benzetimi, karınca kolonileri ve genetik algoritmalar sayılabilir (Crainic ve Laporte, 1998: 33-34).

Daha önce de ifade edildiği üzere, kesin yöntemler matematiksel programlama temelli yöntemler olup, ortak özelliği optimal çözüm vermeleridir. Tamsayılı model olarak formüle edilen araç rotalama probleminin çözümü için dal-sınır (branch and bound), kesme düzlemi (cutting plane) ve dal-kesme (branch and cut) yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca, dinamik programlama, Lagrangian ayrıştırma, K-ağaç ve sütun yaratma (column generation) tabanlı yöntemler araç rotalama probleminin kesin çözüm yöntemleri arasında yer almaktadır (Fisher, 1994: 627; Fisher vd., 1997: 488-490).

Araç rotalama probleminin çözümü için kullanılan bulgusal yöntemler klasik ve modern yöntemler olmak üzere iki sınıfta incelenebilir. Klasik bulgusal yöntemler; rota oluşturma, iki aşamalı yöntemler ve rota iyileştirme yöntemleri olarak üç alt sınıfta incelenebilir. Birinci alt sınıf olan rota oluşturma yöntemleri arasında kazançlar (savings), yerleştirme (insertion), en yakın komşu (nearest neighbour) ve süpürme (sweep) yöntemleri bulunmaktadır (Breedam, 2002: 348-349). İki aşamalı yöntemler ise önce grupta-sonra rotala (cluster first-route second) ve önce rotala-sonra grupta (route first-cluster second) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Diğer bir yöntem olan rota iyileştirme yöntemleri ise oluşan rotalardan daha iyi rotalar oluşturma amaçlı yöntemlerdir. Literatürde dal değişim (branch exchange) yöntemleri olarak da geçmektedir. Araç rotalama problemleri için basit ve hızlı yöntemler olarak geçen yukarıdaki bulgusal yöntemler hakkında, "Laporte, Gendreau, Potvin ve Semet" ve "Christofides, Mingozzi ve Toth" adlı araştırmacıların literatür taramasını içeren çalışmaları mevcuttur (Laporte vd., 2000: 285-288). Özellikle 1990'lı yıllardan sonra yoğun araştırmalara konu olan modern bulgusal yöntemler arasında, metallerin tavlama işlemi esas alınarak ortaya atılmış olan tavlama benzetimi, Glover tarafından önerilen ve bellek tabanlı bir arama stratejisi olan yasaklı arama yöntemi ve Darwin'in çevre şartlarına uyum sağlayabilen en iyilerin hayatta kalması ilkesinden hareket eden genetik algoritma ve karınca kolonileri yöntemleri sayılabilir (Jang, 1997: 179-183).

Literatür taraması sonucunda, araç rotalama problemlerinin çözümünde en iyi sonuçların, yasaklı arama ve tavlama benzetimi yöntemleriyle elde edildiği görülmüştür. Taillard ve "Rochat ve Taillard", kıyaslamalı araç rotalama problemleri için yasaklı arama yöntemi ile bilinen en iyi sonuçları elde etmişlerdir. I.H. Osman, "Gendreau, Hertz ve Laporte", "Rego", "Roucairol", "Barbarosoğlu ve Özgür" isimli araştırmacılar da kıyaslamalı araç rotalama problemleri için yasaklı arama yöntemiyle benzer sonuçları bulduklarını makalelerinde yayınlamışlardır (Gendreau vd., 1999:

1153; Baker ve Ayechev, 2003: 788). “Osman”, “Hiquebran, Alfa ve Shapiro” ve “Gittoes” adlı araştırmacılar tavlama benzetimi yöntemi ile, yasaklı arama yöntemi ile bulunan sonuçlara çok yakın sonuçlar bulmuşlardır. Fakat, “J. Renaud, F.F. Boctor ve G. Laporte” adlı yazarların makalesinde sözü edilen bulgusal yöntemlerin önemli hesaplama zamanı gerektirdiği ve çeşitli parametre ayarlarının yapılması gerektiği belirtilmektedir. Karınca kolonileri optimizasyonu, araç rotalama problemlerine uygulanan diğer bir yeni modern bulgusal yöntemdir. Yapay karıncalar tarafından oluşturulan rotalara 2-opt yöntemi ile iyileştirme uygulandığında, bu karma yöntem ile elde edilen sonuçlar, yasaklı arama yöntemi ile elde edilenlere yakındır. Bu konuda, “Bullnheimer, Hartl ve Strauss” ve Gambardella, Taillard ve Agazzi” ’nin çalışmaları mevcuttur. Sınır ağları ve genetik algoritmaların araç rotalama problemlerinin çözümünde karma olarak kullanıldığı hibrid bir yöntem de Potvin, Dube ve Robillard tarafından önerilmiştir (Baker ve Ayechev, 2003: 788).

