

DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE SİPARİŞ TOPLAMA İŞLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMALARLA OPTİMİZASYONU

Necdet Özçakar

Istanbul Üniversitesi

İşletme Fakültesi Üretim Anabilim Dalı

Ali Görener

Beykent Üniversitesi Meslek Yüksekokulu
Lojistik Yönetimi Bölümü,

M. Vefa Arıkan

Istanbul Üniversitesi

İşletme Fakültesi Üretim Anabilim Dalı

ÖZET

Depolama ve dağıtım merkezlerinde iş gücünün en yoğun olarak kullanıldığı operasyonlar olan sipariş toplama işlemleri; müşterilerin talepleri doğrultusunda siparişlerin depo içerisinde buldukları noktalardan alınmalarını ifade etmektedir. Sipariş toplama problemi; operasyonel maliyeti düşürmek için, toplayıcıların kat ettiği mesafenin minimize edilmesini sağlamak amacıyla, siparişlerin uygun şekilde gruplanmasını ve sipariş toplayıcıların rotalarının tespit edilmesini ifade etmektedir.

Bu çalışmada depolama operasyonlarının açıklanmasını takiben; sipariş toplayıcı seyahat mesafesinin azaltılması amacıyla, sipariş toplama probleminin çözümünde kullanılan teknikler irdelenmiştir. Özellikle çapraz geçit içeren, sırt sırta raf sistemlerine sahip depolar dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında önerilen gruba dayalı kodlamalı genetik algoritma (GA) yöntemi farklı parametreler kullanılarak, geleneksel bir gruplama ve rotalama metodu olan paralel Clarke-Wright (CW) sezgiseli ile karşılaştırılmıştır. Uygulamada kullanılan tüm veri setleri için GA yöntemi, paralel CW algoritmasına göre daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler: Sipariş Toplama, Depolama, Genetik Algoritmalar

OPTIMIZATION OF ORDER PICKING OPERATIONS WITH GENETIC ALGORITHMS IN WAREHOUSE SYSTEMS

ABSTRACT

Order picking means the retrieval of products from storage to meet customers' demand is the most labor intensive operation in warehouse and distribution center. The order picking problem aims to determine batches of orders and find routes of the order pickers for these batches in such a way that minimize the total orderpickers' travel distance in warehouse, hence the order picking costs are reduced.

In this study, after a brief overview of warehouse operations, an overview of order-picking methods and their potentials in solution of this problem especially in parallel back to back rack systems include cross aisles, based mainly on reducing travelling distances. Proposed genetic algorithm (GA) with group based coding using different parameters is systematically compared parallel Clarke-Wright (CW) traditional heuristic route method. For all data sets using this study, GA results are better than the results of parallel CW algorithm.

Keywords: *Order Picking, Warehousing, Genetic Algorithms*

1. Giriş

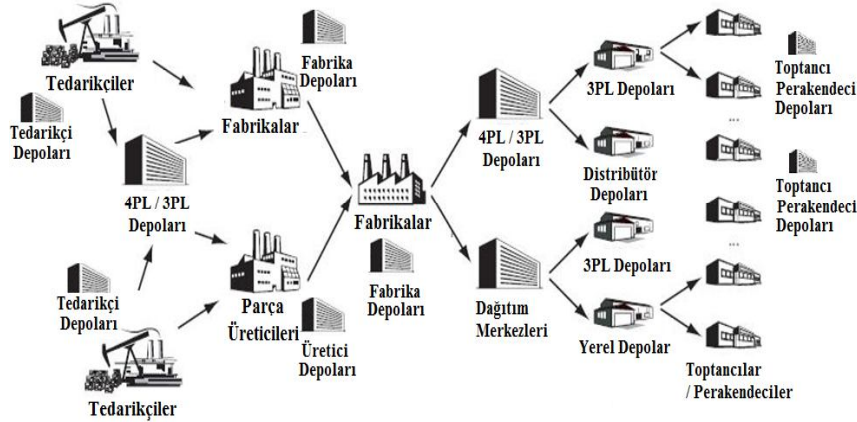
Ürünlere ilişkin hammadde kaynağından başlayıp, müşteri ve son tüketicilere kadar ulaşan tedarik zincirinde, mamül veya hizmetin niteliğine bağlı olarak çok sayıda depolama aktivitesi yer almaktadır. Tedarikçi depoları, hammadde depoları, dağıtım merkezleri, bölgesel ve yerel depolar, lojistik firmalarına ait depolar, yedek parça, yarı mamül ve bitmiş ürünlerin saklandığı fabrika depoları, toptancı ve perakende mağazaların depoları bunlara örnek olarak verilebilir. Günümüzün modern depolama sistemleri, müşterilerine hızlı yanıt verebilme odaklı çalışmaktadırlar. Müşterilerine, istenilen kalite ve zamanda hizmet sağlayan depolama tesisleri, tedarik zincirinin başarısını arttırmada önemli rol oynamaktadırlar [1].

Bu çalışmada; sipariş toplama faaliyetleri kapsamında depo raflarından toplanacak siparişlerin öncelikle gruplanması, sonrasında ise gruplanan siparişlerin toplayıcı tarafından alınarak ilgili bölgeye götürülmesine ilişkin rotalama faaliyetleri irdelenmiştir. Çalışmanın amacı; şu ana kadar göreceli olarak üzerinde yeterince çalışma yapılmamış, lojistik aktiviteler içerisinde önemi gittikçe artan depolama operasyonlarının en önemli faaliyetlerinden biri olan sipariş toplama işlemini optimizasyon açısından incelemektir. Çözüm tekniği olarak; Clarke ve Wright'a ait [2] sezgisel yöntemin yanı sıra, sipariş toplama probleminin çözümünde uygulaması sınırlı sayıda olan genetik algoritma (GA) yöntemi kullanılmıştır.

Metasezgisel bir optimizasyon tekniği olan genetik algoritma; farklı yapıdaki en iyileme problemlerine uygun olarak düzenlenen, her biri olası bir çözümü temsil eden kromozomların, genetik operatörler yardımıyla gen dizilişinin değiştirilmesi ve amaca en uygun kromozomun elde edilebilmesi süreçlerini içermektedir. Sipariş toplama probleminin çözümü üzerine, literatürde genetik algoritma ile yapılmış sadece birkaç çalışmaya rastlanmıştır [1, 3]. Bu çalışmalar genellikle tek bloklu depolarda yapılmış olup, GA ile üç bloklu depolarda yapılan bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Yapılan çalışmanın bu yönüyle de, ilgili alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Depolama

Depolama fonksiyonu, tedarik zincirinin sürekliliğini sağlayabilme açısından önemli rol oynamaktadır. Üretim faaliyetlerinin düzenli bir şekilde devam ettirilmesi isteği ve müşterilerin hızlı yanıt beklentileri depolamanın önemini arttıran etmenlerdendir.



Şekil 1 Tedarik Zincirinin Temel Elemanları ve Bunlara Ait Depolar

Tam zamanında üretim gibi yaklaşımların, tedarik zinciri yönetimi ile bütünleşmesi neticesinde, depolama faaliyetlerinin önemi daha da artmıştır. Daha etkin bir stok kontrol, daha düşük yanıt süreleri ve yüksek ürün çeşitliliği gibi ihtiyaçların ortaya çıkması depolama operasyonlarının yönetiminin daha dikkatli ele alınması sonucunu doğurmuştur [4].

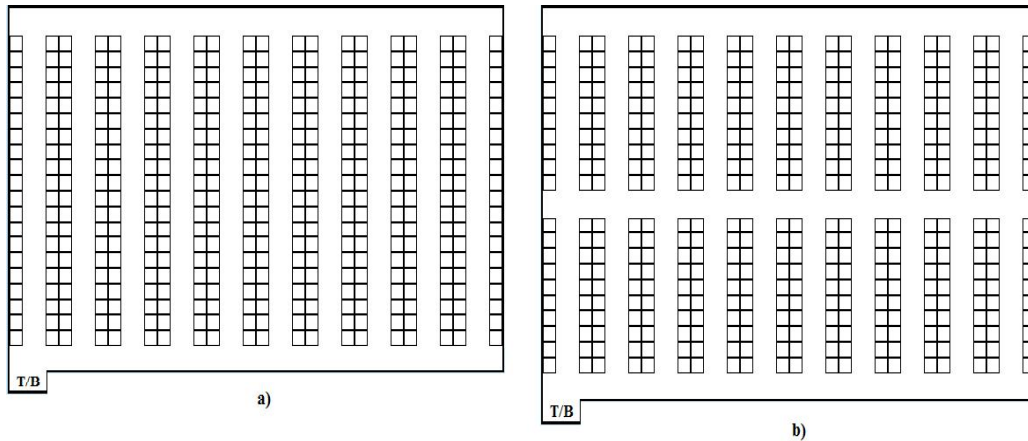
2.1. Depolama Operasyonları

Depo yönetimi ve depolarda gerçekleşen operasyonların koordinasyonu, imalat ve hizmet süreçleri yönetiminin temel öğelerinden biri haline gelmiştir [5]. Bu kapsamda, depolarda gerçekleşen önemli faaliyetler Tablo 1’de ifade edilmiştir.

