



DEPO YÖNETİMİNDE SİPARİŞ TOPLAMA SİSTEMLERİ: BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

(*ORDER PICKING SYSTEMS IN WAREHOUSE MANAGEMENT: A LITERATURE REVIEW*)

Gökçeçiçek TUNA¹, Gonca TUNÇEL²

ÖZET/ABSTRACT

Sipariş toplama faaliyetleri, tedarik zinciri yönetiminde, hem üretim sistemleri açısından (montaj istasyonlarına alt parçaların tedarik edilmesi), hem de dağıtım işlemleri açısından (müşteri taleplerinin karşılanması) kritik rol oynamaktadır. Müşteri siparişlerindeki eğilimler, az sayıda ve yüksek miktarlarda siparişlerin çok sayıda ve düşük miktarlarda siparişlere dönüştüğünü göstermektedir. Diğer yandan, talep edilen sipariş teslim süreleri ise her geçen gün kısalmaktadır. Bu değişimler, işletmelerin piyasada rekabet edebilmeleri için etkin ve esnek bir sipariş toplama sistemi benimsemelerini gerektirmektedir. Emek yoğun bir faaliyet olan sipariş toplama, tüm lojistik operasyonlarını ve müşteriye sağlanan hizmet seviyesini büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca, sipariş toplama süreci toplam depolama maliyetlerinin yarıdan fazlasını oluşturmaktadır. Bu nedenle, sipariş toplama faaliyetlerinin en etkin şekilde gerçekleştirilmesi işletmeler için büyük önem taşımaktadır. Belirli kısıtlar ve parametreler göz önünde bulundurularak sipariş toplama süresini veya mesafesini kısaltacak şekilde sipariş toplama sürecinin planlanması son yıllarda birçok çalışmaya temel oluşturmaktadır. Bu çalışmada, depo yönetiminde en uygun sipariş toplama sisteminin oluşturulmasında karar vericilere yol göstermek amacıyla, sipariş toplama sürecinin tasarımı ve kontrolünde rol oynayan önemli faktörler ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir. Bu kapsamda, depolarda gerçekleşen ürün akış tipleri, sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması, depolama alanlarına ürün atama kararları, rotalama metotları, sipariş birleştirme ve bölgeleme politikaları ele alınmıştır.

Order picking activities play a critical role in supply chain management in terms of both production systems (supplying components to assembly operations) and distribution operations (meeting customer demands). Trends in customer orders reveal that customer orders are transformed from few-and-large orders to many-and-small ones. On the other hand, lead times of customer orders get consistently shorter. Because of these changes, companies need to adopt an effective and flexible order picking system in order to remain competitive in the market. Order picking, as a labor intensive activity, deeply affects both overall logistic operations and service level provided to customers. Additionally, order picking process constitutes more than half of the total warehousing cost. For these reasons, it is crucial for companies to design and perform an effective order picking process. In recent years, planning the order picking systems that minimize the travel time or the travel distance, considering the specific constraints and parameters, has become the basis for many studies. In this study, critical factors that play role in design and control of order picking process is reviewed comprehensively to aid decision makers in constituting the optimal order picking system in warehouse management. In this context, product flow types in warehouses, classification of order picking systems, storage assignments decisions, routing methods, order batching, and zoning policies are investigated.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

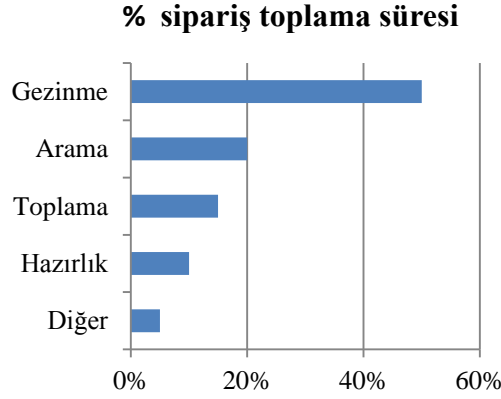
Sipariş toplama, Depo yönetimi, Sipariş toplama sistemi tasarımı
Order picking, Warehouse management, Design of order picking system

