

Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Modeller*

Genetic Algorithm Based Approaches for Planning Warehouse Operations

Yusuf ŞAHİN

Endüstri Yük. Müh., Süleyman Demirel Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, Doktora Öğrencisi, (yusufytu@gmail.com)

Osman KULAK

Prof. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, (okulak@pau.edu.tr)

ÖZ

Anahtar Kelimeler:

Sipariş Toplama,
Sipariş Gruplama,
Genetik Algoritma

Günümüzde depo operasyonlarının etkin olarak yönetilmesi firmalarının en önemli hedeflerinden birisidir. Operasyonların yönetilmesi sırasında yoğun olarak iki tip problemle karşılaşmaktadır. Bunlardan birincisi sipariş hazırlıklarına yönelik siparişlerin gruplandırılması, ikincisi ise gruplanan siparişlere ait toplama aracı rotasının belirlenmesidir. Firmalarının etkin ve ekonomik sipariş toplama planlarını oluşturabilmeleri için bu problemlerin eş zamanlı olarak çözümleri gerekmektedir. Bu çalışmada, özellikle çapraz geçitli depo sistemleri için sipariş gruplarını ve ilgili gruplara ait araç rotalarını birlikte çözen kümeleme esaslı Genetik Algoritma-En Yakın Komşu ve Genetik Algoritma - Kazanç isimli genetik algoritma esaslı yeni yöntemler önerilmektedir. Yöntemlerin etkinliğini belirlemek için farklı sipariş sayısı, ağırlık ve toplama koordinatlarını içeren deney problemleri rastsal olarak oluşturulmuş ve test edilmiştir.

ABSTRACT

Keywords:

Order Picking,
Order Batching,
Genetic Algorithm

Nowadays one of the most important aims of the companies is to manage warehouse operations effectively. During the management of warehouse operations two types of problems are experienced densely. First one is to define order batches and second one is to determine a suitable vehicle route for batched orders. In order to prepare effective and economic distribution plans, these problems should be solved by companies simultaneously. In this study, novel cluster-based genetic algorithm approaches namely Genetic Algorithm-Nearest Neighbor (GANN) and Genetic Algorithm-Saving (GAS) are proposed to solve order batching and vehicle routing of relevant batch for cross aisle warehouse systems especially. To evaluate the performances of the proposed methods, various problem instances including the number of order, weight and picking coordinates are generated randomly and tested.

1. GİRİŞ

Ürünlerin nihai tüketiciye ulaştırılabilmesi için hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin fiziksel olarak belirli bir yerden diğer bir yere taşınmaları gerekir. Arz ve talep noktası arasında yapılan bu taşıma işlemleri sırasında talep gelinceye kadar ürünler belli noktalarda bekletilirler. Müşteriden istek gelinceye kadar bekledikleri bu noktalar depolardır. Günümüzde depolar, sadece ürünlerin saklandığı ve depolandığı alanlar olmanın yanında, kabul ve raflara yerleştirme proseslerinden oluşan giriş işlemleri ile sipariş toplama, kontrol, paketleme ve sevkiyat proseslerinden oluşan çıkış işlemlerinin de gerçekleştirildiği işletme birimleridir. Başarılı bir depo yönetimi, müşteri ihtiyaçlarının, depo alanı kullanımının, stok düzeyinin, depo ve dağıtım maliyetlerinin, yeni bilgi teknolojilerinin sağlıklı bir şekilde yönetilmesiyle mümkün olabilmektedir.

Etkin bir depo yönetimi için hammadde, yarı mamul veya ürünün en uygun şekilde depolanması ve istek olması durumunda gerekli zamanda hazırlanabilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle, siparişlerde yer alan parçaların depodan hızlı bir şekilde çekilmesi gereken durumlarda toplama işleminin verimli bir şekilde yapılması depo yönetiminin etkinliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Siparişte yer alan parçaların depodaki özel stok alanlarından alınarak, sevkiyat noktasına getirildiği sipariş toplama faaliyeti, tedarik zincirinin esnekliğine büyük oranda etki ettiği için gerçekleştirilen faaliyetler içerisinde en kritik olanıdır. Sipariş toplama, insanlar tarafından gerçekleştirildiği depolarda yüksek işçilik maliyeti, otomatik olarak

* Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği A.B.D'da hazırlanan "Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Bir Model" isimli yüksek lisans tezinden güncel literatür eklenerek derlenmiştir. Çalışma 2009 yılında Yöneyim Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXIX. Ulusal Kongresinde bildiri olarak sunulmuştur.

yapıldığı depolarda ise yüksek ilk yatırım maliyeti gerektiren bir faaliyettir (Goetschalckx ve Ashayeri, 1989; 99). İlk yatırım maliyetinin düşük olması nedeniyle sipariş toplamının insanlar tarafından gerçekleştirildiği depolar (picker-to-part) daha yaygın kullanıma sahiptir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sipariş toplama bir depodaki toplam işçilik maliyetinin yaklaşık %40-%60'lık kısmını karşılık gelir (Miller, 2004; 2). Bir depo için, sipariş toplama maliyeti toplam depo maliyetinin %55'lik kısmını oluşturmaktadır (Roodbergen ve De Koster, 2001a; 32). Bazı çalışmalarda bu oranın %60-65 düzeyinde olduğu belirtilmektedir (Hen ve diğerleri, 2010, s. 82; Drury, 1988; Coyle ve diğerleri, 1996). Dolayısıyla, maliyetleri düşürmek isteyen depo yöneticileri ve depo konusunda çalışmalar yapan akademisyenler açısından sipariş toplama faaliyeti dikkat çekici bir maliyet kalemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sipariş gruplama, bir turda birlikte toplanması gereken siparişlerin belirlendiği problem olup, dolaşım mesafesini ve depo maliyetlerini azalttığı için depo operasyonları yönetiminde önemli bir etkinliğe sahiptir. Literatür incelendiğinde sipariş gruplama probleminin çözümüne yönelik birçok sezgisel yöntemin önerildiği görülmektedir. Van den Berg (1999) gruplama problemi için geliştirilen sezgisellere yönelik bir araştırma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada incelenen birçok yöntemde, başlangıçta bir çekirdek sipariş seçilmekte ve diğer siparişler bu siparişe olan yakınlıklarına göre araç kapasitesini aşmayacak şekilde gruba atamaktadır.