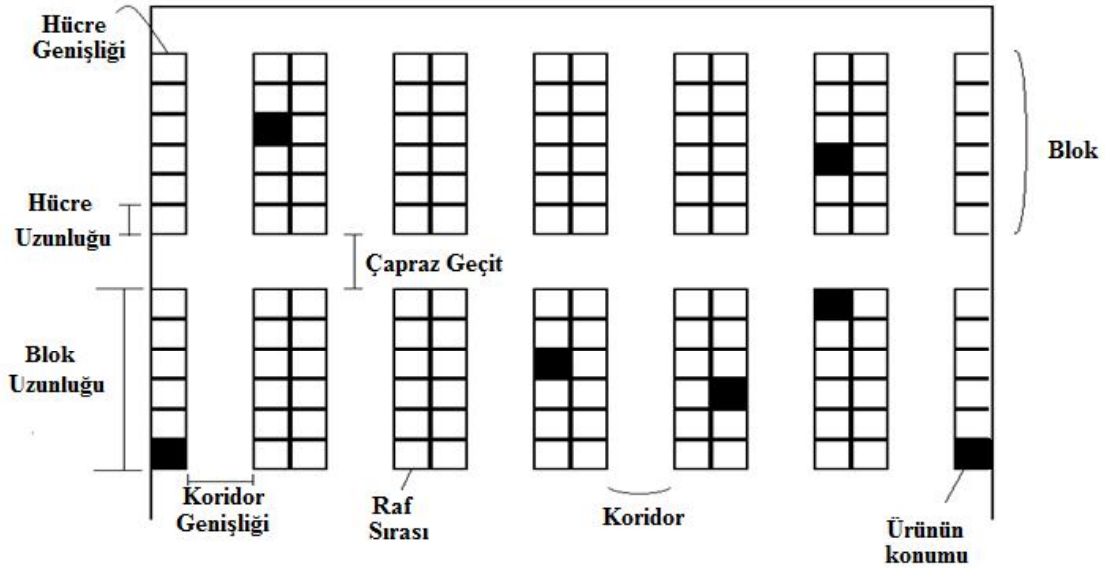
Tablo 1 Önemli Depolama Faaliyetleri

- Ürünlerin depoya alınması
- Ürünlerin kontrolü
- Yanlış ve eksik ürünlerin tespiti
- Ürünlerin raflara yerleştirilmesi
- Sipariş toplama işlemleri
- Elleçleme

Günümüzün modern depoları, genellikle yüksek irtifalı raf sistemlerini barındırmaktadır. Lojistik firmalarının depolarında en fazla kullanılan sistemler ise, sırt sırta raf sistemleridir [4, 6]. Kolay montaj, uygun maliyet, kolay bakım yapabilmeye, FIFO uygulanabilirliği vb. avantajları barındıran bu raf yapıları, yaygın olarak kullanılan forklift, reachtruck, order picker vb. depolama araçları ile de uyumlu sistemlerdir. Sırt sırta raf sistemleri, ürün çeşitliliğinin fazla olduğu ortamlarda düşük maliyetle hızlı bir şekilde kurulabilecek depolama sistemleridir.

**Şekil 2 a- Klasik Sırt Sırta Raf Sistemi , b- Çapraz Geçit İhtiva Eden Raf Sistemi**

Geçmişte genellikle tek bloklular olarak tasarlanması ve işletilmesine rağmen, etkin depo operasyonları ihtiyacı nedeniyle günümüz depolama sistemleri çapraz geçitler içermektedir. Şekil 2'de klasik depo sistemi ile çapraz geçit içeren sistem karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Klasik depolama sistemleri tek bloklular olarak ifade edilirken, Şekil 2-b'deki ortada bulunan çapraz geçit, iki bloklular raf sistemi oluşturulmasını sağlamıştır. Çapraz geçitler, aktif kullanılmayan ek alan ihtiyacı oluşturmasına rağmen, bu ara bölgeler sayesinde sipariş toplama vb. operasyonlar daha kısa mesafe katedilerek, daha az sürede gerçekleştirilebilmektedir. Sırt sırta raf sistemlerinin temel bileşenleri Şekil 3'te ifade edilmiştir.



Şekil 3 Sırt Sırta Raf Sisteminin Temel Bileşenleri

3. Sipariş Toplama Problemi

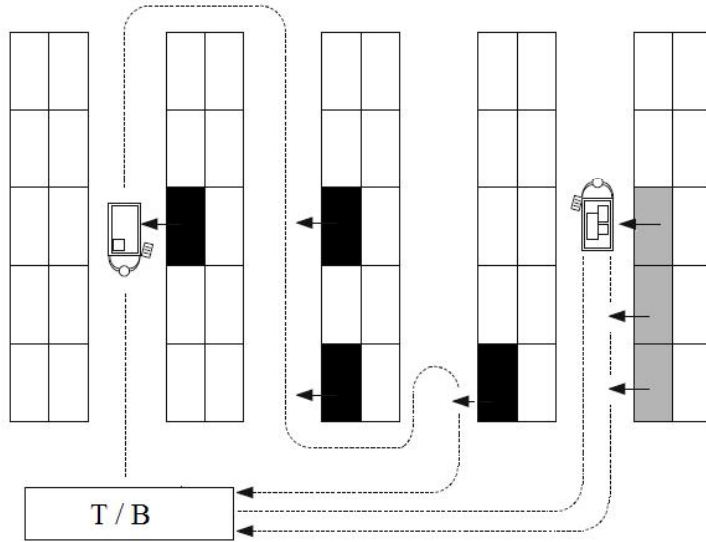
Sipariş toplama işlemi; müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilmek amacıyla, depodaki ürünlerin raf sistemi içerisinde bulunduğu noktadan alınarak, toplama noktasına götürülmesini ifade etmektedir. Tedarik zinciri içerisinde, özellikle lojistik servis sağlayıcı firmaların koordine ettiği, iş akışının yoğun olduğu depolarda, sipariş toplama işlemlerinin planlanması iki temel aşamada gerçekleşmektedir. Bunlardan biri; gelen siparişlerin gruplanması, diğeri ise sipariş toplayıcıların gruplara ayrılmış siparişleri belirtilen sıra ile toplayarak, toplama / biriktirme (T/B) noktasına getirmesidir.

Depo ve dağıtım merkezlerinde gerçekleşen sipariş toplama işlemleri, işgören faaliyetlerinin % 60'a yakınına kapsamaktadır [7]. Ayrıca, depoda gerçekleşen tüm operasyonel harcamalar içerisindeki payda % 55-65 arasındadır [8, 9].

Raflardan ürün toplama sistemleri temel olarak üçe ayrılmaktadır:

- 1- Toplayıcının ürüne gittiği sistem: Ürünü toplayacak olan iş gören, araçsız veya toplayıcı araçla birlikte rafa gider, ürünü alır ve T/B noktasına geri getirir.
- 2- Ürünün toplayıcıya getirildiği sistem: Konveyör, palet götürücü, yarı otomatik sistemlerle ürün toplayıcıya ulaştırılır. Toplayıcı ürünü alarak, T/B noktasına götürür.
- 3- Otomasyon tabanlı sistemler: Bilgisayar kontrollü otomatik sistemler vasıtasıyla ürünler raftan alınarak, sevkiyata hazırlama ve kontrol bölgesine kadar ulaştırılır [10, 11].

Çalışma kapsamında, depolarda en sık kullanılan sistem olan, toplayıcının ürüne gittiği sipariş toplama yapısı incelenmiştir. Örnek olarak, iki farklı sipariş toplayıcının tek bloklu bir raf sisteminde siparişleri alarak T/B noktasına geri dönmesi, Şekil 4’te şematik olarak ifade edilmiştir. Raf sisteminin, ürüne direkt olarak gitme noktasında engel teşkil etmesi ve sipariş toplayıcı aracın koridor giriş ve çıkışlarına ulaşarak diğer koridora geçme zorunluluğu, problemi özel kılmaktadır. Paralel raf sisteminin sipariş toplayıcının hareketlerini kısıtlaması ve ürün olmadığı halde sipariş toplayıcı aracın uğraması gereken koridor giriş-çıkışlarına ait düğüm noktaları olması sebebiyle problem mevcut hali ile klasik gezgin satıcı problemi veya araç rotalama problemi ile benzeşmemekte ve bu şekilde modellenememektedir. Sipariş toplama probleminin NP-zor sınıfında bir problem olduğu araştırmacılar tarafından kanıtlanmıştır [13].



Şekil 4 Siparişlerin Toplanması [12]

Sipariş toplama operasyonu içerisindeki işlemler incelendiğinde ise en çok zaman alan işlemin, toplama aracının veya toplayıcının seyahat süresi olduğu ifade edilmektedir. Sipariş toplayıcının seyahat süresi, tüm sipariş toplama süresinin % 50 [8] ila % 60'ını [14] kapsamaktadır. Tablo 2’de sipariş toplama faaliyetlerinin, harcanan toplam zaman içerisindeki yüzdeleri verilmiştir.

Sipariş toplama operasyonunun temel amacı; müşterilerin isteği doğrultusunda depoya ulaşan siparişlerin raflardan alınarak T/B noktasına getirilmesidir. Müşteri veya müşterilerin siparişleri; mail yoluyla, EDI, WMS veya ERP vasıtasıyla depo operatörü firmanın sistemine ulaşmaktadır. Dinamik olarak ifade edilebilecek, 3PL ve 4PL firma depolarında genellikle günlük, statik depolarda ise daha uzun periyotlarla siparişler işlenmekte ve araçlara yüklenerek ilgili noktaya sevk edilmektedir. Sipariş toplama operasyonları dikkatli bir şekilde koordine edilmez ise, operasyon için harcanması gereken zaman çok daha fazla artmakta, personelin katma değer yaratan faaliyetlere ayırdığı zaman, toplam çalışma süresi içerisinde küçük bir kısmı oluşturmaktadır. Bu da verimsiz bir depolama sistemini ortaya çıkarmaktadır [15].