¹ Celal Bayar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Muradiye, 45140 MANİSA

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Buca, 35160 İZMİR

1. GİRİŞ

Ürünlerin depolama alanlarından, müşteri taleplerini karşılamak amacıyla toplanması sürecine karşılık gelen sipariş toplama, depolama faaliyetleri arasında en önemlisi olarak kabul edilmektedir (Tompkins vd., 2003). Bu sürecin iyileştirilmesindeki en yaygın amaç, iş gücü, makine ve para gibi kısıtlı kaynakların daha verimli kullanılmasının yanı sıra, hizmet seviyesini enbüyüklemektir. Sipariş toplama sürecinin hizmet seviyesiyle arasındaki temel bağlantı, siparişin hızlı bir şekilde oluşturulması ve en kısa sürede müşteriye ulaştırılmaya hazır hale getirilmesi ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Hizmet seviyesi, sipariş teslim süresinin ortalaması ve değişkenliği, sipariş doğruluğu ve bütünlüğü gibi çeşitli faktörlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Şekil 1’de sipariş toplama süresinin bileşenleri gösterilmektedir. Sipariş toplama süresinin yaklaşık % 50’sini gezinme süresi oluşturmaktadır. Bartholdi ve Hackman’a göre “Gezinme süresi boşa harcanan zamandır. İş gücü maliyetine neden olmaktadır ve katma değer yaratmayan aktivitedir (Bartholdi ve Hackman, 2005). Bu yüzden sipariş toplama sisteminde iyileştirme yapılması gereken ilk aday bileşendir”.



Şekil 1. Sipariş toplama süresinin bileşenleri (Tompkins vd., 2003)

Gezinme süresinin kısaltılmasının yanı sıra, depo tasarımı ve kontrolü sırasında sıklıkla göz önünde bulundurulanan diğer amaçlar şunlardır:

- Bir siparişin bir araya getirilme süresini enküçülemek
- Birden fazla siparişin oluşturduğu bir sipariş kümesinin tamamlanma süresini enküçülemek
- Depo alanı kullanımını enbüyüklemek
- Ekipman kullanımını enbüyüklemek
- İş gücü kullanımını enbüyüklemek
- Tüm ürünlere ulaşabilirliği enbüyüklemek.

Çok çeşitli tasarım ve maliyet parametresi, yüksek çeşitlilikteki donanım araçlarıyla bir araya getirildiğinde, belirtilen amaçların gerçekleştirilmesi ve doğru sipariş toplama sisteminin tasarımı zorlaşmaktadır. Depo tasarımcısını, doğru sipariş toplama sistemini seçme ve iyileştirme konusunda destekleyecek bir yöntem geliştirmek, literatürdeki mevcut çalışmaların genel amacını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, sipariş toplama sürecini ve sistem performansını etkileyen faktörler kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde, depo yönetiminde sipariş toplama faaliyetlerinin yeri ve depolama alanlarında gerçekleşen ürün akış tipleri ele

alınmıştır. Üçüncü bölümde, çeşitli donanım ve işletim politikalarına bağlı olarak sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması sunulmuştur. Dördüncü bölümde ise sipariş toplama sistemi tasarım ve kontrolünde önemli rol oynayan ürün atama stratejileri, rotalama yöntemleri, bölgesel ya da partiler halinde toplama kararları ele alınmıştır. Beşinci bölümde, çeşitli faktör birleşimlerinin farklı sipariş toplama sistemleri üzerindeki etkileriyle ilgili olarak literatürde mevcut çalışmalardan örnekler verilmiştir. Son olarak, altıncı bölümde genel bir değerlendirme yapılarak sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. DEPO YÖNETİMİNDE SİPARİŞ TOPLAMA SÜRECİ