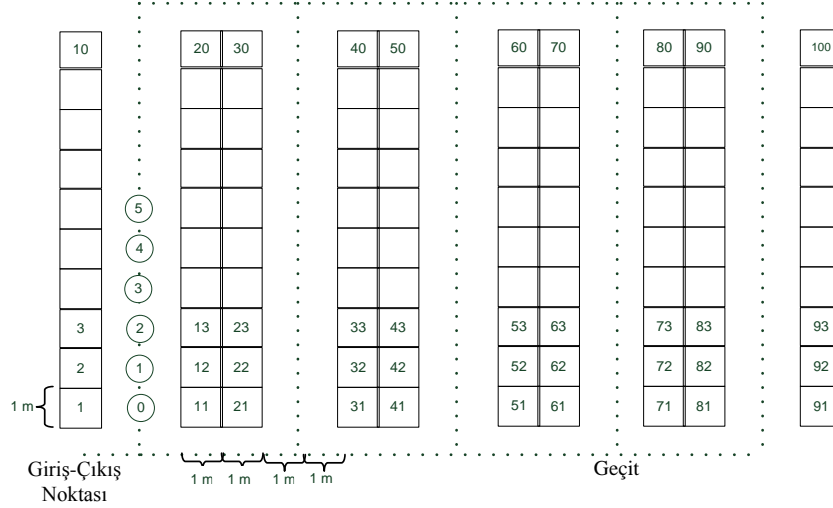
Sipariş sayısının fazla olmadığı durumlar için sipariş gruplama probleminin çözümüne yönelik olarak literatürde çeşitli matematiksel modeller yer almaktadır. Roodbergen ve Koster (2001a), paralel geçitli depo sisteminde ortalama sipariş toplama zamanının optimizasyonu için dinamik programlama esaslı bir algoritma önermiştir. Roodbergen ve de Koster (2001b), çapraz geçitli depo sistemlerinde iki veya daha çok paralel geçit bulunması durumunu ele almış ve en kısa sipariş toplama rotasının belirlenmesi için dal ve sınır algoritmasını kullanmışlardır. Gademann ve diğerleri (2001), herhangi bir sipariş grubunun maksimum hazırlık zamanını minimum yapmak için bir dal-sınır algoritması önermişlerdir. Dal-sınır algoritması için başlangıç üst sınır 2-opt sezgiseli ile belirlenmiştir. Bozer ve Kile (2008), yürü ve topla (walk-and-pick) esaslı sipariş gruplama probleminin bazı özel durumları için karma tam sayılı bir matematiksel çözüm yöntemi önermiştir. Önerilen yöntem Ruben ve Jacobs (1999) ve Koster ve diğerleri (1999) tarafından önerilen iki farklı sezgisel yöntemle karşılaştırılmıştır. Nieuwenhuys ve Koster (2009), depo yöneticilerinin sipariş toplama ile ilgili kararlarının ortalama müşteri siparişi çıktısına etkisini araştırmak için zaman kısıtlı sipariş gruplama ve toplama probleminin yönelik matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bukchin ve diğerleri (2012), dinamik, sınırlı ve dar bir çevrede sipariş gecikmeleri ile sipariş toplayıcıların fazla mesai maliyetlerini minimize etmek için Markov Zinciri esaslı bir yaklaşım önermişlerdir. Pan ve diğerleri (2012), senkronize edilmiş bir alanda, toplayıcının parçaya gittiği (picker-to-part) sipariş toplama sistemi için sipariş gruplama ve toplama alanı bölgelendirmenin (picking area zoning) ortalama çıktı zamanına etkisini analiz etmek üzere olasılık ve kuyruk ağı teorisini kullanmışlardır.

Depo içi operasyonların etkinliği için analitik yöntemlerin yanı sıra simülasyon esaslı çalışmalar da yapılmıştır. Chew ve Tang (1997), sipariş gruplama ve depo yeri tahsis etme stratejilerini analiz eden bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde, siparişler müşteri esaslı gruplanmakta ve toplanması için bir simülasyon modeli kullanılmaktadır. Lin ve Lu (1999), sipariş toplama stratejilerini belirlemek için simülasyon esaslı bir yöntem geliştirmiştir. Siparişler analitik bir yöntemle gruplara ayrıldıktan sonra her bir sipariş grubuna uygun toplama stratejisi simülasyon ile gerçekleştirilmektedir. Petersen ve Aase (2004), sipariş toplama mesafesini etkileyen farklı toplama, depolama ve rotalama stratejilerini karşılaştırmak için simülasyon esaslı bir model geliştirmiştir. Bu çalışmada özellikle grup esaslı toplama stratejisinin daha iyi sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir. Hsieh ve Tsai (2006), sipariş toplamaya etki eden atama, toplama rotası ve sipariş birleştirme ile ilgili farklı politikaları değerlendiren simülasyon esaslı bir yöntem önermiştir. Ayrıca Roodbergen ve Vis (2006), farklı iki rotalama politikası için ortalama rota uzunluğunu hesaplayan analitik bir yöntem önermiştir. Analitik yöntemin sonuçları ile simülasyon çalışmasının sonuçları karşılaştırılmıştır. Yu ve de Koster (2008), topla ve geç (pick-and-pass) tipi sipariş toplama sistemini Whitt'in kuyruk ağı analizcisini kullanarak G/G/m kuyruk tipi şeklinde modelleyerek analiz etmişlerdir.

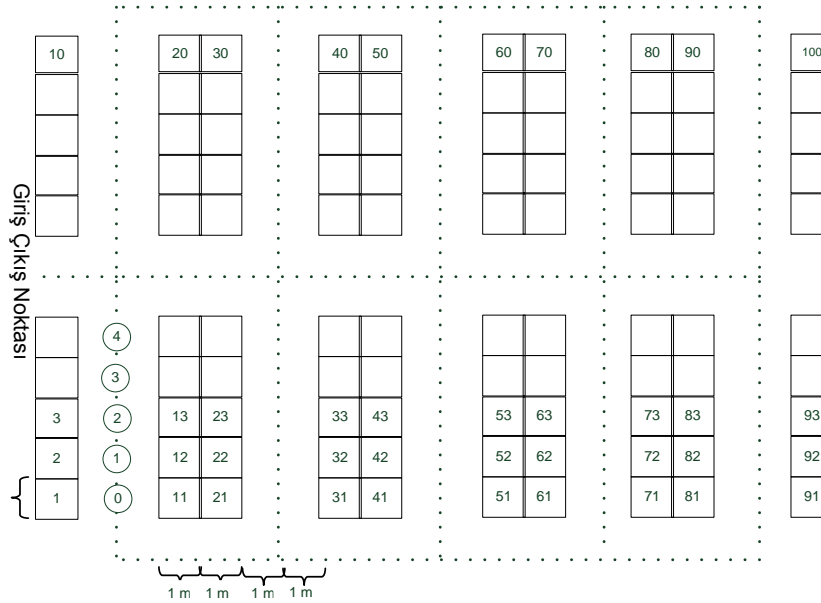
Son yıllarda sipariş gruplama ve siparişlere ait rotaların oluşturulması için farklı metaheuristikler geliştirilmiştir. Won ve Olafsson (2005), sipariş gruplama ve araç rotalama problemlerini hiyerarşik olarak çözen iki sezgisel yöntem önermişlerdir. Yazarlar sadece araç kullanım etkinliği ve sipariş toplama zamanı ile belirlenen depo verimliliğini artırmaya değil, aynı zamanda müşteri cevap süresinin optimizasyonunu da sağlamaya çalışmışlardır. Hsu ve diğerleri (2005), klasik depo sistemleri için sipariş gruplarını oluşturan ve dolaşım mesafesi ölçütünü kullanan genetik algoritma (GA) esaslı bir çözüm yöntemi (GABM) önermiştir. Bu çalışmada gruplara ait rotalama S-şekilli rotalama yöntemi ile sağlandığı için etkin olmayan rotalar oluşturulmaktadır. Tsai ve diğerleri (2007), depo içi operasyonlarının optimizasyonu ile ilgili GA esaslı bir yöntem önermiştir. Sipariş grupları ve bu gruplara ait depo içi rotaların belirlenmesi için birbiri ile ilişkili iki farklı GA ile geliştirilmiştir. Rotaların belirlenmesi için de GA uygulanması nedeniyle zaman performansı düşük çözümler elde edilmiş, bunu tolare etmek için çok büyük problem kümeleri için dahi popülasyon hacmini 20 kromozom olarak belirlemiştir. Henn ve diğerleri (2010), sipariş gruplama toplama problemlerine yönelik olarak İteratif Lokal Arama (Iterated Local Search) ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization) esaslı iki sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Hsieh ve Huang (2011), sipariş toplama ve gruplama problemleri için *K-means Batching* (KMB) ve *Self-organisation Map Batching* (SMB) isimli iki sezgisel önermişlerdir. Bottani ve diğerleri (2012), sipariş toplayıcının seyahat süresini düşürerek sipariş toplama verimliliğini artırmak için depo içerisine parça atamalarını yapmak için GA esaslı bir yöntem önermişlerdir. Henn ve