Tablo 2 Sipariş Toplama İçerisindeki Faaliyetlerin Toplama Zamanı İçerisindeki Yüzdeleri [8, 14]

Faaliyetler	Sipariş Toplama Zamanı İçerisindeki Payı
Sipariş Toplayıcının Seyahat Zamanı	% 50-60
Ürün Arama Zamanı	% 10-15
Ürünün Raftan Alınması	% 5-10
Diğer İşlemler	% 10-20

Raf sistemleri içerisinde sipariş toplama faaliyetleri, sipariş toplayıcı (order picker) araçlarla veya palet vb. aparatlar takılan reachtruck araçları ile gerçekleştirilmektedir. Siparişlerin toplanması işlemleri genellikle barkod ve radyo frekanslı sistemler vasıtasıyla yürütülmektedir. Siparişi toplayan operatör, siparişi alarak toplayıcı araca koyduktan sonra el terminali vasıtasıyla, rafın üzerindeki barkodu okutur, alınan ürün bir birimden fazla ise kaç adet olduğunu tuşlar. Bu sayede sisteme bilgi aktarılarak, stok kontrolü sağlanır. Barkod sisteminin yanı sıra tamamen RFID (Radyo frekansı ile tanımlama) tabanlı sistemlerde mevcuttur. Maliyeti yüksek olan bu tanımlama ve izleme sistemleri, operasyon zamanı açısından büyük tasarruf sağlamaktadırlar [16].

3.1. Sipariş Toplama Probleminin Matematiksel Modeli

Problemin genel matematiksel formülasyonu şu şekilde ifade edilebilir[7]:

n adet sipariş, c adet sipariş bulunan gruplara ayrılmış olsun. S mümkün olan tüm grupların kümesi ise, oluşturulacak gruplar, $s \in S$ şeklinde ifade edilebilir. j adet sipariş sadece s grubu içerisinde ise $a_{js} = 1$ olmaktadır. s grubu içerisindeki tüm siparişlerin toplam seyahat mesafesi d_s ile ifade edildiğinde, 0-1 değerleriyle tanımlanan x_s değeri için;

Amaç fonksiyonu, (3.1) denklemindeki gibi ifade edilebilir:

$$\min \sum_{s \in S} d_s x_s \quad (3.1)$$

$$x_s = \begin{cases} 1 & s \text{ grubunda ise,} \\ 0 & \text{aksi taktirde.} \end{cases}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{s \in S} a_{js} x_s = 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3.2)$$

$$x_s \in \{0, 1\}, \quad s \in S \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{js} \leq c \quad (3.4)$$

Lojistik firmalarının depolarında gerçekleşen sipariş gruplama işlemlerinde genellikle, bir grup için toplanacak sipariş sayısı kısıtı yerine, siparişlerin toplam hacim veya ağırlık değerine bağlı kısıt söz konusudur. Bu nedenle (3.4) nolu kısıt yerine, (3.5) nolu kısıt eklenebilir.

$$\sum_{j=1}^n v_{js} \leq \text{KAPV}_{ST} \quad (3.5)$$

(3.5) ifadesi s grubu içindeki siparişlerin toplam hacminin sipariş toplayıcının hacimsel kapasitesini aşamayacağını ifade etmektedir.

Sipariş toplama işlemi; toplanacak ürünlerin gruplanması ve toplayıcının rotasının belirlenmesi şeklinde iki ana faaliyeti kapsamaktadır. Yapılan çalışmalarda, genellikle siparişlerin gruplanmasına veya sipariş toplama araçlarının rotalama işlemlerine odaklanılmıştır. Bu çalışmada ise her iki işlem için, aynı anda çözüm üretilmesi hedeflenmiştir.

4. Sipariş Gruplama Probleminin Çözümünde Kullanılan Yöntemler

4.1. Optimal Sipariş Gruplama Yöntemleri

Toplayıcı rotalaması ile birlikte ele alınan gruplama problemlerinin çözümünde kullanılan optimal yöntemler; dal-sınır algoritması vb. tam sayılı programlama yöntemleri ve dinamik programlama tabanlı algoritmalar olarak ifade edilebilir [17]. Küçük boyutlu problemlerde kullanılan bu algoritmalar, günümüzün büyük boyutlu lojistik problemleri için kabul edilebilir bilgisayar zamanında çözümler sunamamaktadırlar. Optimal çözüme kabul edilebilir zaman aralığında ulaşılabilen benzer tipte problemler için, ele alınan maksimum nokta sayısı yaklaşık 50'dir [18]. Bu nedenle büyük ölçekli problemlerde, sezgisel yöntemler tercih edilmektedir. Literatürde, optimal çözüme yakın çözümler verdiği öne sürülen deterministik yöntemlerde mevcuttur. Bozer ve Kile [19], tek bloklu depolarda düşük yoğunluklu ürün toplama işlemlerinde optimal çözüme yakın çözümler veren karma tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Yöntemi Clark-Wright sezgiseli ve Ruben ve Jacobs'un [20] önerdiği sezgisel yöntem ile karşılaştırmışlar ve daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

4.2. Çekirdek Algoritmalar

Çekirdek algoritma yöntemi iki aşamalı bir çözüm tekniğidir. Öncelikle çekirdek bir sipariş grubu seçilir. Bu gruptaki ürünler, çekirdek rotanın oluşmasını sağlamaktadır. Sonrasında bu sipariş grubunda olmayan ürünler, çeşitli yöntemlerle kapasite kısıtına kadar gruba dahil edilmektedir [21].

Çekirdek sipariş grubunun oluşturulması şu şekillerde olabilmektedir:

- Rastsal olarak bir sipariş grubu seçilmesi [22].
- Alınması gereken ürünlerden, T/B noktasına göre en uzak ürünü içeren bir grubun seçilmesi,
- En fazla sayıda koridorun dolaşılması öngören bir sipariş grubunun seçilmesi,
- En uzun seyahat mesafesine sahip grubun seçilmesi,
- En büyük koridor aralığına sahip sipariş grubunun seçilmesi,
- En fazla sayıda parça içeren sipariş grubunun seçilmesi [23].

Çekirdek grubun dışında kalan ürünleri gruba dahil etme yöntemleri, farklı şekillerde olabilmektedir. Kapasite kısıtı altında; minimum uzaklığa sahip veya daha az koridor geçişi ile ulaşılabilecek siparişler, çekirdek gruba eklenebilmektedir [24].

4.3. Clarke-Wright Sezgiseli

Tasarruf algoritması olarak bilinen bu yöntem [2] sipariş gruplamanın ve sipariş toplayıcının rotasının belirlenmesi işleminin eş zamanlı yapılabildiği temel sezgisel yöntemlerden biridir. Yapılan çalışmalar, paralel raf sistemlerinde Clarke-Wright sezgiseli uygulamalarının, çekirdek algoritma yönteminden yaklaşık % 2,5 daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur [25]. Clarke-Wright sezgiseli, bir başlangıç noktasından iki farklı noktaya ayrı ayrı gidip dönmek yerine, bu noktaların ikisine birden uğrayarak başlangıç noktasına dönmeyi ortaya çıkardığı tasarruf değerine bağlı bir algoritma ile kurgulanmıştır. Paralel ve seri versiyonları literatürde yer alan bu yöntemin adımları Tablo 3'te ifade edilmiştir [26, 27]. Yapılan çalışmalar, paralel versiyon olarak uygulanan sezgisel yöntemin diğerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmıştır [28, 29].

Tablo 3 Clarke-Wright Sezgiseli Adımları

Adım 1: $i \neq j$ olan tüm (i, j) çiftleri için $s_{i,j} = c_{0,i} + c_{0,j} - c_{i,j}$ formülasyonu ile tasarruf değerlerini hesapla.

Adım 2: Tasarruf değerlerini($s_{i,j}$), büyükten küçüğe sırala.

Adım 3: Büyük tasarruf değerine sahip (i, j) çiftinden başlayarak kapasite kısıtını sağlayan çiftler için rotaları oluştur.

Paralel versiyon için;

Adım 4: En büyük tasarruf değerine sahip (i, j) çifti kapasite kısıtını karşılıyorsa turu oluştur, karşılamıyorsa reddet. Kapasite kısıtına uyan, sıradaki en büyük tasarruf değerine sahip çift ile turu oluştur.

Adım 5: Listedeki(kapasite kısıtına uyan) çifti al, uygun çözüm oluşabiliyor ise mevcut tura ekle, aksi durumda yeni bir tur olarak listeye ekle.

Adım 6: Gidilmesi gereken tüm noktaların bulunduğu rotalar oluşana kadar Adım 5'i tekrarla.

Seri versiyon için;

Adım 4: Kapasite kısıtına uygun olarak mevcut rotaların iki ucundan (i veya j) birini geliştirecek rotayı ara.

Adım 5: Rota daha fazla geliştirilemiyorsa işlemi sonlandır, yeni (i, j) çiftinin geliştirme alternatifini ara.

Adım 6: Seçilecek (i, j) çifti kalmayınca kadar Adım 5 ve 6'yı tekrar et.

4.4. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, biyolojik evrimin doğal süreçlerinden esinlenerek oluşturulmuş çözüm algoritmalarıdır. Genel çözümün kromozomlar şeklinde gösterimini takiben, farklı genetik operatörlerle yapılan işlemler sonucunda, en iyi uygunluk değerini veren gen dizilişine ulaşılması hedeflenmektedir. Kullanıcı tarafından belirtilen durdurma kriteri koşulu sağlanıncaya kadar, algoritma çözüm alternatiflerini denemeye ve en uygununu aramaya devam etmektedir.