Baker ve Ayechev’in 2003 yılındaki makalelerinde bir hibrid genetik algoritma önerilmektedir. Bu hibrid genetik algoritma, genetik algoritma ile komşuluk arama tekniklerinden oluşmaktadır. Baker ve Ayechev’in hibrid genetik algoritması ise yayınlanmış en iyi çözümden % 0.50 daha uzak bir sonuç vermiştir (Baker ve Ayechev, 2003: 797-798). Ancak, daha yeni bir çalışma olan Christian Prins adlı Fransız araştırmacının makalesinde, genetik algoritma yöntemiyle ilgili çarpıcı ve yeni sonuçlar bulunmaktadır. Christian Prins daha farklı bir kodlama yöntemi kullanarak hibrid bir genetik algoritma önermiştir. Önceki çalışmalardan farklılığı, gezgin satıcı probleminde de kullanılan permütasyon tipi bir kodlama yöntemi kullanılması ve mutasyon operatörü olarak klasik operatörlerin kullanılmayıp onun yerine bir yerel arama prosedürünün kullanılmasıdır. Christofides’in 14 test problemi² üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14 nolu problemler için yayınlanmış en iyi çözüm değerleri bulunmuştur. Tüm problemler için ise hibrid genetik algoritmalar yayınlanmış en iyi çözüm değerlerine göre %0.8 uzak sonuç vermiştir. Golden’e ait 20 büyük ölçekli test problemleri³ üzerinde yapılan çalışmalarda ise önerdikleri hibrid genetik algoritmalar 11 test problemi için yayınlanmış en iyi sonuçlardan daha iyi sonuç vermiş, toplam olarak da yayınlanmış en iyi sonuçlardan %0.78 daha iyi sonuç üretmiştir (Prins, 2003).

III) GENETİK ALGORİTMALAR

Darwin’in çevre şartlarına uyum sağlayabilen en iyilerin hayatta kalması ilkesinden hareket eden genetik algoritmalar ilk olarak, Michigan Üniversitesi’nden araştırmacı John Holland tarafından geliştirilmiştir. John Holland’ın araştırmaları, doğal sistemlerin süreçlerini açıklamak ve doğal sistemlerin çalışma şeklini içeren yapay sistem yazılımları tasarlamak amacıyla başlamıştır. Bu yaklaşım, hem doğal hem de yapay sistemlerde önemli buluşların yapılmasına neden olmuştur (Goldberg,

1989:1). Genetik algoritmalar genel anlamda, dizilerden oluşan bir popülasyona çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir. Bu operatörlerin uygulanmasından sonra yeni bir popülasyon (yavru popülasyon) oluşur. Yeni popülasyon eski (ebeveyn) popülasyon ile yer değiştirir. Her dizinin bir uyum değeri mevcuttur. Diziler uyum değerlerine göre seçilirler. Ortalama uyum değerinin üzerinde uyuma sahip dizilerin gelecek kuşaklarda temsil edilme olasılığı daha yüksektir. Evrim süreci, popülasyonun ortalama uyumunu giderek artırır ve ilerleyen kuşaklarda daha iyi uyum değerleri elde edilmesini sağlar (Deb, 1998). Genetik algoritmalar rastsal arama yöntemleri olmalarına rağmen klasik rastsal arama yöntemlerinden farklıdır. Bu temel farklılıklar şöyle sıralanmaktadır (Yeniay, 2001: 37):

- Değişkenlerle değil, değişken kümesinin kodlanmış biçimi ile çalışırlar.
- Tek bir noktadan değil, noktalar kümesinden arama yaparlar.
- Olasılık içeren kurallar kullanırlar.
- Türev ve benzeri yardımcı bilgi kullanmazlar, yalnızca amaç fonksiyonu bilgisine gereksinim duyarlar.