Wäscher (2012), manuel sipariş toplama sistemi için tabu arama ve özellik esaslı tırmanış araması (hill climbing) algoritmalarının kullanıldığı iki yöntem sunmuş ve yöntemlerin performanslarını literatürdeki mevcut yöntemlerle karşılaştırmışlardır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, mevcut çalışmaların klasik depo yerleşimine yönelik olduğu görülmektedir. Çapraz geçitlerin sipariş toplamaya etkisini analiz etmeye yönelik çalışmalar olsa da, yapılan bu çalışma ile literatürde ilk defa sipariş gruplama ve araç rotalama problemlerini çapraz geçitli depo sistemleri için etkin olarak eş zamanlı çözen yeni yöntemler geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan klasik ve çapraz geçitli depo yerleşimleri Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 1 Klasik Depo Yerleşimi



Şekil 2 Çapraz Geçitli Depo Yerleşimi

3. SİPARİŞ GRUPLAMA VE TOPLAMA PROBLEMLERİ

Sipariş gruplama, bir turda birlikte toplanması gereken siparişlerin belirlenerek dolaşım mesafesini ve depo maliyetlerini azalttığı için depo operasyonları yönetiminde önemli bir etkinliğe sahiptir. Grup, tek bir turda toplanacak olan siparişlerin kümesini ifade eder. Grup içerisinde yer alan siparişlere ait parçaların ağırlıkları toplamı, toplama aracının kapasitesini aşmaması gerekir. Ayrıca, birbirine yakın olan toplama noktalarında yer alan siparişlerden büyük gruplar elde ederek aynı zamanda sistemin çıktısı da maksimize edilmiş olur. Ancak, gruba atanacak siparişin seçiminde sadece parçaların birbirine yakınlığının dikkate alınması, depo içerisinde yer alan geçitlerin uzak noktalarında bulunan siparişlerin hazırlanışının gereğinden fazla gecikmesine yol açabilir.

ŞAHİN-KULAK

Geleneksel bir depo ortamında sipariş toplama problemi, bir tur veya gruba ait olan siparişlerin içerisinde bulunan parçaların depolandığı noktalardan alınırken izlenecek olan ziyaret sırasını belirleme problemidir ve bu özelliği nedeniyle Gezgin Satıcı Problemi (GSP) olarak ele alınır. Bu GSP problemi, “sipariş toplayıcı veya toplama aracının, tur veya grupta yer alan siparişlere ait ürünleri ilgili alanlardan toplaması” şeklinde ifade edilebilir. Giriş-çıkış veya yükleme-boşlatma noktasında başlamak üzere, toplayıcı özel bir sıraya göre listede yer alan siparişleri toplayıp grupladıktan sonra tekrar giriş-çıkış noktasına geri döner. Depo yöneticileri, depo sisteminin çıktı miktarını artırabilmek için bir tur veya grupta bulunan siparişlerin toplanması için gerekli olan süreyi minimize etme adına en uygun sırayı belirlemeye çalışmaktadırlar

Depo içi operasyonların yönetimi ile ilgili sipariş gruplama probleminin formülasyonu;

Karar Değişkenleri ve Parametreler:

$$X_k^b = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ siparişi } b \text{ grubuna atanırsa,} \\ 0, & \text{aksi takdirde,} \end{cases}$$

$$Y_{pl}^b = \begin{cases} 1, & \text{eğer } b \text{ grubunda } p \text{ noktası } l \text{ noktasından hemen sonra ziyaret ediliyorsa,} \\ 0, & \text{aksi takdirde,} \end{cases}$$

C: Araç kapasitesi

w_k : k siparişinin ağırlığı

d_{pl}^b : p ve l noktaları arasındaki mesafe,

n: Sipariş sayısı

S_k : k siparişinin hazırlık süresi

MS_b : b grubu için maksimum hazırlık süresi

$$\min Z = \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^m \sum_{l=1}^m d_{pl}^b y_{pl}^b \quad (1)$$

ş.k.a.

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq l}}^m y_{pl}^b = 1 \quad \forall l, \forall b \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq p}}^m y_{pl}^b = 1 \quad \forall p, \forall b \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^n w_k X_k^b \leq C \quad \forall b \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^n S_k X_k^b \leq MS_b \quad \forall k, \forall b \quad (5)$$

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq l}}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq p}}^m y_{pl}^b = \sum_{k=1}^n w_k X_k^b, \quad \forall b \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^n X_k^b = 1 \quad \forall b \quad (7)$$

$$y_{pl}^b X_k^b = 0 \text{ veya } 1 \quad (8)$$

(2) ve (3) numaralı kısıtlar her bir tur veya grubun tam olarak iki bitiş noktası olduğunu göstermektedir. (4) numaralı kısıt bir grupta yer alan siparişlerin ağırlıkları toplamının toplama aracının kapasitesini geçmeyeceğini ifade etmektedir. (5) numaralı kısıt hazırlık süresi ile ilgilidir. Bir grupta yer alan siparişlerin hazırlık süreleri toplamı grup için önceden belirlenmiş maksimum hazırlık süresini geçemez. (6) numaralı kısıt ziyaret edilecek nokta sayısı ile toplanacak parça sayısının eşit olması gerektiğini göstermektedir. Son olarak (7) numaralı kısıt ise her bir siparişin sadece bir grup içerisinde bulunacağını garanti etmektedir.