Algoritma özellikle, kabul edilebilir bilgisayar zamanında çözümü mümkün olmayan; çizelgeleme, gezgin satıcı problemi ve ağ problemleri gibi farklı optimizasyon problemlerinde çözüm yöntemi olarak kullanılabilir. Genetik algoritma yönteminin temel uygulama adımları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 Genetik Algoritma Temel Uygulama Adımları [1]

<p><i>Adım 1:</i> Problemin genetik algoritma bazlı gösteriminin ifade edilmesi</p> <p><i>Adım 2:</i> Başlangıç popülasyonunun oluşturulması, $P(0)=X_1^0, \dots, X_N^0, t=0$</p> <p><i>Adım 3:</i> Ortalama uygunluk değerinin hesaplanması, $f_{ort}(t)=\sum_i^N f(x_i) / N$</p> <p><i>Adım 4:</i> Her bir kromozomun normalize uygunluk değerinin hesaplanması, $f(x_i) / f_{ort}(t)$</p> <p><i>Adım 5:</i> Her bir kromozom için (x_i), normalize uygunluk değerine bağlı seçilme olasılığının ifade edilmesi. Bu olasılıklar kullanılarak, popülasyon $P(t)$ içerisinde N adet kromozomun seçilmesi</p> <p><i>Adım 6:</i> Seçilen N adet bireyin gruplanarak ebeveyn bireylerin oluşturulması</p> <p><i>Adım 7:</i> Kullanılan olasılık değerine bağlı olarak çaprazlama operatörünün uygulanması</p> <p><i>Adım 8:</i> Kullanılan olasılık değerine bağlı olarak mutasyon operatörünün uygulanması</p> <p><i>Adım 9:</i> Yeni popülasyonun oluşturulması, $P(t+1)$</p> <p><i>Adım 10:</i> $t= t+1$ olarak güncellenmesi, durdurma kriteri sağlanana dek adım 3'e dönülmesi</p>

5. Gruplamaya İlişkin Literatür Taraması

Sipariş toplama probleminin çözümü için gruplama ve rotalama bağımsız olarak ele alındığı çalışmaların yanı sıra, iki problemin eş zamanlı çözümlenmesine odaklanan çalışmalarda mevcuttur.

De Koster vd. [21], tek bloklu bir depoda Clarke-Wright sezgiseli ile çekirdek algoritma

yöntemlerinin performansını karşılaştırmıştır. Clarke-Wright sezgiseli ile yapılacak olan sipariş toplama işleminin genel olarak daha kısa seyahat mesafeleri verdiğini ifade eden araştırmacılar, analiz için 30, 90 ve 120 siparişlik kümeler kullanmışlardır. Gademann vd. [17] yapmış oldukları çalışmada dal-sınır algoritması ve 2-opt yöntemlerini kullanarak tek bloklu bir depoda sipariş gruplama işlemini gerçekleştirmişlerdir. 15-32 lokasyon arasında gerçekleştirdikleri çalışma neticesinde, 2-opt uygulanması ile daha kısa işlem zamanlarında istenen sonuçlara ulaşıldığını ifade etmişlerdir.

Gademann ve Van De Velde [7], çapraz geçitin yer almadığı tek bloklu bir depoda sipariş gruplama problemini araştırmışlardır. Önerdikleri dal-fiyat algoritması ile tek bloklu 10 koridorlu bir depo için 15-32 adet sipariş aralığında çalışmalar yaparak, 2001 yılında yaptıkları ve dal sınır algoritmasını uyguladıkları çalışmanın [17] sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Küçük boyutlu sipariş hacimlerinde algoritmanın performansının iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Chen ve Wu [30], yapmış oldukları çalışmada veri madenciliği ve tamsayı programlama tabanlı bir gruplama algoritması önermişlerdir. Tek bloklu bir depoda gerçekleştirdikleri çalışmalarında elde ettikleri sonuçların, ilk giren ilk çıkar ve çekirdek algoritma tekniklerinden daha iyi sonuç verdiğini fakat oldukça uzun işlem zamanına ihtiyaç duyduğunu ifade etmişlerdir.

Hsu vd. [1] çalışmalarında, teorik olarak oluşturmuş oldukları tek bloklu, 5 koridorlu, 100 raf hücreli bir depoda genetik algoritma ile sipariş gruplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, sipariş toplayıcı aracının hacimsel kapasitesini dikkate aldıkları çalışmalarında; sıra olarak sipariş numaralarını, gen olarak grup numaralarını ifade eden bir kodlama tipi kullanarak, çözümü ifade eden kromozoma PMX türü çaprazlama ve yer değişimi türünde mutasyon operatörlerini uygulamışlardır. Araştırmacılar, seçim operatörü olarak rulet tekerleği yöntemini kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda farklı araç kapasiteleri ile 10-35 sipariş içeren sipariş grupları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, sipariş toplama aracının seyahat mesafesi dikkate alınarak Gibson ve Sharp'ın [22] çekirdek algoritma gruplama metodu ve ilk giren ilk çıkar yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Genetik algoritma bazlı gruplama sonucunda, sipariş toplama işlemi için genel olarak daha az seyahat mesafesi katedilen sipariş gruplarının ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Ho ve Tseng [31], yapmış oldukları çalışmada, tek bloklu bir depoda farklı çekirdek algoritma türlerini kullanarak sipariş gruplama problemini çözmeye çalışmışlardır. Ho vd. [32], tek bloklu ve 384 raf hücrelerine sahip depoda yapmış oldukları sipariş gruplama çalışmasında farklı çekirdek gruplama algoritması türlerini kullanarak sonuçları karşılaştırmışlardır.

Tsai vd. [3] genetik algoritma yöntemini kullandıkları çalışmalarında, 25-250 sipariş içeren farklı veri setleri ile tek bloklu bir depoda sipariş toplama problemini ele almışlardır. Araştırmacılar, PMX türü çaprazlama ve yer değişimi türünde mutasyon kullanmışlardır. 0,6 ve 0,9 oranlarında farklı çaprazlama ve 0,01-0,05 değerleri arasında farklı mutasyon oranlarını kullanarak, 10 ila 40 popülasyon büyüklükleriyle gerçekleştirdikleri analizlerin sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Henn ve Washer [33], yapmış oldukları çalışmalarında tabu arama tabanlı iki farklı metasezgisel gruplama yöntemi önermişlerdir. 90'ar depolama hücresi içeren 10 koridorlu bir depoda yaptıkları çalışmalarında 40-60 adet arasında müşteri siparişini dikkate almışlardır. Araştırmacılar elde etmiş oldukları sonuçları kıyaslarken, iki yöntemi birbiriyle ve Clarke-Wright'ın tasarruf sezgiseli ile karşılaştırmışlardır. Sipariş toplama

aracının toplam seyahat mesafesinin geliştirilmesinde, önerilen yöntemlerin tasarruf sezgiseline göre genel olarak iyi sonuçlar vermesine rağmen bazı örneklerde daha kötü sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

6. Sipariş Toplayıcının Rotalanmasında Kullanılan Yöntemler

6.1. Optimal Yöntemler

Optimal rota belirleme yöntemleri, az sayıda nokta içeren problemlerde etkili olup, gidilecek nokta sayısı arttıkça kabul edilebilir bilgisayar zamanında sonuç alınamayan yöntemlerdir. Gezgin satıcı problemi tipinde problemler için farklı kesin çözüm algoritmaları önerilse de en fazla kullanılan metodun, dal-sınır algoritması olduğu söylenebilir [34].

6.2. Sezgisel Yöntemler

6.2.1. S Sezgiseli

Sipariş toplama araçlarının yönlendirilmesinde kullanılan temel yöntemlerden birisidir. Tek bloklu depolar dikkate alındığında; sipariş toplayıcı tarafından en az bir parça içeren herhangi bir koridorun tümünün kat edilmesi söz konusudur. Tüm parçalar toplandığında, sipariş toplama aracı, T/B noktasına geri döner.

6.2.2. En Büyük Boşluk Sezgiseli

Bu yöntemde, tek bloklu depolama sistemleri söz konusu olduğunda, sipariş toplayıcı öncelikle ürün olan en uzak veya en yakın koridora giriş yapar. Diğer siparişlerin bulunduğu koridorlarda ise, ürünler arasında veya ürünle geçit arasında en büyük boşluğun olduğu noktaya kadar gelir, diğer koridorlarda alınması gereken ürünler var ise aynı yönden koridordan çıkar ve ürün olan en yakın koridora gider. En büyük boşluğu bırakacak şekilde tüm ürünler toplandığında, sipariş toplayıcı T/B noktasına geri döner.

Şekil tabanlı diğer sezgisel yöntemler; koridor, orta nokta, geri dönüş yöntemleri ve karma yöntemlerdir. Şekil tabanlı sezgisellerin, tek bloklu depolar için net olarak ifade edilebilen uygulamaları olmakla birlikte, birden fazla çapraz geçit içeren depolar için belirtilen algoritmalar yetersiz kalmaktadır.

6.2.3. Clarke-Wright Sezgiseli

Literatürde sıklıkla karşılaşılan ve güncelliğini koruyan yöntemlerden biri, Clarke ve Wright'ın geliştirmiş olduğu [2] tasarruf algoritmasıdır [35, 36]. Farklı versiyonları

bulunan, gruplama ve rotalamanın birlikte yapılabilirdiği bu teknik, gruplama yöntemlerinin ifade edildiği 4.3 başlığı altında açıklanmıştır.

6.3. Metasezgisel Yöntemler

Literatür dikkate alındığında, sipariş toplama aracının rotalanmasında kullanılan metasezgisel rotalama yöntemlerinin, genellikle gruplama işlemi ile birlikte ele alındığı görülmektedir. Teorik bazda, tekil olarak metasezgisel yöntemler ile rotalama üzerine hazırlanan genetik algoritma [37] ve tabu arama tabanlı [38] bir kaç çalışma olmasına rağmen, bu çalışmalar genellikle tek bloklu bir depoda, tek bir sipariş toplayıcının çalıştığı problem üzerine yoğunlaşmıştır. Ayrıca, literatür incelendiğinde sipariş toplama amaçlı, metasezgisel yöntemlerin uygulamalarının genellikle son yıllarda ortaya çıktığı görülmektedir [1, 33].