Genetik algoritmaların arama yapısının anlaşılması için alt dizi kavramı kullanılmaktadır. Alt diziler, genetik algoritmaların davranışlarını açıklamak için kullanılan teorik yapılardır. Bir alt dizi, belirli dizi kümeleri arasındaki benzerliği tanımlayan bir dizidir. Alt diziler, $\{0, 1, *\}$ alfabesi kullanılarak tanımlanır. * sembolü dizinin o konumunun hangi değeri alıp almadığının önemli olmadığı anlamındadır. Dizi o konumda 0 veya 1 değeri alabilir. Alt dizilerin iki özelliği mevcuttur. Bu özellikler aşağıda verilmiştir (Goldberg, 1989: 29):

- Alt dizi derecesi : Bir H alt dizisinin derecesi $o(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan sabit konumların sayısıdır. Bu sayı ikili alfabede 0 ve 1 değerlerinin sayısının toplamına eşittir.
- Alt dizi uzunluğu : Bir H alt dizisinin uzunluğu $\delta(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan belirli ilk ve son konumlar arasındaki uzaklıktır.

Alt dizi derecesi ve alt dizi uzunluğu kavramlarının genetik algoritmaların temel teoreminde son derece önemli bir yeri vardır. Alt dizi derecesi düşük, alt dizi uzunluğu kısa olan diziler "yapı blokları (building blocks)" olarak adlandırılır. John Holland, genetik algoritmaların işleyişinde uygun yapı bloklarının tanımlanmasını ve bu yapı bloklarının daha uygun yapı blokları elde etmek amacıyla birleştirilmesini önermektedir. Bu fikir yapı blokları hipotezi olarak bilinmektedir. Genetik algoritmanın temel teoremi ise şöyle açıklanmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002: 131):

“Populasyon ortalamasının üstünde uyum gücü gösteren, kısa uzunluğa ve düşük dereceye sahip alt diziler zamanın ilerlemesi ile üstsel olarak çoğalırlar”.

İşletmelerde bir çok uygulama alanına sahip genetik algoritmalar, özellikle paralel arama ve başlangıç çözümünden bağımsız olma gibi çözüm yöntemini etkin ve hızlı kılan özellikleri nedeniyle kullanılmaktadırlar (İşlier, 2001: 145). Çalışmada yer alan dağıtım probleminin çözümünde de, yukarıda ifade edilen özellikleri nedeni ile çözüm yöntemi olarak seçilmiştir. Genetik algoritmanın akış diyagramı Ek 3’de verilmiştir.

IV) BİR KAĞIT ENDÜSTRİSİ İŞLETMESİNİN MEVCUT LOJİSTİK SİSTEMİNDEKİ DAĞITIM PROBLEMİ VE ÇÖZÜMÜ

Ele alınan işletmede lojistik faaliyetler, işletme bünyesinde bulunan lojistik planlama bölümü tarafından yürütülmektedir. İşletmenin lojistik sistemini iki alt sistem, tedarik alt sistemi ve fiziksel dağıtım alt sistemi olarak incelemek mümkündür. İşletme çeşitli firmalardan girdi temin etmektedir. İşletmeye girdi temin eden tedarikçiler kendi araç filolarıyla girdileri teslim etmektedirler. İşletme, fiziksel dağıtım faaliyetlerinde ise kendisine ait araç filosunu kullanmaktadır. Bu sisteme bakıldığında, işletmenin iki tip müşterisi olduğu görülmektedir. Birinci tip müşteriler, yüklü miktarlarda alım yapmakta olan müşterilerdir. Bunlar genellikle yurt dışına kuru gıda maddeleri ve tekstil mamulleri gönderen büyük işletmelerdir. İkinci tip müşteri grubu ise işletmeden küçük miktarlarda alım yapan müşterilerden oluşturmaktadır. İşletme, bu müşterilerin küçük miktarlardaki taleplerini az sayıdaki araçlarla karşılamaktadır.

Çalışmada ele alınan dağıtım problemi, ikinci tip müşteri grubunu içermektedir. Bu müşteri grubunun talepleri bellidir. Araçlar özdeş olup 150 m³’lük kapasiteleri mevcuttur. Problem klasik araç rotalama problemidir. Probleme mesafeler, 100x100’lük bir koordinat sisteminde yer alan işletmenin ve müşterilerin koordinatlarından Euclidean olarak hesaplanmıştır. İlgili veriler Ek 1’de verilmiştir. Müşterilerin verilen koordinatlara göre coğrafi alanda dağılımlarına bakıldığında üç ana kümede toplandıkları görülmektedir. Böyle durumlarda doğrudan araç rotalama problemini çözmek yerine, birinci aşamada bir klasik rota oluşturma yöntemi olan en yakın komşu yöntemi ile müşterileri kümelere ayırarak, ikinci aşamada ise etkin bir rota iyileştirme yöntemi kullanarak, problem iki aşamada çözülebilmektedir (Baker ve Ayechev, 2003: 789). Bunun için birbirine yakın müşterilerin kapasite ve talep kısıtları altında aynı rotaya dahil edilmesini sağlayan en yakın komşu yöntemi ile araç rotalama problemi çözülmüştür. Oluşan her bir rotanın hemen hemen problem çözümünden önceki kümeleneşmiş müşterileri içeren rotalar olduğu görülmüştür. Bundan dolayı gereksiz hesaplamalardan kaçınarak hızlı bir şekilde çözüme ulaşmak amacı ile tekrar