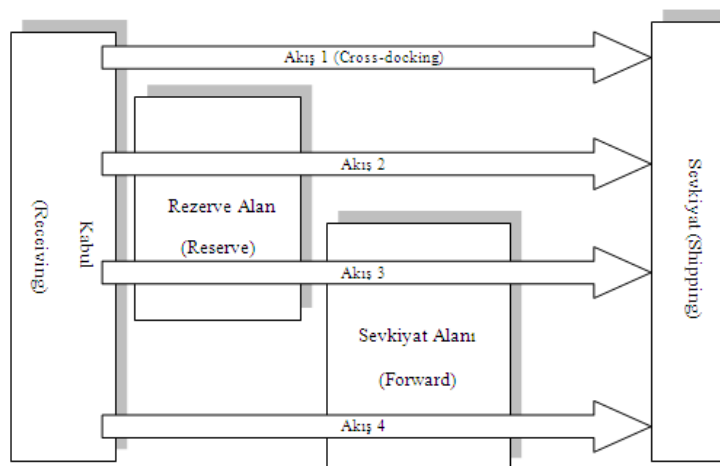
Depolar genellikle, hammaddelerin, yarı mamullerin ve bitmiş ürünlerin, üretimin yapıldığı alan ile tüketici arasında muhafaza edilmesi amacıyla kullanılır. Depolama alanları, yarı mamullerin veya bitmiş ürünlerin stoklanması amacıyla kullanılmasının yanı sıra, müşteriye dağıtım yapılacak ürünlerin muhafaza edildiği noktalar olarak da kullanılır. Depo sistemlerinde ürün akışı, (i) kabul, (ii) stoklama ve (iii) sevkiyat olmak üzere üç farklı alt sürece ayrıştırılabilir (Rouwenhorst vd., 2000).

Kabul süreci, depolama alanına ürünlerin girişiyle başlar. Ürünler kamyonlarla, ya da tesis içinde taşıma amacıyla kullanılan araçlar yardımıyla (üretim sistemlerindeki depolar için) depo alanına getirilir. Bu aşamada ürünler kontrol edilir ve farklı depolama alanına gidecek çeşitli ürünlerin paketlerinden çıkarılıp, ayrıştırılması gibi işlemler gerçekleştirilir.

Stoklama sürecinde, ürünler muhafaza edilecekleri alanlarda depolanır. Ürünlerin stoklandığı alan, sipariş toplama sürecini hızlandırmak için, rezerv alanı ve sevkiyat alanı olmak üzere ikiye ayrılır. Sevkiyat alanının büyüklüğü sipariş toplama sürecini hızlandırmak ve ortalama sipariş toplama süresini kısaltmak amacıyla sınırlandırılmıştır.

Ürünlerin sevkiyat alanının neresinde ne kadarının stoklanacağı kararı, önemli bir karardır. Ayrıca, rezerv alanında stoklanan ürünlerin, sipariş toplama işlemi hızlandırmak amacıyla sevkiyat alanına transfer edilmesi işlemi ikmal olarak adlandırılır ve bu işlemin ne kadar sıklıkla yapılması gerektiği kararı da bir diğer önemli karardır.

Depolama alanlarında gerçekleşen dört temel ürün akış yapısı Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Depolama alanında gerçekleşen ürün akış çeşitleri (Heragu vd., 2005)

Birinci tip akışta, ürünler depolama alanına geldiklerinde yapılacak işlemlere bağlı olarak kısa bir süre bekletilerek ya da bekletilmeden direkt olarak sevkiyat alanına transfer edilirler. Bu tür depolar, tedarik zincirinin önemli bir halkasını oluşturan çapraz sevkiyat (cross-docking) noktaları olarak kullanılmaktadır. Birçok işletme, etkin bir tedarik zinciri yönetimi gerçekleştirebilmek için bu şekilde bir depolama stratejisi kullanmaktadır.

İkinci tip akışta, ürünler ilk önce rezerv alanında stoklanır ve müşteri taleplerine bağlı olarak sipariş toplama işlemi burada gerçekleşir. Burada daha uzun periyotlar boyunca depolanmayı gerektiren veya daha az sayıda katma değerli operasyondan geçen ürünler depolanmaktadır.

Üçüncü tip akış ise temel depolama operasyonlarını içeren en yaygın ürün akış yapısına sahiptir. Ürünler önce paletler halinde rezerv alanında depolanır, daha sonra küçük partilere (kutulara, paketlere) ayrıştırılarak, sipariş toplamayı hızlandırmak veya siparişleri birleştirmek amacıyla sevkiyat alanına getirilmektedir.