Bu çalışma kapsamında da gruplama ve rotalama problemine bütünleşik bir çözüm sunmak amacıyla, gruplama ve rotalama işleminin aynı anda gerçekleştirildiği genetik algoritma tabanlı çözüm yöntemi oluşturulmuştur.

7. Rotalamaya İlişkin Literatür Taraması

Literatürde, depolarda sipariş toplama aracının güzergâhının belirlenmesi amacıyla yapılan farklı çalışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, büyük bir çoğunluğunun, paralel raflara sahip tek bloklu depolama sistemleri baz alınarak gerçekleştirildiği görülmektedir.

Ratliff ve Rosenthal [39] yapmış oldukları çalışmada, paralel raflara sahip tek bloklu depolarda, tek bir sipariş toplama aracının rotasının belirlenmesi amacıyla dinamik programlama temelli optimal çözüm yöntemi sunmuşlardır. Araştırmacılar sipariş toplama işlemini, gezgin satıcı problemi olarak ele almışlardır. Hall [40] çalışmasında tek bloklu bir depo için; koridor, orta nokta ve en büyük boşluk sezgisellerini karşılaştırmıştır. 100 siparişe kadar farklı örnek grupları için, belirtilen sezgisellerle sipariş toplama işlemini gerçekleştirmiştir. Analizini gerçekleştirdiği sipariş kümeleri için, çoğunlukla en büyük boşluk sezgiselinin kullanılması gerektiğini ifade etmiştir.

Petersen [41] çalışmasında, 5-45 arasında sipariş içeren sipariş listelerini kullanarak tek bloklu bir depoda; S sezgiseli, en büyük boşluk sezgiseli, orta nokta sezgiseli ve karma sezgisel yöntemlerini karşılaştırmıştır. Karma sezgiselin, daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir. De Koster ve Van Der Poort [42] tek bloklu bir depo için, 5-25 sipariş arasında listeleri dikkate alarak, Ratliff ve Rosenthal'ın [39] önermiş olduğu çözüm yöntemiyle S yöntemini karşılaştırmıştır. S yönteminin % 12,5-32,4 oranlarında daha kötü sonuçlar verdiğini ifade etmiştir. Petersen ve Schmenner [43] tek bloklu bir depoda yapmış oldukları çalışmada, Ratliff ve Rosenthal'ın [39] önermiş olduğu algoritma ile koridor, geri dönüş, karma ve en büyük boşluk sezgisellerini karşılaştırmışlardır. Farklı örnek grupları için, en iyi performansa sahip sezgiselin değiştiğini ifade eden araştırmacılar, sipariş listesindeki ürünlerin konumlarının, şekil tabanlı sezgisel yöntemlerin performansını

etkileyen temel öge olduğunu ifade etmişlerdir. Vaughan ve Petersen [44] yapmış oldukları çalışmada koridor sezgiselini kullanarak sipariş toplama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çapraz geçit sayısının artmasının, sipariş toplama performansına etkisini irdelenmişlerdir. Petersen[45], tek bloklu bir depoda gerçekleştirmiş olduğu farklı bir çalışmada ise; S sezgiseli, en büyük boşluk sezgiseli ve karma sezgisel yöntemleri karşılaştırmıştır. 35 ürüne kadar sipariş içeren gruplarda, en büyük boşluk sezgiselinin; 35-50 ürün büyüklüğündeki sipariş gruplarında ise karma sezgiselin daha iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir.

De Koster vd. [21], tek bloklu bir depoda rotalama için ise S sezgiseli ve en büyük boşluk sezgisellerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar kapsamında, en büyük boşluk sezgiselinin daha kısa turlar oluşturabildiğini ifade etmişlerdir. Roodbergen ve De Koster [46], paralel raf sistemlerine sahip, birden çok çapraz geçite sahip depolar için farklı rotalama metotları önermişlerdir. S şekilli sezgisel, en büyük boşluk sezgiseli, geri dönüşlü sezgisel, birleşik ve geliştirilmiş birleşik sezgisel yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Roodbergen ve De Koster [47] yapmış oldukları diğer bir çalışma da, Ratliff ve Rosenthal'ın yapmış olduğu çalışmayı [39] temel alarak iki bloklu sistemler için optimal çözüm algoritması önermişlerdir.

Hwang vd. [48], üç farklı rotalama stratejisi ele aldıkları çalışmalarında tek bloklu depolarda, geri dönüş, S sezgiseli ve orta nokta sezgisellerini karşılaştırmışlardır. Hsu vd. [1] yapmış oldukları çalışmalarında, tek bloklu bir depoda S sezgiseli ile rotalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Molnar ve Lipovszki [37] ise çalışmalarında, depo içerisinde sipariş toplayıcı rotalaması için genetik algoritma tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Geliştirmiş oldukları yazılım ile farklı parametre gruplarını kullanarak genetik algoritma sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Chen ve Wu [30] yapmış oldukları çalışmada, S şekilli sezgisel yöntemi tek bloklu bir depolama sisteminde uygulamışlardır. Farklı ürün sayıları için, karşılaştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Hsieh vd. [49] yapmış oldukları çalışmada, tek bloklu bir depoda genetik algoritma ile gerçekleştirdikleri araç rotalama işlemine, sürü zekası metasezgisel yöntemini uygulamışlardır. Elde edilen sonuçların, genetik algoritma uygulamasından daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Herhangi bir kapasite kısıtı bulunmayan çalışmada, seyahat mesafesinin optimizasyonu dikkate alınmıştır.

Nieuwenhuys ve De Koster [50] ise gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, iki bloklu depo için S sezgiseli tabanlı, sipariş toplama zamanını ölçmeye yönelik bir model önermişlerdir. Henn ve Washer [33], tek bloklu bir depoda yapmış oldukları çalışmada S sezgiseli ve en büyük boşluk sezgisellerini kullanmışlardır. Kullanılan gruplama yöntemine ve sipariş yoğunluğuna bağlı olarak bazı örneklerde S sezgiselinin, bazı örneklerde ise en büyük boşluk sezgiselinin daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Theys vd. [6] iki bloklu sırt sırta raf sistemi içeren bir depolama sisteminde yapmış oldukları çalışmada; sipariş toplama aracının rotasını S, en büyük boşluk ve koridor sezgisellerini kullanarak oluşturmuşlardır. 2-opt ve LKH (Lin Kernighan Helsgaun) rota geliştirme yöntemlerini uygulamışlardır. Belirtilen rota geliştirme yöntemlerinin, kat edilen mesafeyi azalttığını fakat birbirlerine karşı üstünlüklerinin tespit edilemediğini belirtmişlerdir.

Literatür incelendiğinde ikiden fazla bloklu sistemler için herhangi bir optimal çözüm üzerinde çalışılmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, araştırmacıların çok bloklu sistemlerde kabul edilebilir bilgisayar zamanında optimal çözüme ulaşılmasının mümkün

olmadığı noktasında görüş birliğine varmış olmalarıdır.

8. Uygulama

Uygulamada kullanılan sipariş verileri, bir lojistik firmasının çabuk bozulabilir olmayan gıda ürünlerinin depolandığı tesisinden alınmıştır. Depoda, sırt sırta paralel raf sistemlerinin olduğu bölüme gelen siparişler, bu çalışmadaki uygulama verisini oluşturmaktadır. Algoritmaların çalıştırılmasında, değişik zaman dilimlerinde firmaya ulaşan dört farklı sipariş kümesi veri olarak kullanılmıştır. Raflardan toplanmak üzere depolama sistemine aktarılan her bir müşteri siparişi, çeşitli malzemeleri ve bunlara ilişkin miktarları içeren sipariş satırlarından oluşmaktadır.

Tablo 5 Analizde Kullanılacak Sipariş Kümeleri

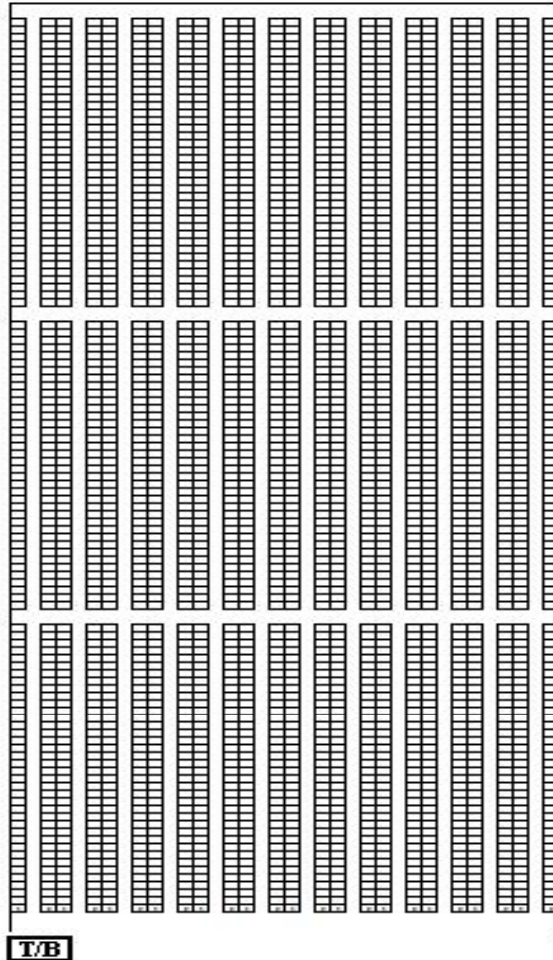
Sipariş Küme No:	1	2	3	4
Sipariş adedi:	108	129	152	187