araç rotalama problemi üzerinde bir rota iyileştirme yöntemi uygulanmamıştır. Bunun yerine, her bir araç rotası bir gezgin satıcı problemi olarak ele alınıp genetik algoritma yöntemi ile iyileştirilmiştir.

En yakın komşu yönteminde, rota oluşturmaya depodan başlanır ve depoya en yakın müşteri rotaya, araç kapasite ve müşteri talep kısıtları sağlanırsa dahil edilir. Daha sonra rotaya eklenen bu müşteriye en yakın müşteri seçilir ve gene araç kapasite ve müşteri talep kısıtları sağlanırsa rotaya alınır. Bu prosedür, araç kapasite ve müşteri talep kısıtları ihlal edilene kadar devam eder. Sonra ikinci aracın rotasına dahil olacak müşteriler aynı prosedür ile seçilir. Tüm müşteriler araçlara atandıktan sonra işlem tamamlanır. Bu yöntem sonucunda oluşan araç rotaları aşağıdaki gibidir:

Birinci rota: 0-18-19-20-15-13-10-5-8-3-6-0 olup 109.15 km,

İkinci rota : 0-17-22-24-27-26-25-23-21-16-14-12-7-0 olup 108.03 km,

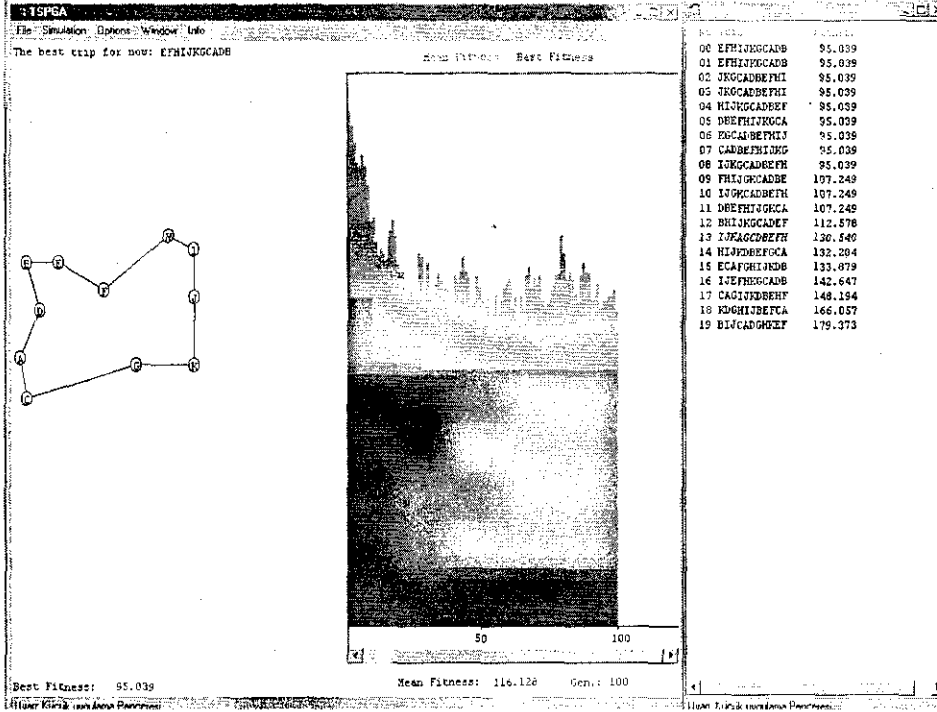
Üçüncü rota:0-9-2-4-1-11-0 olup 78.76 km'dir.

Gezgin satıcı problemlerinin çözümleri için gezgin satıcı problemine özgü bir genetik algoritma programı kullanılmıştır. Programda ekrana tüm müşteriler koordinatlarına göre yerleştirildikten sonra program, en az x koordinat değerine ve en fazla y koordinat değerine sahip düğümü A noktası ile simgelemektedir. Aynı mantık ile bu sıra B, C....diye devam etmektedir.