4. YÖNTEM

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Genetik algoritmalar diğer klasik arama tekniklerinden farklı olarak, topluluk olarak adlandırılan başlangıç rastsal çözümler kümesi ile çözüme başlarlar (Gen ve Cheng, 2000; 1). Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde nüfus adını alır. Nüfuslar vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir.

Mevcut problem için bir çözümü temsil eden topluluktaki her bir birey kromozom olarak adlandırılır. Kromozomlar bir dizi kısımlardan oluşur ve her bir kısım gen olarak ifade edilmektedir. Kromozomlar başarılı iterasyonlar vasıtası ile evrim geçirirler ve yeni nesilleri oluştururlar. Her bir nesil ya da iterasyon için, topluluktaki her bir kromozom uygunluk fonksiyonu (fitness function) ile değerlendirilir. Çocuk (offspring) olarak adlandırılan yeni kromozomlar hem çaprazlama (crossover) operatörü kullanılarak mevcut nesildeki iki kromozomun eşleştirilmesi, hem de mutasyon (mutation) kullanılarak bir kromozomun modifikasyonu ile ortaya çıkarılırlar. Aile (parent) kromozomlarının ve oluşturulan çocukların bir kısmı uygunluk değerlerine göre seçilir. Geri kalanlar topluluk hacminin sabit tutulması için elenir. Bu uygulama sonucunda yeni bir nesil oluşturulur. Belli bir iterasyon sonucunda ilgili probleme en iyi çözüm üreten kromozomun ortaya çıkması sağlanır.

4.1. Çözümün kodlanması

Kodlama GA'nın en önemli kısmını oluşturmaktadır. Probleme GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması gerekir. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması çok önemlidir. Daha önce belirtilen problemleri birlikte çözmek için, grup numarası esasına dayanan bir kromozom yapısı oluşturulmuştur. Her genin pozisyonu bir sipariş karşılık gelirken, genin içerisinde yer alan sayı grup numarasını ifade etmektedir. Burada grup numarası, ilgili gruba karşılık gelen siparişleri bir araya getirmek için kullanılmıştır. Bu çalışma ile önerilen grup numarası bazlı kromozom gösterimi Şekil 3'te gösterilmektedir. Bu örnekte kromozom 3 grup ve 10 sipariştten oluşmaktadır. {2,4,7,9} numaralı siparişler 1 numaralı gruba, {3,6,8} numaralı siparişler 2 numaralı, {1,5,10} numaralı siparişler 3. gruba atanmıştır.

Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grup No	3	1	2	1	3	2	1	2	1	3

Şekil 3 Grup numarası gösterimine dayalı kromozom yapısı

4.2. İlk Nüfusun Oluşturulması

Genetik algoritma kullanılarak yapılan çalışmalarda, başlangıç topluluğu olarak bilinen ve rastsal olarak belirlenmiş büyük bir kromozom kümesi ile çözüme başlar. Başlangıç çözümü, genetik algoritmanın çözüme ulaşmasında çok önemli bir etkidir. Bu nedenle probleme uygun bir "başlangıç nüfusu oluşturma yöntemi" seçilmelidir. Çok iyi uygunluk değerine sahip bir kromozomun başlangıç çözümünde üretilmesi rastsallıktan dolayı oldukça zordur. Bu yüzden, başlangıç nüfusunun ¼'lük kısmı geliştirilen Rota Benzerlik Metodu (Route Similarity Method) ile oluşturulurken geri kalan kısmı rastgele olarak oluşturulmuştur. Önerilen çözüm yönteminde, daha iyi uygunluk değerine sahip olan başlangıç nüfusunun yarısı GA popülasyonu olarak seçilir.

Rota Benzerlik Metodu, rota benzerlik durumuna göre bazı pozisyonları küme merkezi olarak seçer ve kalan siparişleri bu kümelerle pişmanlık değerlerine (regret value) göre atar. Önerilen kümeleme metodunun adımları şu şekildedir;

Adım 1: Her bir sipariş (O_i) için En Yakın Komşu Algoritmasını kullanarak alt siparişlerin rotasını (R_i) belirle.

Adım 2: Her bir sipariş (O_i) için rota mesafesini (D_i) hesapla.

Adım 3: Her bir sipariş (O_i) için yoğunluk indeksi (DI_i)'yi belirle.

$$NS_i = i \text{ siparişi içindeki alt siparişlerin sayısı}$$

$$DI_i = \left[\frac{D_i}{NS_i} \right]$$

Adım 4: Azalan değere göre yoğunluk indeksi değerlerini (DI_i) sırala.

Adım 5: İlk olarak her bir siparişi çekirdek sipariş (S_i) olarak belirle ve diğer siparişleri her bir çekirdeğe atadıktan sonra aşağıdaki eşitliğe göre rota benzerlik faktörünü hesapla.

$$S_{ij} = \left[\frac{D_i}{D_{yeni}} \right]$$

S_{ij} : S_i çekirdek siparişine j siparişi eklendiğinde oluşan yeni benzerlik faktörü.

ŞAHİN-KULAK

D_i : Çekirdek sipariş (S_i) içerisindeki alt siparişlerin rota mesafesi,

D_{yeni} : j siparişi i çekirdek siparişine atandıktan sonra oluşan yeni rota mesafesi,

Adım 6: S_{ij} değerlerini azalan sıraya göre sırala ve daha iyi benzerlik değerleri için yeni O_i-O_j çiftleri oluştur.

Adım 7: O_i-O_j çiftleri için yoğunluk indeksini tekrar hesapla. Küçük yoğunluk indeksine sahip siparişler daha yüksek seçim şansı bulacak şekilde seçim olasılığı değerlerini (p_i) belirle.

Adım 8: O_i-O_j çiftlerini grup sayısı kadar rastgele seç.

Adım 9: Bütün siparişleri, araç kapasitesi ve pişmanlık değerlerine göre en yakın küme merkezlerine ata. O_i 'ye ait pişmanlık değeri, 8. adımda tanımlanan küme merkezlerinden kendisine en benzer olan sipariş merkezi ile ikinci en benzer küme merkezi arasındaki farkı ifade etmektedir.

Adım 10: Adım 8 ve 9'u başlangıç nüfusunun $\frac{1}{4}$ 'lük kısmı oluşturuluncaya kadar tekrar et.