Uygulamada dikkate alınan lojistik firmasında gerçekleşen sipariş toplama işleminin işleyişi ve ilgili literatür dikkate alınarak yapılan kabuller şunlardır:

- Sipariş toplama sistemi, sipariş toplayıcının depolama aracı kullanarak, raf sisteminde ilgili noktaya ulaştığı ve ürünü aldığı, bir başka deyişle “çalışanın ürüne gittiği” sistemdir. Otomatik depolama sistemi kullanılmamaktadır.
- Sipariş listesindeki ürünler, bölünemez niteliktedir. Sipariş toplayıcı, listedeki ürüne ait raf hücresine gittiğinde ürünün yarısını veya bir kısmını alması söz konusu değildir.
- Toplayıcının, raflardan toplanması için hazırlanan her bir grup sipariş, aracın hacimsel kapasitesini aşamaz. Kapasite kısıtı, mevcut literatür ve uygulamada dikkate alınan toplayıcı aracın hacimsel kapasitesine göre oluşturulmuştur.
- Her bir sipariş toplama aracının hacimsel kapasitesi, birbirine eşittir.
- Hesaplamalarda, toplayıcı araçların kapasiteleri $3,4 \text{ m}^3$ olarak dikkate alınmıştır.
- Her bir araç, deponun sol ön kısmında bulunan T/B noktasından hareket edecek, ürünleri toplayarak aynı noktaya geri dönecektir.
- Toplayıcı, bir koridordan geçerken sağ ve soldaki raflardan ürün alabilmektedir.

Şekil 5'te şematik olarak ifade edilen sırt sırta raf sisteminin özellikleri ise şu şekildedir:

- Raf sırası sayısı: 24 adet
- Koridor sayısı: 12 adet
- Koridor genişliği: 2,5 metre
- Blok sayısı: 3 adet
- Çapraz geçit sayısı: 4 adet
- Çapraz geçit genişliği: 3 metre
- Bir raftaki hücre sayısı: 38 adet
- Hücre uzunluğu: 1,3 metre
- Hücre genişliği: 1,3 metre
- Toplam hücre lokasyonu: 2736 adet



Şekil 5 Uygulamanın Gerçekleştirildiği Paralel Sırt Sırta Raf Sistemi

8.1. Clarke-Wright Sezgiseli İle Sipariş Toplama

Sipariş toplama işlemi için; paralel ve seri CW sezgisel yöntemlerinden, literatürde daha iyi sonuç verdiği vurgulanan paralel versiyon CW sezgiseli uygulanmıştır. Siparişler arası mesafelere bağlı tasarruf değerlerine göre sıralanan (i,j) sipariş çiftleri, mümkün ise kapasite kısıtı dikkate alınarak birleştirilmiş, kapasite kısıtının izin vermediği durumlarda ise ayrı bir tur olarak, sipariş toplama planına dahil edilmişlerdir. Sipariş kümelerine göre CW algoritması ile elde edilen sonuçlar, Tablo 6’da ifade edilmiştir.

Tablo 6 Clarke-Wright Algoritması ile Elde Edilen Değerler

Sipariş Kümesi	Sonuçlar	
	Kullanılan Toplayıcı Sayısı (Tur Sayısı)	Katedilen Mesafe (metre)
1	32	4865,0
2	43	9579,6
3	56	14189,4
4	61	13433,8

8.2. Genetik Algoritma ile Sipariş Toplama

Genetik algoritma, farklı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilen etkili bir yöntemdir. Bu teknik ile kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümü söz konusu olduğunda, çözümün en önemli adımı problemin gösterimi, bir başka ifade ile kodlanmasıdır [51]. Çalışma kapsamında önerilen gösterime, sipariş toplama konusu dışındaki farklı alanlarda yapılan bir kaç çalışmada da rastlanmıştır [52, 53]. Uygulama aşamasında kullanılan genetik algoritma yöntemine ilişkin adımlar, Tablo 7’de sırasıyla ifade edilmiştir.

Tablo 7 Uygulanan Genetik Algoritma Yöntemine İlişkin Adımlar

Adım 1- Kodlama: Gruba dayalı sıralı kodlama yapılmıştır.

Adım 2- Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması: 30-50 birey arasında değişen değerlerde başlangıç popülasyonu rastsal olarak oluşturulmuştur.

Adım 3- Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması: Oluşturulan kromozomlarda ifade edilen sipariş gruplarına ait, toplam katedilen mesafe değerlerine bağlı uygunluk değerleri hesaplanmıştır.

Adım 4- Seçim: Rulet tekerleği metodu kullanılarak seçim işlemi gerçekleştirilmiştir.

Adım 5- Çaprazlama: PMX ve OX-1 çaprazlama operatörleri uygulanmıştır.

Adım 6- Mutasyon: Yer değiştirme ve tersinme mutasyon türleri uygulanmıştır.

Adım 7- Yer değişimi: Yeni oluşan bireylerin kromozom havuzuna alınması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Adım 8- Yeni popülasyonun uygunluk değerinin hesaplanması: Sipariş toplayıcıların katettiği toplam mesafe dikkate alınmıştır.

Adım 9- Durdurma kriteri: 100000 ile 3000000 arasında değişen iterasyonlarda algoritma durdurulmuştur. Durdurma kriterini karşılayan iterasyon sayısı sağlanıncaya kadar, Adım 10 işletilmiştir.

Adım 10- Döngünün Devam Ettirilmesi: Oluşan popülasyon dikkate alınarak, Adım- 4 işletilmiştir.

Çözüm için, sipariş kümelerindeki siparişleri (siparişlerin depoda bulunduğu noktaları) ve sipariş toplama araçlarını ifade eden genlerden oluşan tek bir kromozom tasarlanmıştır. Tablo 8’de n tane gen içeren, m sıralı bir kodlama ifade edilmiştir. 1. Sipariş kümesi için, 108 adet sipariş ve belirli miktarda araç sayısı (farklı tur sayısı) ile kromozomda yer alacak gen sayısı belirlenmiştir. Genetik algoritma operatörleri bu kromozoma uygulanmıştır. (0) burada, T/B noktasından çıkacak her bir sipariş toplama aracını ifade etmektedir. (0) miktarının belirlenmesi için kullanılacak minimum araç sayısına bağlı bir yaklaşım oluşturulmuştur. Uygun mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılarak kromozom içerisindeki (0) miktarının sabit kalması sağlanmıştır. Kromozomdaki, (0) miktarına bağlı olarak çözüm kümesindeki araç sayısının fazla olmasının önlenmesi ise Tablo 9’daki durum ile gerçekleştirilmektedir. Tablo 9’da görüldüğü gibi 9. ve 10. sıradaki genler, (0) ve (0) olarak yan yana gelmiştir. Bu ifade, bir sipariş toplama aracının fazla olduğunu ve kullanılmayacağını göstermektedir.

Uygulamada çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmıştır. Sipariş toplama problemine ilişkin literatür dikkate alındığında, genellikle PMX [3] ve OX-1 [37] çaprazlama operatörlerinin kullanıldığı görülmektedir. PMX benzeri, iki noktalı çaprazlama metodunun uygulandığı çalışmalar da literatürde mevcuttur [1].

Tablo 8 Sipariş Toplama Probleminin Genetik Algoritma ile İfade Edilmesi

<i>Sıra</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	.	.	.	<i>m</i>
Gen	0	5	23	12	0	3	56	104	.	.	.	n

Tablo 9 Fazla Toplayıcı Araç Olması Durumunda Kromozom Görüntüsü

<i>Sıra</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	.	.	.	<i>m</i>
Gen	0	5	23	12	0	3	56	104	0	0	81	.	.	.	n

Oluşturulan kodlama yapısı dikkate alınarak; PMX ve OX-1 çaprazlama operatörleri kullanılmıştır. Problemin kodlama yapısına uygun olmayan çaprazlama operatörleri kromozom içerisindeki başlangıç noktası değerlerini(0) olumsuz etkileyebilmekte, olurlu çözümlerin oluşmasını engelleyebilmektedir. Bir diğer alternatifte, sadece mutasyon operatörünün kullanılmasıdır [52]. Fakat sadece mutasyonun kullanılması çeşitlilik anlamında istenen sonucu sağlayamamaktadır.

Çalışmada, çaprazlama operatörünün yanı sıra mutasyon operatöründe kullanılmıştır. Bölüm 5'te detayları açıklanan ve literatürde de sipariş toplama problemlerinde kullanılmış olan yer değişimi (swapping) mutasyon [1] ve tersinmeyle (inversion) mutasyon türleri [37] uygulanmıştır. Belirtilen mutasyon operatörleri sayesinde çeşitlilik sağlanırken, lokasyonları veya araçları ifade eden herhangi bir gen kaybolmayarak bir sonraki nesile aktarılmıştır. Literatürdeki değerler dikkate alınarak; çaprazlama oranları 0,6-0,9 değerleri arasında, mutasyon oranları ise 0,05-0,5 değerleri arasında kullanılmıştır [1, 3]. Analiz sonucu oluşan en iyi mesafe değerleri ve kullanılmış olan parametreler, Tablo 10'da verilmiştir. P.B.: popülasyon büyüklüğünü; Ç.O.T.: çaprazlama operatörü türünü; Ç.O.: çaprazlama oranını; M.O.T.: mutasyon operatörü türünü, M.O.: mutasyon oranını, İ.S.: uygulanan iterasyon sayılarını, K.T.S.: kullanılan toplayıcı sayısını ifade etmektedir.