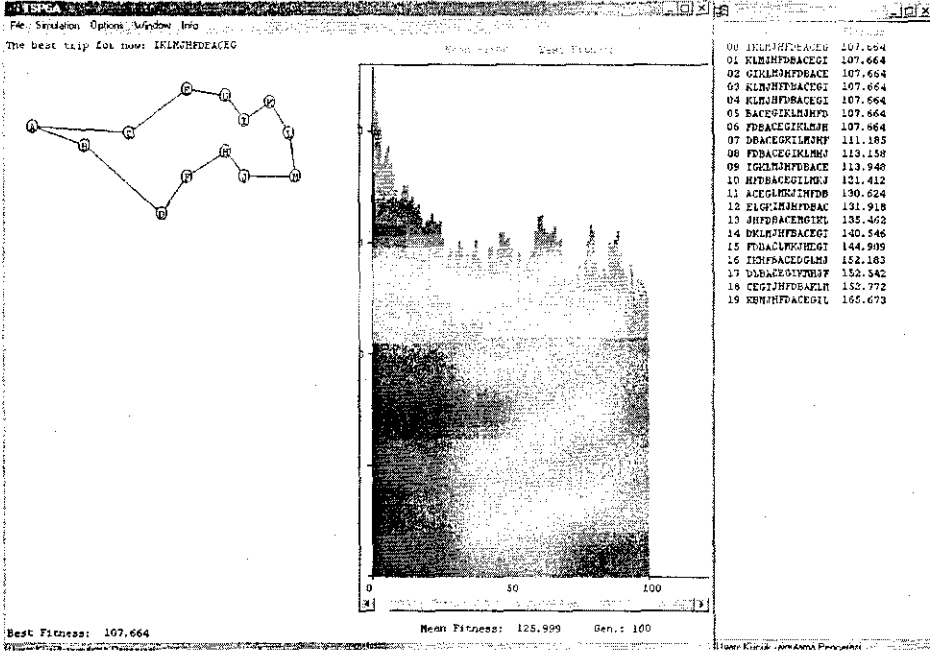
Genetik algoritmanın, gezgin satıcı problemine uygulanmasında ilk adım, çözüm uzayının belirli bir bölümünün kodlanmasıdır. Kodlama yöntemi olarak, rotalama problemlerinde yaygın olarak kullanılan permütasyon kodlama yöntemi kullanılmıştır. Talebi karşılanması gereken müşteri işletmelerin sırası kodlanmış bir çözümü göstermektedir. Genetik algoritmada bir popülasyon, bir jenerasyonda kodlanmış tüm çözümleri içerir. Problemden popülasyon büyüklüğü 20 alınmıştır. İlk popülasyonun oluşturulmasından sonra gelen adım ise uyum değerinin hesaplanmasıdır. Ele alınan problem için bu değer, her bir kodlanmış çözümdeki müşteri işletmeler arasındaki mesafelerin toplamıdır. Daha sonra bu popülasyona, genetik algoritmanın temel operatörleri olan seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanarak yeni bir popülasyon elde edilir. Yeni popülasyonun daha iyi bir popülasyon olması beklenir. Tüm bu adımlar bir durdurma kriteri sağlanana dek sürer.

Genetik algoritmalar parametrik bir yöntem olup her problem tipi için ayrı parametrelere sahiptir. Dolayısıyla gezgin satıcı problemine genetik algoritmanın uygulanmasında öncelikle uygun parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; çaprazlama oranı 0.70, mutasyon oranı 0.30 ve popülasyon büyüklüğü 20 alınmıştır. Kullanılan seçim operatörü turnuva seçimi yöntemidir. Tüm bu parametreler