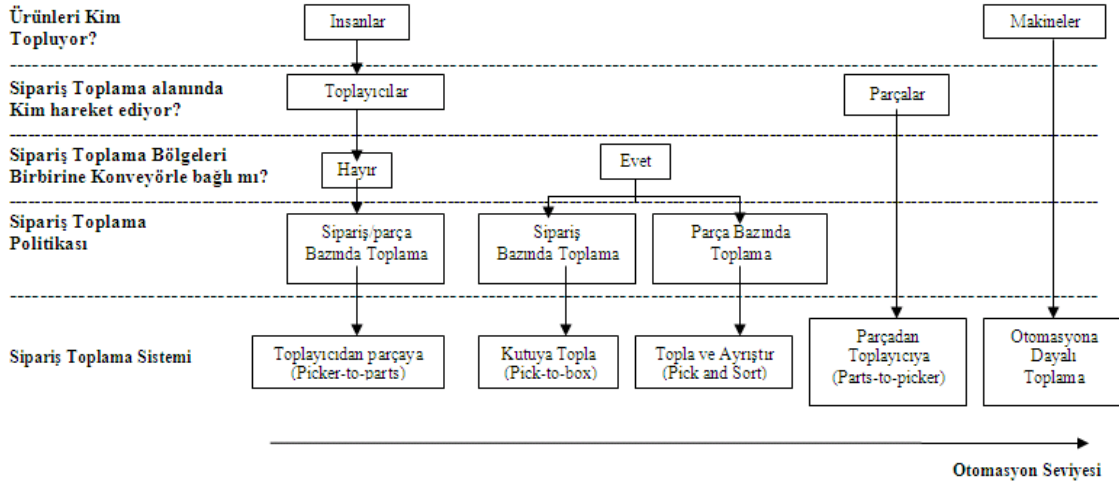
Son olarak, dördüncü tip akış ise bir çeşit transfer operasyonu olarak düşünülebilir. Burada ürünler depoya geldiklerinde direkt olarak, sipariş birleştirme amacıyla sevkiyat alanına gönderilirler. Bu tür depolama operasyonu, genellikle büyük siparişlerin birleştirilmesini gerektiren tedarik süreçlerinde gözlemlenmektedir.

3. SİPARİŞ TOPLAMA SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Sipariş toplama sistemleri, depolama alanlarında kullanılan donanım ve operasyon politikalarına bağlı olarak çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmada dört temel karar önemli rol oynamaktadır. Bu kararlar; ürünleri kimin topladığına (insan/makine), toplama alanında neyin hareket ettiğine (toplayıcılar/parçalar), sipariş toplama bölgeleri arasında mevcut malzeme aktarma sistemlerine (konveyör v.b.) ve hangi sipariş toplama politikasının izlendiğine bağlı olarak değişmektedir. Buna göre, sipariş toplama sistemlerini aşağıdaki gibi beş ana gruba ayırmak mümkündür (Dallari vd., 2009):

- a) Toplayıcıdan parçalara (Picker-to-parts)
- b) Kutuya toplama (Pick-to-box/Pick-and-pass)
- c) Topla ve ayırıştır (Pick-and-sort)
- d) Parçalardan toplayıcıya (Parts-to-picker)
- e) Tamamen otomasyona dayalı (Completely automated picking)

Şekil 3’de görüldüğü gibi, “toplayıcıdan parçalara” sipariş toplama sistemlerinden “tamamen otomasyona dayalı” sipariş toplama sistemlerine doğru artan çeşitlilikte, otomasyon seviyesinde de artış görülmektedir.



Şekil 3. Sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması (Dallari vd., 2009)

3.1. Toplayıcıdan Parçalara (Picker-to-Parts) Sistemler

En yaygın kullanılan sistem olan “toplayıcıdan parçalara” gerçekleşen sipariş toplama, depolama faaliyetlerinin temeli olarak düşünülebilir. Bu tip sistemlerde, toplayıcı, koridorlar arasında yürüyerek veya bir aracı sürerek, tek bir siparişteki parçaları toplamakta ya da yığın haline getirilmiş birden fazla sayıdaki siparişe ait parçaları toplayıp, ait oldukları siparişe göre ayırmaktadır.