4.3. Uygunluk Fonksiyonu

Geliştirilen GA'da uygunluk fonksiyonu oluşturulan gruplara ait rotaların toplam mesafesi olarak belirlenmiştir. Tüm kromozomlar içerisinde rotaların toplam mesafesini en az yapan kromozom en iyi çözüm olarak değerlendirilir. Her bir sipariş grubuna ait rota kısa sürede çözüm veren Kazanç ve En Yakın Komşu yöntemleri ile belirlenmiştir. Ayrıca gruba atanan siparişlerin hazırlık süreleri toplamı aracın hazırlanması için önceden tanımlanmış süreden fazla ise ceza uygulaması yapılmaktadır. Buna göre geliştirilen çözüm yöntemi için uygunluk fonksiyonu;

$$F_i = \sum_{j=1}^k D_j + P \quad \text{şeklinde ifade edilmiştir.}$$

k: Oluşturulan sipariş grubu sayısı ($i=1,2,3,\dots,k$)

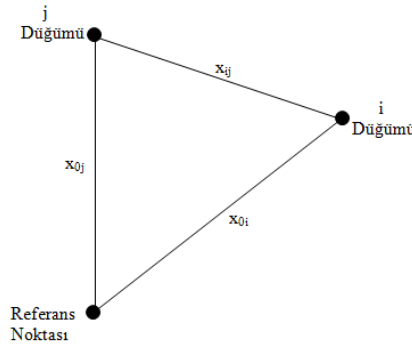
D_j : j. sipariş grubu için depo içi dolaşım mesafesi ($j=1,2,3,\dots,k$)

P: Ceza (Penalty) Değeri

F_i : Uygunluk Fonksiyonu

4.3.1. Kazanç Sezgiseli

Clarke ve Wright (1964) tarafından geliştirilen kazanç algoritması, en fazla kazancın sağlanacağı rotanın tespiti için kullanılan, karşılaştırmalı bir yöntemdir. Alınan bir başlangıç noktasından itibaren (bu çalışmada giriş çıkış noktası), bitişin tekrar başlangıç noktası olduğu en kazançlı çevrimin hesaplanması için kullanılır.



Şekil 4. Kazanç algoritması

x_{0i} =referans noktası ile i düğümü arasındaki mesafe,

x_{0j} =referans noktası ile j düğümü arasındaki mesafe,

x_{ij} =i düğümü ile j düğümü arasındaki mesafe,

Bu verilere göre, i-j rotasındaki kazancımız şu şekilde bulunabilir;

$$S_{ij} = x_{0i} + x_{0j} - x_{ij} \quad \forall (i,j), i \neq j$$

4.3.2. En Yakın Komşu Algoritması

Araç rotalarının belirlenmesi için sıkça kullanılan diğer bir yöntem ise En Yakın Komşu (Nearest Neighbor) sezgiselidir. En yakın komşu sezgiseli, özellikle araç rotalama problemlerinde çözüm kurucu olarak görev yapan basit bir sezgisel yöntemdir. Bu yöntemin adımlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

Adım1: Başlangıç noktasından en kısa mesafeli dağıtım noktasını belirle.

Adım2: İlk dağıtım noktasından diğer dağıtım noktalarına olan mesafeyi belirle;

Adım3: Mevcut mesafeler arasında en kısa olanı seç ve ikinci dağıtım noktasını belirle,

Adım4: Tüm dağıtım noktaları tamamlanana kadar Adım 2 ve 3 ü tekrar et.

Adım5: Dağıtım noktalarının belirlenme sırasına göre dağıtım noktalarını birleştir ve rotayı göster.

4.4. Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması ve gelecek neslin oluşturulması

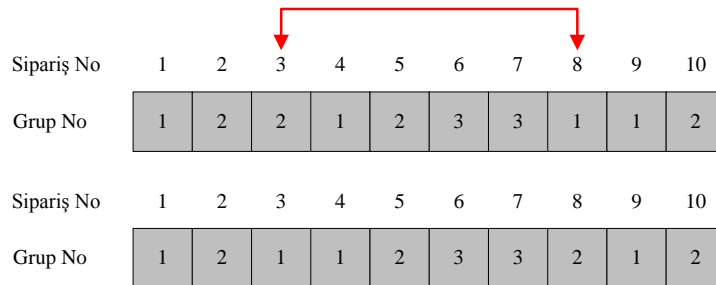
Eşleştirme süreci ile seçilmiş aile kromozomlarından bir ya da daha fazla çocuk üretilmesi amaçlanmaktadır. Her nesil için eşleştirme havuzu oluşturulmadan belirtilen süreç gerçekleştirilemez. Topluluk içinden eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomların belirlenmesi de GA'nın iyi performans vermesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomların belirlenmesi için σ -truncation (Goldberg, 1989) olarak adlandırılan uygunluk derecelendirme tekniği (fitness scaling technique) kullanılmıştır.

Yine çaprazlama operatörü uygulaması için eşleştirme havuzundan aile kromozom çiftlerinin belirlenmesi gerekir. Bu noktada kullanılan yöntemler, rulet tekeri, sıra esaslı ağırlıklandırma ve turnuva metotlarıdır.

4.5. Genetik Operatörler

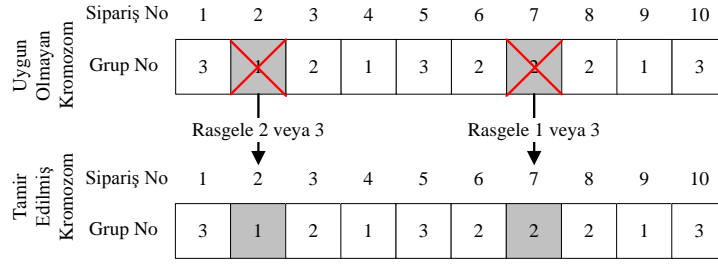
Genetik operatörler kullanılarak, uygunluk değeri daha iyi yeni çocuk kromozomların oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çeşitli çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmaktadır. Çaprazlama operatörü, iki aile kromozomun özelliklerini birleştirerek daha iyi uygunluk değerine sahip çocukların bulunması için kullanılmaktadır. Literatürde birçok çaprazlama yöntemi bulunmaktadır. Önerilen genetik algoritma esaslı sipariş gruplama çözümünde, uniform ve geliştirilmiş enjeksiyon çaprazlama yöntemleri uygulanmıştır.

Mutasyon operatörü olarak, ikili yer değiştirme, yer değiştirme, sağ ve sola rotasyon yöntemleri çalışmada kullanılmıştır. İkili yer değiştirme (swap) operatörünün örnek gösterimi Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5 İkili yer değiştirme operatörü

Bazı durumlarda, yeni oluşturulan kromozomlarda grupların dağıtım aracı kısıdını aştığı görülmektedir. Her kromozomun oluşturulmasından sonra bu kısıtları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. Şekil 6 tamir stratejisi ile ilgili bir örneği göstermektedir. 2 ve 7 numaralı siparişlerin 1 ve 2 numaralı gruplara atanması durumunda araç kapasitesi aşılmakta ve çözüm uygunsuz olmaktadır. Özellikle mutasyon operatörünü kullandıktan sonra bu şekilde çeşitli kısıtları karşılayamayan kromozomlar oluşmaktadır. Bu şekildeki kromozomların uygunsuzluğunu ortadan kaldırmak için tamir stratejisi uygulanır.