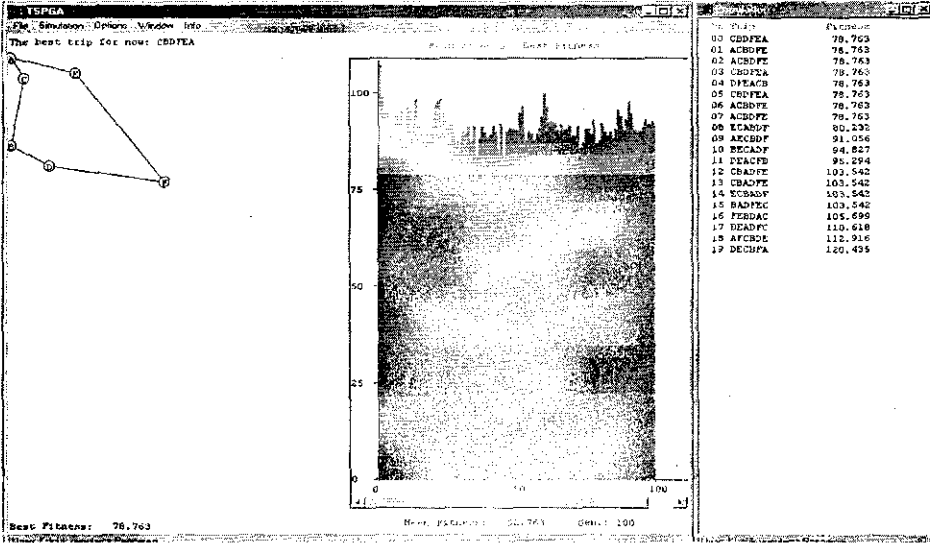
ilgili literatürden alınarak bu parametreler altında, çaprazlama ve mutasyon operatör çiftlerinin optimizasyonuna ilişkin bir deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın ayrıntılı sonuçları Ek 2'de verilmektedir. Gezgin satıcı probleminde en uygun çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin belirlenmesine yönelik çalışma sonucunda, en uygun parametre çiftlerinden birisi de OX çaprazlama operatörü ile yerleştirme mutasyon operatörü olarak bulunmuştur. Dolayısıyla birinci rota ve üçüncü rotanın genetik algoritma yaklaşımı ile çözümü için tekrar parametre çifti belirlenme yoluna gidilmemiştir. Bu operatör çiftleri hem birinci rotanın hem de üçüncü rotanın hesaplanmasında kullanılmıştır. Aşağıda tüm rotaların genetik algoritma ile çözümleri yer almaktadır:



Şekil : 1
Birinci Rotanın Genetik Algoritma Yöntemi ile Çözümü



Şekil : 2
İkinci Rotanın Genetik Algoritma Yöntemi ile Çözümü



Şekil : 3
Üçüncü Rotanın Genetik Algoritma Yöntemi ile Çözümü

Genetik algoritma yönteminin kullanılması sonucunda oluşan yeni araç rotaları aşağıdaki gibidir:

Birinci rota : 0 - 18 - 19 - 20 - 15 - 6 - 3 - 8 - 5 - 10 - 13 - 0

İkinci rota : 0 - 12 - 7 - 14 - 16 - 21 - 23 - 25 - 26 - 27 - 24 - 22 - 17 - 0

Üçüncü rota: 0 - 9 - 2 - 4 - 1 - 11 - 0

Genetik algoritma yönteminin iyileştirme için kullanılması sonucunda, birinci rotanın uzunluğu 95.03 km, ikinci rotanın uzunluğu 107,65 km ve üçüncü rotanın uzunluğu da 78,76 km olarak bulunmuştur. Sonuç itibarıyla toplam 14.49 km'lik bir iyileştirme elde edilmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada belirli bölgelerde kümelenmiş talep noktaları olan bir araç rotalama problemi için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Burada, müşterilerin coğrafi alana dağılımlarına bakıldığında belirli bölgelerde toplandıkları görülmüştür. Bu nedenle, birinci aşamada müşterileri birbirlerine olan yakınlıklarına göre kümelere ayırmak amacı ile klasik bir bulgusal yöntem olan en yakın komşu yöntemi kullanılmıştır. Problemin en yakın komşu yöntemi ile çözümü sonucunda üç ayrı araç rotası elde edilmiştir. Elde edilen rotaların da hemen hemen her birinin bir kümeyi kapsadığı görülmüştür. Bu neden ile çözülen araç rotalama problemi üzerinde bir rota iyileştirme yöntemi uygulamak yerine, hesaplama yükünün azaltılmasını sağlamak için her bir araç rotası ayrı bir gezgin satıcı problemi olarak ele alınıp çözülmüştür. Problemin ikinci aşamasında her biri, bir aracın rotası olan gezgin satıcı problemlerinin çözümü modern bulgusal yöntemlerden biri olan genetik algoritma yöntemi ile yapılmıştır. Genetik algoritmalar, paralel arama ve başlangıç çözümünden bağımsız olma gibi, yöntemi etkin ve hızlı kılan özellikleri nedeni ile kullanılmıştır.