Toplayıcıdan parçalara sipariş toplama sistemleri düşük seviyeli ve yüksek seviyeli olmak üzere iki gruba ayrılır (Caron vd., 2000). Düşük seviyeli sistemlerde, sipariş toplayıcı ürünleri, kutu, sele ve raf gibi toplama bölgelerinden, koridorlar boyunca hareket ederken toplamaktadır. Yüksek seviyeli sistemlerde ise sipariş toplama işlemi toplayıcının, üst kısımlardaki raflara ve toplama bölgesine, bir araç kullanarak ulaşmasıyla gerçekleştirilmektedir (Man-on-board system).

Günümüzde bu tür sipariş toplama sistemlerinin planlanması ve kontrolü, rotalama algoritmaları, ürünlerin raflara yerleşim politikaları ve radyo frekansı ile tanımlama (RFID) veya ses yönlendirmeli teknolojiler yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

3.2. Kutuya Toplama (Pick-to-box) Sistemleri

“Kutuya toplama” (Pick-to-box/Pick-and-pass) yapılan sistemlerde sipariş toplama alanı bölgelere ayrılmaktadır ve her bölgeye bir ya da daha fazla sipariş toplayıcı atanmaktadır. Tüm sipariş toplama bölgeleri ise birbirlerine konveyörle bağlı olup, konveyörler üzerinde içinde belirli bir müşteri siparişi için toplanan ürünlerin bulunduğu kutular hareket etmektedir. Toplama bölgelerinde sırasıyla ilerleyen kutularda, sipariş listesindeki tüm ürünler yer aldığı için toplama sonrası yeni bir ayrıştırma işlemine gerek duyulmamaktadır. Sipariş toplama sisteminin maliyet ve karmaşıklığı toplama bölgelerindeki iş yükü dengesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu tür sistemler küçük boyutlu çok sayıda ürünün depolanması söz konusu olduğunda ve düşük sipariş miktarlarında tercih edilir. Ancak, sipariş yoğunluğu arttıkça depoda çok sayıda kutu hareketinin yönetilmesi artan bir karmaşıklığa neden olabilmektedir (Dallari vd., 2009).

3.3. Topla ve Ayırıştır (Pick-and-sort) Sistemler

Bu tür sistemlerde, sipariş toplama alanında bulunan operatörler birden fazla siparişin bir araya getirilmesiyle oluşan sipariş kümelerinde her bir ürünün siparişlerde yer aldığı miktar kadarını toplayarak konveyörler aracılığıyla sipariş ayırıştırma alanına gönderirler. Ürünler burada kapalı döngü konveyör (closed-loop-conveyor) üzerinde sipariş bazında ayırıştırılarak müşteriye ulaşmaya hazır hale getirilirler. Sipariş toplama işlemi sipariş kümesi belirli bir hacme ulaştığında başlatılır. Toplama noktalarının daha seyrek aralıklarla ziyaret edilmesi nedeniyle verimlilik “toplayıcıdan parçalara” sipariş toplama sistemlerine göre daha yüksektir. Diğer yandan, toplama, ayırıştırma ve paketleme faaliyetleri arasında denge oluşturulması son derece önemlidir. Ayrıca, otomatik ayırıştırma sistemi yüksek yatırım maliyeti gerektirdiğinden birbiriyle yüksek oranda örtüşen çok sayıda sipariş söz konusu olduğunda etkin olmaktadır.