Şekil 6 Uygun Olmayan Sipariş-Grup Atamasının Tamir Edilmesi

4.6. Sonlandırma Koşulu

GA iterasyonlarını sonlandırmak için uygunluk fonksiyonu değeri ve üst zaman sınırı olmak üzere eş zamanlı iki sonlandırma koşulu kullanılmıştır. Eğer mevcut topluluktaki ortalama ve en iyi uygunluk fonksiyonu değerleri bir sonraki topluluktaki ilgili değerlere belirli bir iterasyon sayısı süresince eşit kalıyorsa GA arama süreci sonlandırılır. Ayrıca her bir deneyin gerçekleşme süresini kontrol altında tutmak için üst zaman sınırı da belirlenmektedir.

5. UYGULAMA

Deneyisel çalışma için hazırlanan sipariş listesinde, sipariş sayısı, ağırlık ve toplama koordinatları rastgele olarak oluşturulmuştur. Daha önceki bölümde sunulan GA yaklaşımları, Visual Studio.NET programlama dili ile kodlanmış ve hazırlanan program için bir ara yüz tasarlanmıştır. Ara yüz yardımıyla, depo özellikleri ve genetik algoritmaya ait parametreler programa yüklenerek 2 GB RAM belleği olan ve 2.0 Ghz işlemcili standart bir bilgisayarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ANOVA testleri neticesinde belirlenen en iyi parametre seti Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 2’de hazırlanan sipariş listelerinde yer alan siparişlere ait bilgiler yer almaktadır. Tabloda, siparişlerde bulunan toplam parça sayısı, siparişlerin toplam ağırlığı, toplama aracının kapasitesi, oluşturulabilecek minimum grup sayısı ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Tablo 1 Kullanılan parametre seti

Popülasyon Hacmi	Sipariş Sayısı
Çaprazlama Metodu	Uniform
Çaprazlama Oranı	90%
Mut. Yöntemi	Yer Değiştirme
Mut. Azalma Stratejisi	Üssel azalma
Mutasyon Oranı	10%
Mut. Azalma Oranı	50%
Elitizm Oranı	10%
Aile Seçim Metodu	Rulet Tekeri

Tablo 2 kullanılan deney setleri

	Sip. Sayısı	Top. Parça Sayısı	Top. Ağır. (kg)	Araç Kap. (kg)	Min. Grup Sayısı
DS1	100	345	298	20	15
DS2	200	694	594	25	24
DS3	250	873	744	30	30
DS4	300	1049	853	40	22
DS5	100	345	298	20	15
DS6	200	694	594	25	24
DS7	250	873	744	30	30
DS8	300	1049	853	40	22

İlk etapta, önerilen GA esaslı yöntemlerin (GAS, GANN) etkinlikleri, Chen ve arkadaşları (2005) tarafından geliştirilen GABM (Genetic Algorithm-S-Shape) yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için klasik depo yerleşimi ile birlikte DS1-DS4 arasında bulunan sipariş listeleri kullanılmıştır. İkinci etapta, DS5-DS8 arasında yer alan sipariş listeleri kullanılarak, çapraz geçitli depo yerleşiminde hem iki hem de üç boyutlu durumlar için deneyler gerçekleştirilmiştir.

Klasik depo yerleşiminde, birbirine paralel geçitler ve bu geçitler arası geçişi sağlayan ön ve arka çapraz geçitler bulunmaktadır (bakınız Şekil 1). Çapraz geçitli depo yerleşiminde ise, klasik yerleşimde bulunan geçitlerin yanı sıra paralel geçitler arasında alternatif geçişlere olanak sağlayan 1 çapraz geçit daha bulunmaktadır (bakınız Şekil 2). Rafların ölçüleri her iki depo gösterimi içinde aynı alınmış olmasına rağmen, istenildiği takdirde hazırlanan programda depo ile ilgili bölüme farklı bilgilerin girilmesi suretiyle değişik depo yerleşimleri elde edilebilmektedir. Deneylerde kullanılan depo yerleşimlerine ilişkin bilgiler Tablo 3’de gösterilmiştir. Sipariş toplayıcılar, başlangıç noktasından itibaren Kazanç ve En

Yakın Komşu rotalama yöntemlerinin yardımıyla turlarını tamamladıktan sonra tekrar başlangıç noktasına dönerler. Yapılan deneylerde aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

1. Bir siparişe ait parçaların birden fazla gruba bölünmesi kesinlikle yasaktır.
2. Giriş noktası, klasik depo yerleşimi için sol alt köşede, çapraz geçitli depo yerleşimi için sol tarafta orta bölümde yer almaktadır (bakınız Şekil 1 ve Şekil 2).
3. Sipariş toplayıcı geçit içerisindeki bir noktaya geldiğinde hem sağ hem de sol taraftan önemli bir yer değişimi gerçekleştirilmeden siparişleri toplayabilmektedir.
4. Sipariş toplayıcılar geçit içerisinde her iki yönde de hareket edebilmektedirler.

Tablo 3 Deneysel çalışmada kullanılan depolara ilişkin bilgiler

	Geçit Sayısı	Geçitteki Raf Sayısı	Toplam Yer Sayısı	Geçit uzunluğu	İki geçit Arası mesafe	Raf yüksekliği (m)
DS1	170	20	345	10	4	1
DS2	165	20	694	10	4	1
DS3	170	20	873	10	4	1
DS4	170	20	1049	10	4	1
DS5	57	60	345	10	4	3
DS6	55	60	694	10	4	3
DS7	57	60	873	10	4	3
DS8	57	60	1049	10	4	3

Her bir problem için GA esaslı yöntemler kullanılarak deneyler 10 defa tekrarlanmıştır. Her bir deney seti için elde edilen minimum ve maksimum ([min, max]) değerler Tablo 4'te gösterilmektedir. Tabloda bulunan süre ile kastedilen en iyi çözüme ait süredir. Elde edilen sonuçlara göre, GA ve En Yakın Komşu sezgisellerinin birleşiminden oluşan GANN yöntemi bütün deneyler için en iyi sonuçları vermektedir. GABM yöntemi probleme hızlı bir şekilde çözüm sağlmasına rağmen GANN ve GAS yöntemlerine göre daha uzun grup mesafeleri ortaya koymaktadır. GABM yöntemi, GANN yöntemi ile elde edilen en iyi sonuçlardan %7.06 ile %15.28 arasında kötü sonuçlar üretmektedir (bakınız Tablo 7). Tablo 7'den de görüleceği üzere, GANN yöntemi uygunluk değeri bakımında GABM yöntemine göre daha iyi sonuçlar verirken bazı deneylerde hesaplama süresi olarak daha iyi performansa sahiptir.