Sipariş toplama probleminin çözümü için kullanılan CW sezgiseli ve önerilen genetik algoritma tabanlı çözüm yöntemine ilişkin sonuçlar, Tablo 11'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 10 Genetik Algoritma Uygulaması Sonucu Oluşan Mesafe Değerleri

Sipariş Kümesi	P.B.	Ç.O.T.	Ç.O.	M.O.T.	M.O.	İ.S.	K.T.S.	Katedilen Mesafe (m)
1	30	OX-1	0,6	Tersinme	0,3	3000000	29	4600,2
2	30	OX-1	0,6	Tersinme	0,3	3000000	41	9326,6
3	50	PMX	0,9	Yer Değişimi	0,3	3000000	55	13897,0
4	30	PMX	0,9	Yer Değişimi	0,3	3000000	60	13210,0

Tablo 11 Kullanılan Çözüm Tekniklerinin Karşılaştırılması

Yöntem	Sipariş Kümesi-1	Sipariş Kümesi-2	Sipariş Kümesi-3	Sipariş Kümesi-4
CW Sezgiseli ile Elde Edilen Mesafe Değeri (metre)	4865,0	9579,6	14189,4	13433,8
Genetik Algoritma ile Elde Edilen En İyi Mesafe Değeri (metre)	4600,2	9326,6	13897,0	13210,0

Sipariş toplama işlemine ilişkin ortaya çıkan mesafe değerleri incelendiğinde, tasarlanan genetik algoritma tabanlı çözüm yönteminin tüm sipariş kümeleri için, ticari programlarda büyük çapta kullanılan CW algoritmasından daha kısa sipariş toplayıcı mesafeleri verdiği görülmektedir. Bu bulgular, analizi yapılan sipariş kümeleri kapsamında, oluşturulan GA tabanlı çözüm yönteminin göreceli olarak etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Tablo 11’de, kat edilen toplam mesafe değerleri verilen yöntemler kapsamında oluşturulmuş olan; sipariş grupları ve sipariş toplayıcı rotaları, her bir sipariş toplayıcının katettiği mesafe, toplayıcıların hacimsel yükleri ve sipariş toplayıcı araçların doluluk oranları, birinci sipariş kümesi için Tablo 12 ve Tablo 13’te detaylı olarak sunulmuştur. Tüm sipariş kümeleri için benzer şekilde gruplama ve rotalama işlemi gerçekleştirilmiştir.

9. Sonuç

Depolama fonksiyonları içerisinde sipariş toplama işlemleri, özellikle depolama hizmeti veren lojistik servis sağlayıcı firmalardaki en büyük maliyet unsurudur. Gerçekleştirilen çalışma kapsamında; lojistik firmalarının depolarında en sık kullanılan sistem olan çapraz geçit içeren sırt sırta paralel raf sistemleri dikkate alınmıştır. Bunun yanı sıra, yine depolarda en yaygın kullanılan toplama sistemi olan, çalışanın sipariş toplayıcı araç ile birlikte rafa giderek ürünü aldığı manuel sistem üzerinde çalışılmıştır.

Çözüm yöntemleri sonucu ortaya çıkan; bir sipariş kümesi için görev alan tüm sipariş toplayıcılara ilişkin toplam katedilen mesafe değerleri incelendiğinde, önerilen genetik algoritma tabanlı çözüm yönteminin tüm sipariş kümeleri için, paralel CW algoritmasından daha kısa sipariş toplayıcı mesafeleri verdiği görülmektedir. Genetik algoritma tabanlı yöntemle elde edilen sonuçlar, CW sezgiseli ile elde edilen toplam mesafe değerleri ile karşılaştırıldığında; analizi yapılan sipariş kümeleri için GA tabanlı yöntem kullanıldığında yaklaşık olarak sırasıyla; % 5,4 , % 2,6 , % 2,1 ve % 1,7 oranlarında, katedilen mesafe değerlerinde iyileşme sağlandığı görülmektedir. Depolama tesislerinde gerçekleştirilen sipariş toplama işleminin çok kez tekrarlanan bir süreç olduğu göz önüne alındığında, yapılan küçük ölçekli iyileştirmelerin dahi iş gücü ve zaman tasarrufu anlamında büyük faydası olacağı bir gerçektir.

Literatür incelendiğinde, genetik algoritma yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalarda, oluşan sonuçların, sadece farklı mutasyon ve çaprazlama oranları gibi parametrelerin kullanıldığı genetik algoritma sonuçları ile karşılaştırıldığı veya optimal çözüm mümkün

ise, oluşturulan genetik algoritma tabanlı çözümlerin optimale yakınlığının ifade edildiği görülmektedir. Fakat bu çalışmada, paralel CW sezgisel yöntemiyle de karşılaştırma yapılmıştır. Genetik algoritma yöntemi kapsamında; genel olarak OX-1 çaprazlama operatörü, tersinme mutasyonu ile daha iyi sonuçlar verirken, PMX çaprazlama operatörü ise yer değişimi mutasyon türü ile daha iyi sipariş toplama mesafesi değerleri vermiştir.

Tablo 12 Birinci Sipariş Kümesi Verilerine CW Sezgiselinin Uygulanmasına İlişkin Sonuçlar

Sipariş Grubu	Sipariş Toplayıcı Rotası	Toplayıcının Yüğü (m ³)	Doluluk Oranı (%)	Katedilen Mesafe(m)
1	0-1-4-2-0	2,02	59,41	26,00
2	0-3-9-22-0	3,15	92,65	135,80
3	0-5-6-11-59-61-0	3,25	95,59	271,40
4	0-7-8-10-12-13-14-16-31-32-	3,01	88,53	279,40
5	0-15-60-63-62-29-0	3,36	98,82	287,00
6	0-17-18-19-0	1,77	52,06	36,20
7	0-20-52-54-53-0	2,96	87,06	164,00
8	0-21-26-25-23-0	3,13	92,06	172,20
9	0-24-28-27-0	2,96	87,06	190,40
10	0-34-33-37-0	2,49	73,24	48,80
11	0-35-45-50-38-0	2,94	86,47	116,40
12	0-36-41-43-48-47-0	2,57	75,59	98,20
13	0-39-51-78-68-0	3,20	94,12	179,40
14	0-40-42-0	2,64	77,65	74,80
15	0-44-56-55-0	3,18	93,53	203,00
16	0-46-49-0	3,24	95,29	103,40
17	0-57-58-0	3,10	91,18	205,60
18	0-64-65-0	2,49	73,24	43,40
19	0-66-0	2,04	60,00	51,20
20	0-67-72-71-70-0	2,52	74,12	113,60
21	0-69-73-96-98-97-0	3,21	94,41	184,20
22	0-74-76-77-79-75-0	3,12	91,76	218,40
23	0-82-80-88-0	3,22	94,71	165,20
24	0-81-83-85-84-0	3,28	96,47	142,00
25	0-86-87-108-30-0	3,34	98,24	376,60
26	0-89-90-0	3,10	91,18	123,60
27	0-91-92-0	2,87	84,41	144,40
28	0-93-0	2,74	80,59	147,00
29	0-94-95-105-104-0	3,13	92,06	199,20
30	0-99-100-0	2,09	61,47	102,60
31	0-101-103-102-0	3,14	92,35	128,40
32	0-106-107-0	2,25	66,18	133,20
			Ortalama= 84,11	Toplam= 4865,00

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, geliştirilen genetik algoritma tabanlı yöntem için farklı çaprazlama ve mutasyon operatörleri de kullanılarak, çözüm algoritması geliştirilebilir. Bunun yanı sıra farklı sezgisel veya metasezgisel kullanılabilirdiği modeller geliştirilerek genetik algoritma elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir.

Tablo 13 Birinci Sipariş Kümesine Genetik Algoritma Uygulanması Neticesinde En Kısa Mesafeyi Veren Parametre Kombinasyonuna İlişkin Sonuçlar

Sipariş Grubu	Sipariş Toplayıcı Rotası	Toplayıcının Yüğü (m ³)	Sipariş Toplayıcı Doluluk Oranı (%)	Katedilen Mesafe(m)
1	0-8-30-87-108-105-104-0	3,38	99,41	376,60
2	0-67-72-71-68-0	3,22	94,71	113,60
3	0-3-58-56-0	3,31	97,35	205,60
4	0-9-7-6-5-22-0	3,40	100,00	135,80
5	0-106-107-0	2,25	66,18	133,20
6	0-69-73-75-95-85-0	3,18	93,53	168,60
7	0-84-94-92-0	3,21	94,41	162,60
8	0-11-12-13-14-16-31-32-52-0	3,32	97,65	289,60
9	0-88-89-0	3,10	91,18	113,20
10	0-19-18-17-64-0	3,30	97,06	69,40
11	0-99-100-0	2,09	61,47	102,60
12	0-20-24-28-27-21-0	3,35	98,53	190,40
13	0-23-25-26-0	3,12	91,76	172,20
14	0-29-62-63-60-0	3,33	97,94	287,00
15	0-101-102-103-0	3,14	92,35	128,40
16	0-35-42-44-47-48-0	3,23	95,00	98,20
17	0-90-91-0	3,10	91,18	136,60
18	0-93-0	2,74	80,59	147,00
19	0-36-41-43-50-45-0	3,15	92,65	116,40
20	0-82-80-81-0	2,90	85,29	105,60
21	0-38-39-40-0	2,33	68,53	59,20
22	0-46-49-0	3,24	95,29	103,40
23	0-1-2-4-0	2,02	59,41	26,00
24	0-51-54-55-53-0	3,32	97,65	177,00
25	0-65-66-0	3,00	88,24	51,20
26	0-10-15-59-61-0	3,35	98,53	271,40
27	0-34-33-37-0	2,49	73,24	48,80
28	0-70-79-57-0	3,19	93,82	247,00
29	0-74-76-78-77-0	3,40	100,00	179,40
30	0-83-86-98-97-96-0	3,36	98,82	184,20
			Ortalama= 89,73	Toplam= 4600,20