Sonuç olarak, genetik algoritmanın tüm rotalar üzerinde iyileştirme yapmak üzere kullanılması ile önemli bir toplam iyileştirme elde edilmiştir. Müşterilerin belirli bölgelerde kümelenmediği araç rotalama problemleri için önerilen bu iki aşamalı çözüm yöntemi küçük ölçekli problemler için hesaplama yükü açısından çok fazla üstünlük sağlamamasına rağmen, büyük ölçekli problemler açısından bakıldığında önemli hesaplama yükü üstünlüğü sağlamaktadır. Geniş ve bölgesel dağıtım ağına sahip işletmeler için etkin bir çözüm yaklaşımı olduğu açıktır.

SONNOTLAR

¹ Literatürde gerçek zamanlı rotalama ve dağıtım problemleri adıyla da bilinmektedir.

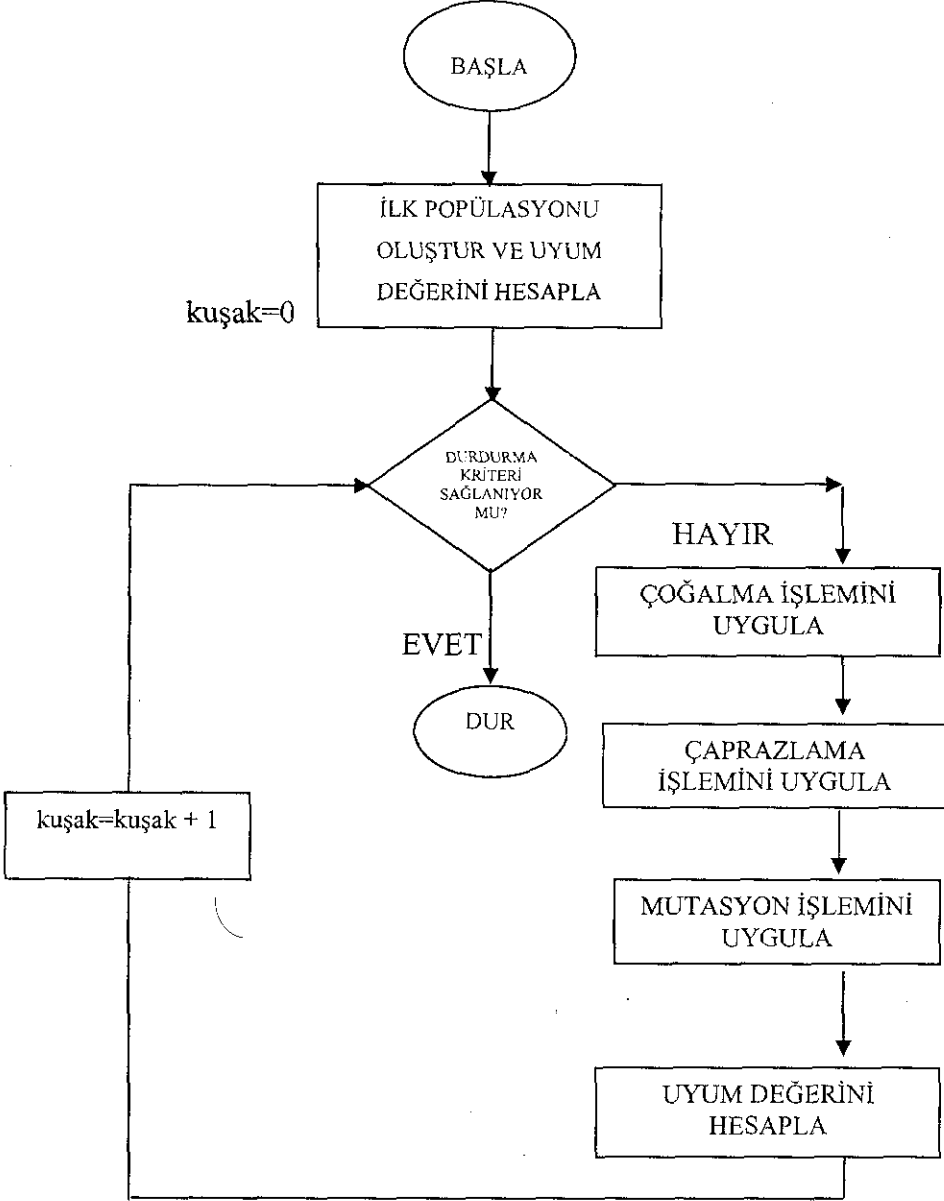
² Christofides'in test problemleri 50 ile 199 arası düğümü içermektedir.

³ Golden'in test problemleri 240 ile 420 arası düğümü içermektedir.