Tablo 4 Klasik depo gösterimi için deney sonuçları

Metot:	Grup Sayısı	Toplam Mesafe (m)	Ortalama Mesafe (m)	Süre (saniye)
GAS				
DS1	15	[2502-2656]	[166.8-177.0]	153
DS2	24	[4440-5376]	[185.0-224.0]	670
DS3	25	[6136-6590]	[245.4 -263.6]	2456
DS4	22	[6048-6306]	[274.9-286.6]	2812
GANN				
DS1	15	[2438-2772]	[162.5-184.8]	56
DS2	24	[4244-4540]	[176.8-189.1]	221
DS3	25	[5554-6456]	[222.1-258.2]	932
DS4	22	[5816-6684]	[264.3-303.8]	896
GABM				
DS1	15	[2878-2994]	[191.8-199.6]	68
DS2	24	[4748-4972]	[197.8-207.1]	160
DS3	25	[6307-6758]	[252.3-270.3]	842
DS4	22	[6258-7398]	[284.4-236.3]	873

* [min, maks.] değerleri 10 deneme sonucunda elde edilen en düşük ve en yüksek değerleri ifade etmektedir.

ŞAHİN-KULAK

Geliştirilen yöntemlerin etkinliğini ölçmek için en iyi GA çözümünden sapma değerinin dikkate alınmasının yanı sıra, bulunan bu farkın gerçekten anlamlı olup olmadığını test etmek için en büyük farkın olduğu ilk veri seti ile yapılmış deneylerin sonuçları ANOVA analizine tabi tutulmuştur. F Testi sonucu Tablo 5'te gösterilmektedir. Anlamlılık değeri 0 çıktığı için, çözüm yöntemlerinin vermiş oldukları sonuçlar arasında çok önemli düzeyde fark vardır. Bu farkın nereden kaynaklandığını bulmak için yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testinin sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur. Bu testin sonucuna göre, 1 ve 2 numaralı veri gruplarını oluşturan En Yakın Komşu ve Kazanç sezgiselleri kullanan GA, GABM'den farklı bir grupta yer almaktadır. GAS ve GANN, GABM'ye göre anlamlı düzeyde iyi sonuçlar üretmiştir.

Tablo 5. Sonuç karşılaştırma için F testi

	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Anl.
Gruplar Arası	388059.733	2	194029.867	27.926	.000
Grup İçi	83376.000	12	6948.000		
Toplam	471435.733	14			

Tablo 6 Çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	rotalama_yon	N	alpha = .05	
			1	2
Tukey HSD(a)	2	5	2584.4	
	1	5	2585.2	
	3	5		2926
	Sig.	1	1,00	1,00

Tablo 7 Klasik depo yerleşimi için yöntemlerinin karşılaştırılması

	Uygunluk Değerleri ve En İyi GA Çözümünden Sapma Değeri (%)			Hesaplama Süresi (Saniye)		
	GAS	GANN	GABM	GAS	GANN	GABM
DS1	(2502) 2.55	(2438) 0.00	(2878) 15.28	153	56	68
DS2	(4440) 4.41	(4244) 0.00	(4748) 10.61	670	221	160
DS3	(6136) 9.48	(5554) 0.00	(6307) 11.93	2456	932	842
DS4	(6048) 3.83	(5816) 0.00	(6258) 7.06	2812	896	873

İkinci karşılaştırma ise GANN ve GAS yöntemleri arasında çapraz geçitli depo gösterimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DS1-DS4 arasındaki veriler tek katlı raflardan oluşan depo sistemi için kullanılırken, DS5-DS8 arasındaki veriler üç katlı raflardan oluşan depo yerleşimi için kullanılmıştır. Literatürde ilk defa çapraz geçitli depo yerleşimi için GA esaslı çözüm yöntemleri geliştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar Tablo 8'de belirtilmektedir. Tablo 8'den de görüleceği üzere GANN yöntemi, bütün sipariş listeleri için daha iyi uygunluk değeri ve hesaplama süresi sunmaktadır.

Tablo 8 Çapraz geçitli depo için elde edilen sonuçlar

GAS					GANN				
Veri Seti	Grup Sayısı	Toplam Mesafe (m)	Ort. Mesafe (m)	Süre (sn)	Veri Seti	Grup Sayısı	Toplam Mesafe (m)	Ort. Mesafe (m)	Süre (sn)
DS1	15	[2398-2510]	[146,5-167,3]	215	DS1	15	[2164-2302]	[144,2-153,4]	40
DS2	24	[4280-4842]	[174,1-201,7]	2778	DS2	24	[4008-4410]	[175,3-183,7]	310
DS3	25	[4904-5090]	[196,1-203,6]	2149	DS3	25	[4664-5172]	[186,5-206,8]	821
DS4	22	[4800-5430]	[213,5-246,8]	4288	DS4	22	[4598-5006]	[218,1-227,5]	1368
DS5	15	[1002-1030]	[66,8-68,6]	187	DS5	15	[908-976]	[60,5-65,0]	54
DS6	24	[1866-2158]	[77,7-89,9]	1252	DS6	24	[1668-1880]	[69,5-78,3]	420
DS7	25	[2088-2162]	[83,5-86,4]	3075	DS7	25	[1898-2384]	[75,9-95,3]	1141
DS8	22	[2304-2620]	[103,4-117,1]	3542	DS8	22	[2124-2238]	[81,0-103,6]	1683

Elde edilen sonuçlara göre, çapraz geçitli depo gösterimi için GANN yöntemi, GAS yöntemine göre %4.20 ile %10.61 arasında daha iyi sonuç vermektedir. Karşılaştırma sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9 Çapraz depo için GANN ve GAS yöntemlerinin karşılaştırılması

Veri Seti	Uygunluk Değeri ve En iyi GA Çözümünden Sapma (%)		İşlem Süresi (Sn)	
	GAS	GANN	GAS	GANN
DS1	(2398) 9.75	(2164) 0.00	215	40
DS2	(4280) 6.35	(4008) 0.00	2778	310
DS3	(4904) 4.89	(4664) 0.00	2149	821
DS4	(4800) 4.20	(4598) 0.00	4288	1368
DS5	(1002) 9.38	(908) 0.00	187	54
DS6	(1866) 10.61	(1668) 0.00	1252	420
DS7	(2088) 9.09	(1898) 0.00	3075	1141
DS8	(2304) 7.81	(2124) 0.00	3542	1683

SONUÇ

Bu çalışmada, sipariş toplama mesafesinin minimizasyonu için genetik algoritma esaslı yöntemler geliştirilmiştir. Çalışmanın ortaya çıkışında, günümüzün eğilimlerinde olan birbiri ile ilişkili olan problemlerin eş zamanlı çözümü fikrinden yola çıkılmış ve depolarda yoğun olarak gerçekleştirilen sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemleri ele alınmıştır. Problemlerin hiyerarşik çözümü yerine GA ile Kazanç ve En Yakın Komşu sezgiselleri birleştirilmek suretiyle GANN ve GAS isimli iki çözüm yöntemi sunulmuştur. Geliştirilen yöntemler, başlangıç çözümünün oluşturulmasında Rota Benzerlik Metodu’nun kullanımı, problemlere eş zamanlı olarak çözüm sunması ve çapraz geçitli depo yerleşimine uygulanması açısından literatürde ilktir.