3.4. Parçalardan Toplayıcıya (Parts-to-Picker) Sistemler

“Parçalardan toplayıcıya” olan sistemlerde otomatik bir araç sipariş yüklerini depolama alanlarından alıp sipariş toplama bölgelerine getirmektedir. Eğer aracın getirdiği yükteki ürünlerin hepsi sipariş için kullanılmamışsa araç depolama alanına geri dönerek ürünleri tekrar yerlerine bırakmaktadır. Depolama alanında kullanılan potansiyel ekipman tipleri: bagaj konveyörleri (carousels), modüler yatay taşıma modülleri ve otomatik depolama /çekme (AS/RS) sistemleridir. Bu sistemlerin avantajı, iş gücü saatlerinin ve depo alanı ihtiyacının azalmasıyla sağlanan düşük sipariş toplama maliyetleridir. Diğer yandan, bu sistemlerde siparişin toplama noktasına ulaşması sırasında darboğazların meydana gelmesi riski yüksektir. Büyük hacimde ve akışın az olduğu ürünlerin depolandığı alanlarda bu tür sistemlerin kullanılması daha uygundur.

3.5. Tamamen Otomasyona Dayalı Sipariş Toplama Sistemleri

Bu tür sipariş toplama sistemlerinde, sipariş toplayıcı olarak operatör yerine bilgisayar tarafından kontrol edilen tam otomatik makineler ve robotlar kullanılır. Sipariş toplama işleminin robot teknolojisiyle entegre tam otomatik makineler tarafından yapıldığı bu sistemler çoğunlukla değerli, küçük ve hassas ürünlerin toplanması gibi özel durumlarda uygulanır. Tamamen otomasyona dayalı sipariş toplama sistemleri düşük ürün hasar oranı, yüksek toplama hızı ve diğer fonksiyonlarla entegrasyon kolaylığı gibi avantajlarına karşın, yüksek düzeyde teknoloji, yönetim becerisi ve yatırım maliyeti gerektirir (Chang vd., 2007).

4. SİPARİŞ TOPLAMA SÜRECİNİN PLANLANMASI VE KONTROLÜ

Sipariş toplama sistemlerinin performansını ve çeşitliliğini etkileyen ana faktörler (De Koster vd., 2007);

- Deponun yerleşim biçimi,
- Stok atama/depolama stratejisi,
- Rotalama politikası,
- Bölgelere ayırma yöntemi,
- Siparişleri kümeleme politikasıdır.

Sipariş toplama sürecinin etkinliğini sağlayabilmek için yukarıdaki faktörler üzerinde iyileştirmeler ve değişiklikler yapılarak depo yönetim sisteminin sürekli kontrolü sağlanmalıdır.

4.1 Depo Yerleşim Tasarımı

Depo yerleşim tasarımı problemi iki alt problemden oluşmaktadır. Tesis yerleşim planlaması olarak bilinen birinci problem çeşitlilik gösteren departmanlarla birlikte depo yerleşiminin nasıl yapılması gerektiğinin belirlenmesini içerir. Problemde en sık kullanılan amaç; toplam taşıma ve aktarma maliyetlerinin düşürülmesidir. Bu doğrultuda, sipariş toplama sisteminin de dahil olduğu departmanlar arasındaki faaliyet ilişkisi göz önünde bulundurulmaktadır.

İç yerleşim tasarımı ya da koridor yapılandırma problemi olarak bilinen ikinci alt problem ise sipariş toplama sistemini oluşturan depolama alanının kaç bloktan oluşması gerektiği ve bu blokların, hangi yükseklik ve uzunlukta ne kadar koridora sahip olması gerektiğine karar verilmesini içerir. Bu problemin çözümünde ise temel amaç; verilen kısıtlar ve gereksinimler doğrultusunda en iyi yerleşim planını elde etmektir. Performans ölçütü olarak ise çoğunlukla toplam gezinme mesafesinin düşürülmesi dikkate alınmaktadır (Dallari vd., 2009).

4.2. Ürünlerin Depolama Alanlarına Atanması

Ürünleri depolarda muhafaza edilecekleri alanlara atamanın ve stoklamanın çeşitli yolları bulunmaktadır. Bunlardan en sık görülen altı tanesi aşağıdaki gibidir:

a) **Rasgele stoklama:** Paletler halinde ya da belirli miktarlarda gelen benzer ürün tipleri uygun olan boş depolama alanlarına eşit olasılıkla, rasgele yerleştirilir. Ürünlerin rasgele atanması yöntemi depolama alanlarının yüksek etkinlikle kullanılmasıyla sonuçlanırken siparişin toplanması için kat edilen mesafenin artmasına neden olabilmektedir. Rasgele atama politikası, bilgisayar ile kontrol edilen depolarda etkin sonuçlar verebilir (Petersen, 1997; Choe ve Sharp, 1991).