Kaynakça

- [1] C. Hsu, K. Chen, M. Chen, Mu-Chen, Batching Orders in Warehouse by Minimizing Travel Distance With Genetic Algorithms. *Computers in Industry*, 56, 169-178 (2005).
- [2] G. Clarke, J.W. Wright, Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, 4, 568-581 (1964).
- [3] C. Y. Tsai, J. J. H. Liou, T. M. Huang, Using A Multiple-GA Method To Solve The Batch Picking Problem: Considering Travel Distance And Order Due Time. *International Journal of Production Research*, 46, 22, 6533-6555 (2008).
- [4] J. Gu, M. Goetschalckx, L. F. McGinnis, Research On Warehouse Operation: A Comprehensive Review. *European Journal of Operational Research*, 177, 1, 1-21 (2007).
- [5] S. Önüt, U. R. Tuzkaya, B. Doğaç, A Particle Swarm Optimization Algorithm For The Multiple-Level Warehouse Layout Design Problem. *Computers & Industrial Engineering*, 54, 783-799 (2008).
- [6] C. Theys, O. Braysys, W. Dullaert, B. Raa, Using A TSP Heuristic For Routing Order Pickers in Warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200, 755-763 (2010).
- [7] N. Gademann, S. Van de Velde, Batching to Minimize Total Travel Time in A Parallel-Aisle Warehouse. *IIE Transactions*, 37, 63-75 (2005).
- [8] R. De Koster, T. Le-Duc, K.J. Roodbergen, Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 182, 481-500 (2007).
- [9] J. A. Tompkins, J. A. White, Y. A. Bozer, J. M. A. Tanchoco, *Facilities Planning*, Fourth Edition, John Wiley& Sons Inc., USA, 2010, p. 432.
- [10] P. J. Van Den Berg, A Literature Survey on Planning and Control of Warehousing Systems. *IEE Transactions*, 31, 751-762 (1999).
- [11] H. E. Frazille, *World Class Warehousing and Material Handling*, Mc-Graw Hill, New York, 2001, p. 147.
- [12] M. Hompel, T. Schmidt, *Warehouse Management- Organisation und Steuerung von Lager-und Kommissioniersystemen*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, p. 48.
- [13] R. Manzini, M. Gamberi, A. Regattieri, Design and Control of A Flexible Order-Picking System. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16, 1, 18-35 (2005).
- [14] J. J. Bartholdi, T. S. Hackman, *Warehouse & Distribution Science*, The Supply Chain and Logistics Institute, USA, 2011, p. 25.

- [15] S. Emmett, *Excellence in Warehouse Management*, John Wiley & Sons Ltd., 2005, p. 97.
- [16] G. Q. Huang, P. K. Wrigt, S. T. Newman, Wireless Manufacturing: A Literature Review, Recent Developments and Case Studies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1, 1-16 (2008).
- [17] N. Gademann, J. Van den Berg, H. Van der Hoff, An Order Batching Algorithm For Wave Picking in A Parallel-Aisle Warehouse. *IIE Transactions*, 33, 385-398 (2001).
- [18] P. Toth, D. Vigo, Exact Solution Of The Vehicle Routing Problem. *Fleet Management and Logistics*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1-31, 1998.
- [19] Y. A. Bozer, J. W. Kile, Order Batching in Walk and Pick Order Picking Systems. *International Journal of Production Research*, 46, 7, 1887-1909 (2008).
- [20] A. R. Ruben, F. R. Jacobs, Batch Construction Heuristics and Storage Assignment Strategies for Walk/Ride and Pick Systems. *Management Science*, 45, 4, 575-596 (1999).
- [21] R. De Koster, S. E. Van Der Poort, M. Wolters, Efficient Orderbatching Method in Warehousesç. *International Journal of Production Research*, 37, 7, 1479-1504 (1999).
- [22] R. D. Gibson, G. P. Sharp, Order Batching Procedures. *European Journal of Operational Research*, 58, 1, 57-67 (1992).
- [23] C. H. Pan, S. Y. Liu, A Comparative Study Of Order Batching Algorithms. *Omega-International Journal of Management Science*, 23, 6, 691-700 (1995).
- [24] M. B. Rosenwein, A Comparison of Heuristics for The Problem of Batching Ordersfor Warehouse Selection. *International Journal of Production Research*, 34,3, 657-664 (1996).
- [25] G. Dukic, C. Oluic, Order-picking Methods: Improving Order-Picking Efficiency. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 3, 4, 451-460 (2007).
- [26] M. Eryavuz, C. Gencer, Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi*, 6, 1, 139-155 (2001).
- [27] G. Zapfel, R. Braune, M. Bögl, *Metaheuristic Search Concepts*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2010, p. 281-290.
- [28] G. Laporte, F. Semet, Classical Heuristics For The Capacitated VRP, *The Vehicle Routing Problem-SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*, SIAM Publishing, Philadelphia, USA, p. 109-128, 2001.
- [29] K. Altinel, T. Öncan, A New Enhancement of The Clarke And Wright Savings Heuristic For The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 954-961 (2005).
- [30] M. Chen, H. Wu, An Association-Based Clustering Approach To Order Batching Considering Customer Demand Patterns. *Omega-International Journal of Management Science*, 33, 4, 333-343 (2005).

- [31] Y. Ho, Y. Y. Tseng, A Study On Order-Batching Methods Of Order-Picking in A Distribution Centre With Two Cross-Aisles. *International Journal of Production Research*, 44, 17, 3391-3417 (2006).
- [32] Y. Ho, T. Su, Z. Shi, Order-batching Methods for an Order-picking Warehouse with Two Cross Aisles. *Computers & Industrial Engineering*, 55, 321-347 (2008).
- [33] S. Henn, G. Wascher, Tabu Search Heuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems. *University Magdeburg-Faculty of Economics and Management Working Paper Series*, 1-31 (2010).
- [34] G. Laporte, The Vehicle Routing Problem: An Overview Of Exact And Approximate Algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 345-358 (1992).
- [35] S. Çetinkaya, H. Üster, G. Easwaran, B. B. Keskin, An Integrated Outbound Logistics Model for Frito-Lay: Coordinating Aggregate Level Production and Distribution Decisions. *Interfaces*, 39, 5, 460-475 (2009).
- [36] G. K. Rand, The Life And Times Of The Savings Method For Vehicle Routing Problems. *Orion*, 25, 2, 125-145 (2009).
- [37] B. Molnar, G. Lipovszki, Multi-Objective Routing And Scheduling Of Order Pickers in A Warehouse. *International Journal of Simulation*, 6, 5, 22-32 (2005).
- [38] R. L. Daniels, J. R. Rummel, R. Schantz, A Model for Warehouse Order Picking. *European Journal of Operational Research*, 105, 1-17 (1998).
- [39] D. H. Ratliff, S. A. Rosenthal, Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem. *Operations Research*, 31, 3, 507-521 (1983).
- [40] R. W. Hall, Distance Approximations for Routing Manual Pickers in a Warehouse. *IEE Transactions*, 25, 4, 76-87 (1993).
- [41] G. C. Petersen, An Evaluation Order-Picking Routeing Policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17, 11, 1098-1111 (1997).
- [42] R. De Koster, S. E. Van Der Poort, Routing Orderpickers in A Warehouse: A Comparison Between Optimal and Heuristic Solutions. *IIE Transactions*, 30, 469-480 (1998).
- [43] G. C. Petersen, W. R. Schmenner, An Evaluation of Routing and Volume-based Storage Policies in an Order Picking Operation, *Decision Sciences*, 30, 2, 481-501 (1999).
- [44] T. S. Vaughan, C. G. Petersen, The Effect Of Warehouse Cross Aisles On Order Picking Efficiency. *International Journal of Production Research*, 37, 4, 881-897 (1999).
- [45] C. G. Petersen, The Impact Of Routing And Storage Policies On Warehouse Efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*, 19, 10, 1053-1064 (1999).

- [46] K. J. Roodbergen, R. De Koster, Routing Methods for Warehouses With Multiple Cross Aisles. *International Journal of Production Research*, 39, 9, 1865-1883 (2001).
- [47] K. J. Roodbergen, R. De Koster, Routing Order Pickers in A Warehouse with a Middle Aisle, *European Journal of Operational Research*, 133, 32-43 (2001).
- [48] H. Hwang, Y. H. Oh, Y. K. Lee, An Evaluation of Routing Policies for Order-Picking Operations in Low-Level Picker-To-Part System. *International Journal of Production Research*, 42, 18, 3873-3889 (2004).
- [49] L. Hsieh, C. Huang, C. Huang, Applying Particle Swarm Optimization to Schedule Order Picking Routes in a Distribution Center, *Asian Journal of Management and Humanity Sciences*, 1, 4, 558-576 (2007).
- [50] I. V. Nieuwenhuysse, R. De Koster, Evaluating Order Throughput Time in 2-Block Warehouses With Time Window Batching. *International Journal Production Economics*, 121, 654-664 (2009).
- [51] N. Guofang, L. Minqiang, K. Jisong, Design and Analysis of Multi-level Genetic Algorithm with its Application to the Construction of Clock Binary Tree. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 6, 2A, 75-82 (2006).
- [52] Y. Wu, P. Ji, T. Wang, An Empirical Study of a Pure Genetic Algorithm to Solve The Capacitated Vehicle Routing Problem. *ICIC Express Letters*, 2, 1, 41-45 (2008).
- [53] Y. Honglin, Y. Jijun, An Improved Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem. www.seiofbluemountain.com/upload/product/201002/1265019140yksr0x2.pdf (Son Erişim Tarihi: 10.05.2010), 418-423 (2010).