Daha önce önerilen çalışmalarda, bu iki problemten birisi devre dışı bırakılarak diğeri üzerine yoğunlaşılırken bu çalışmada belirtilen iki probleme eş zamanlı çözüm sunulmaya çalışılmıştır. Çalışmada, uygunsuz sipariş-grup atamasının önüne geçilebilmesi için tamir stratejileri kullanılmıştır. Önerilen yöntemlerde kullanılacak parametre setinin belirlenmesi için Tekyönlü Varyans Analizi gerçekleştirilmiştir. En iyi parametre setinin belirlenmesinin ardından yöntemlerin etkinliği klasik depo yerleşiminde, Hsu ve diğerleri (2005)’in geliştirdiği GABM yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemler %2.45 ile %15.28 arasında değişen oranlarda daha iyi sonuçlar üretmiştir. GAS yöntemi kullanılarak elde edilen çözümlerin süresinin diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında daha uzun olduğu görülmektedir. Ancak bu yöntem çözüm değeri olarak GABM yöntemine nazaran daha iyi sonuçlar üretmiştir. GANN yöntemi, uygunluk değeri açısından en iyi çözümleri sunarken, zaman açısından da GABM yönteminden ya daha iyi ya da yakın çözümler ortaya koymuştur.

Deneylerde kullanılan sipariş listelerinin büyüklükleri düşünüldüğünde, geliştirilen yöntemlerin gerçek sistemlere de uygulanabileceği görülmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar için depo içi sipariş gruplama ve rotalama problemlerinin, tedarik zincirinin performansını arttırmak adına, depo dışı sipariş dağıtım problemi ile entegre bir şekilde çözümünün gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- AKSU, A.A, KÖKSAL, C.D. (2005). "Perceptions and Attitudes of Tourism Students in Turkey", *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 17 (4/5): 436-447.
- BOZER, Y. A., KILE, J. W. (2008). "Order Batching in walk-and-pick order picking systems", *International Journal of Production Research*, 46 (7): 1887-1909.
- BOTTANI, E., CECCONI, M., VIGNALI, GIUSEPPE, V., MONTANARI, R. (2012). "Optimization of storage allocation in order picking operations through a genetic algorithm", *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, 15 (2): 127-146.
- BUKCHIN, Y., KHMELNITSKY, E., YKUEL, P. (2012). "Optimizing a dynamic order picking process", *European Journal of Operational Research*, 219: 335-346.
- CHEW E.P., TANG L.C. (1997). "Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse", *European Journal of Operational Research*, 112: 582-597.
- COYLE, JHON J., EDWARD, J. B., LANGLEY, J. (1996). *The management of business logistics*. 6th edition, West Publishing Company: St. Paul.
- DE KOSTER, M., VAN DER POORT, E., WOLTERS, M. (1999). "Efficient Order batching Methods in Warehouses", *International Journal of Production Research* 37 (7): 1479-1504.
- DRURY, J. (1998). *Towards more efficient order picking*. The Institute of Materials Management, Cranfield.
- GADEMANN, A. J. R. M., VAN DEN BERG, J. P., VAN DER HOFF, H. H. (2001). "An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse", *IIE Transactions*, 33: 385-398.
- GEN, M. & CHENG, R. (2000). *Genetic Algorithms and Engineering Design*. Willey, New York.
- GOLDBERG, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, Boston.
- GOETSCHALCKX, M. AND ASHAYERI J. (1989). "Classification and design of order picking systems", *Logistics World*, June : 99 - 106.
- HENN, S., KOCH, S., DOERNER, K. F., STRAUSS, C., WASCHER, G. (2010). "Metaheuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems", *Business Research, Official Open Access Journal of VHB*, 3 (1): 82-105.
- HENN, S., WÄSCHER, G. (2012). "Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems", *European Journal of Operational Research*, 222 : 484-494.
- HSIEH L., TSAI L. (2006). "The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (5-6): 626-637.
- HSIEH, L. F., HUANG, Y. C. (2011). "New batch construction heuristics to optimise the performance of order picking systems", *Int. J. Production Economics*, 131: 618-630.
- HSU, C.M., CHEN, K.Y., CHEN, M.C. (2005). "Batching Orders in warehouse by minimizing travel distance with genetic algorithms", *Computers in Industry*, 56: 169-178.
- LIN C.H., LU I.Y. (1999). "The procedure of determining the order picking strategies in distribution center", *International Journal of Production Economics*, 60-61 (1): 301-307.
- MILLER, A. (2004). *Order Picking for the 21st Century: Voice vs. Scan Technology*. http://www.logisticsit.com/absolutenm/articlefiles/688-voice_vs_scanning.pdf (10.10.2008).
- NIEUWENHUYSE, I. V., DE KOSTER, R. B. M. (2009). "Evaluating order throughput time in 2-block warehouses with time window batching", *Int. J. Production Economics*, 121 (2): 654-664.
- PAN, J. C. H., SHIH, P.S., WUNG, M. H. (2012). "Storage assignment problem with travel distance and blocking considerations for a picker-to-part order picking system", *Computers & Industrial Engineering*, 62 (2): 527-535.
- PAN, L., HUANG, J. Z., CHU, S. C. K. (2011). "Order Batching and Picking in a Synchronized Zone Order Picking System", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 7-10 December 2011, Macau, Singapore.
- PETERSEN, C. G., AASE, G. (2004). "A Comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking", *International Journal of Production Economics*, 92 (1): 11-19.
- ROODBERGEN, K. J., VIS I. F. A. (2006). *A model for warehouse layout*. *IIE Transactions*, 38 (10): 799-811.
- ROODBERGEN, K.J., DE KOSTER R. (2001a). "Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle", *International Journal of Production Research*, 133 (1): 32-43.

- ROODBERGEN, K.J., DE KOSTER R. (2001b). "Routing methods for warehouses with multiple cross aisles", *International Journal of Production Research*, 39 (9): 1865-1883.
- RUBEN, R. A., JACOBS F. R. (1999). "Batch Construction Heuristic and Storage Assignment Strategies for Walk/Ride and Pick Systems", *Management Science*, 45 (4): 575-596.
- TSAI, C.-Y., LIOU, J.J.H., HUANG, T.-M. (2007). "Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time", *International Journal of Production Research*, 99999 (1): 1-23.
- VAN DEN BERG, J.P. (1999). "A literature survey on planning and control of warehousing systems", *IIE Transactions*, 31 (8): 751-762.
- YU, M., DE KOSTER, R. (2008). "Performance approximation and design of pick-and-pass order picking systems", *IIE Transactions*, 40 (11): 1054-1069.
- WON J., OLAFSSON S. (2005). "Joint order batching and order picking in warehouse operations", *International Journal Of Production Research*, 43 (7): 1427-1442.