EKLER

Ek Şekil : 1

Genetik Algoritma Akış Diyagramı



Ek Tablo : 1

MÜŞTERİLER	X KOOR.	Y KOOR.	TALEP(m ³)
0	25	25	---
1	1	49	30
2	1	32	25
3	2	7	15
4	3	45	10
5	3	21	20
6	3	1	30
7	5	39	10
8	5	14	10
9	7	28	35
10	8	21	10
11	11	46	20
12	13	36	15
13	15	17	5
14	20	38	10
15	20	6	15
16	29	45	20
17	29	31	15
18	29	23	10
19	29	16	20
20	29	6	15
21	35	44	10
22	35	35	5
23	38	40	5
24	38	31	15
25	42	43	10
26	45	38	20
27	46	31	15

KAYNAKÇA

BAKER, Barrie M. and AYECHIEW, M.A. (2003), "A Genetic Algorithm for The Vehicle Routing Problem", *Computers & Operations Research*, Vol. 30, Issue: 2, pp. 787-800.

BREEDAM, Alex Van (2002), "A Parametric Analysis of Heuristics for The Vehicle Routing Problem with Side-Constraints", *European Journal Of Operational Research*, Vol.137, Issue:2, pp. 348-370.

CRAINIC, Gabriel Teodor and LAPORTE, Gilbert (1998), *Fleet Management and Logistics*, Kluwer, USA.

DEB, Kalyanmoy (1998), "Genetic Algorithm in Search and Optimization: The Technique and Applications".

EMEL, Gül Gökay ve TAŞKIN, Çağatan (2002), "Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları", *Uludağ Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, Cilt: 21, Sayı: 1, ss. 129-152.

EMEL, Gül Gökay; TAŞKIN, Çağatan ve DENİZ, Gökhan (2004), "Tedarik Zinciri Yönetimi: Bir Araç Rotalama Uygulaması", *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Öneri Dergisi*, Cilt:6, Sayı:21, ss. 59-70.

FISHER, Marshall L. (1994), "Optimal Solution of Vehicle Routing Problems Using Minimum K-Trees", *Operations Research*, Vol.42, No:4, pp. 626-642.

FISHER, Marshall L.; JÖRNSTEN, Kurt O. and MADSEN, Ole B.G. (1997), "Vehicle Routing with Time Windows: Two Optimization Algorithms", *Operations Research*, Vol.45, No:3, pp. 488-492.

GENDREAU, Michael; LAPORTE, Gilbert; MUSARAGANYI, Christophe and TAILLARD, Éric D. (1999), "A Tabu Search Heuristic for The Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem", *Computers & Operations Research*, Vol.26, Issue:12, pp. 1153-1173.

GHIANI, Gianpaolo; GUERRIERO, Francesca; LAPORTE, Gilbert and MUSMANNO, Roberto (2003), "Real-Time Vehicle Routing: Solution Concepts, Algorithms and Parallel Computing Strategies", *European Journal of Operational Research*, Article In Press.

GOLDBERG, David E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., USA.

İŞLİER, A. Atilla (2001), "Üretim Hücrelerinin Bir Genetik Algoritma Kullanılarak Oluşturulması", *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt:2, Sayı:1, ss. 137-157.

JANG, J. S. R. (1997), *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, Prentice-Hall, USA.

LAPORTE, Gilbert; GENDREAU, Michael; POTVIN, Jean-Yves and SEMET, Frederic (2000), "Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem", *International Transactions In Operational Research*, Vol.7, Issues: 4-5, pp. 285-300.

PRINS, Christian (2003), "A Simple And Effective Evolutionary Algorithm for The Vehicle Routing Problem", *Computers & Operations Research*, Article In Press.

TAN, K. C.; LEE, L.H.; ZHU, Q.L. and OU, K. (2001), "Heuristic Methods for Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 15, Issue: 3, pp. 281-295.

TAŞKIN, Çağatan (2003), *Araç Rotalama Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Bir Uygulama*, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

TOTH, Paolo and VIGO, Daniele (2002), "Models, Relaxations and Exact Approaches for The Capacitated Vehicle Routing Problem", *Discrete Applied Mathematics*, Vol.123, Issue:1-3, pp. 487-512.

TUNG, Dang Vu and PINNOI, Anulark (2000), "Vehicle Routing-Scheduling for Waste Collection in Hanoi", *European Journal of Operational Research*, Vol. 125, Issue: 3, pp. 449-468.

YENİAY, Özgür (2001), "An Overview of Genetic Algorithms", *Anadolu University Journal of Science and Technology*, Vol:2, No:1, pp. 37-49.