b) **En yakın boş alanda stoklama:** Ürünler operatörler tarafından depolama alanında karşılaşılan ilk boş alana yerleştirilir. Bu yöntem depo girişindeki rafların doluluk oranını artırırken deponun arka kısımlarındaki alanların boş kalmasına neden olabilmektedir (Hausman vd, 1976).

c) **Tahsis edilmiş alanda stoklama:** Bir başka atama kararı ise her ürünün önceden belirlenen ve ilgili ürüne tahsis edilmiş alanlarda depolanmasını içermektedir. Ürünlerin tahsis edilmiş alanlarda depolanmasının bir dezavantajı depolama alanının stokta bulunmayan ürünlere tahsis edilerek ürün gelmese de boş olarak beklemeye devam etmesidir. Bu yüzden her ürün için gerçekleştirilecek en yüksek envanter seviyesini depolayabilecek büyüklükte alan rezerve edilmelidir. Tahsis edilmiş alanlarda depolama yöntemi farklı ağırlıkta veya hacimdeki ürünlerin depolanmasında kullanılabilir. Örneğin, hafif ürünler rafların tepesine yerleştirilirken ağır ürünlerin alçak raflara yerleştirilmesi gibi (De Koster ve Neuteboom, 2001).

d) **Tam-devir stoklama:** Bu yaklaşıma göre ürünler depolarda devir hızına göre stoklanmaktadır. Yüksek satış hızı gösteren ürünler kolay ve çabuk erişilebilir bölgelerde stoklanırken yavaş hareket eden ürünler depo alanının gerisinde stoklanmaktadır. Benzer bir yaklaşımda ise COI (Cube-per-Order Index) kuralına göre atama yapılır (Heskett, 1964). COI oranı ürünün depolanmak için ihtiyaç duyduğu alanın belirli bir periyot boyunca gerçekleşen talep frekansına oranı olarak

hesaplanmaktadır. Hesaplanan COI oranı küçük olan ürünler toplama/bırakma noktasına yakın olan bölgelere yerleştirilmektedir.

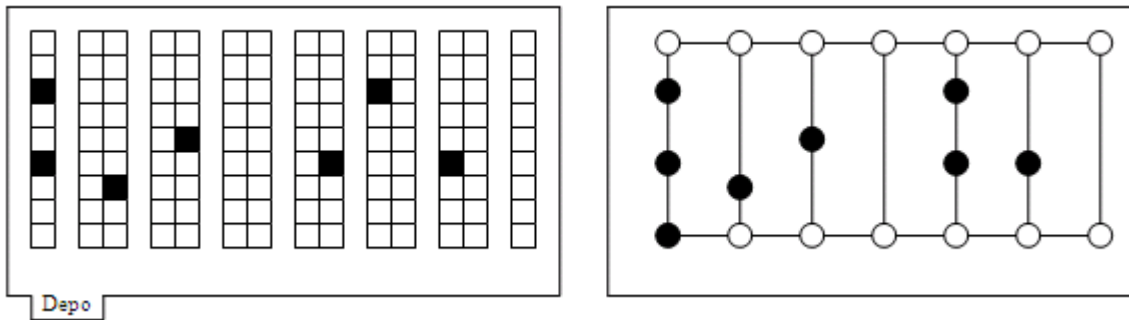
e) **Sınıf tabanlı stoklama:** Sınıf tabanlı stoklama politikası buraya kadar söz edilen bazı stoklama politikalarının birleştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Envanter kontrolünde ürünler Pareto yöntemine göre sınıflara ayrılmaktadır. Bu yaklaşıma göre en çok talep edilen ürünler tüm ürünlerin %15'ini oluşturup, elde edilen gelirin %85'i bu ürün grubundan karşılanmaktadır. Ürünler ABC analizine göre en çok talep edilenden en az talep edilene doğru A, B ve C sınıfı ürünler olarak ayrıştırılır ve her ürün sınıfına bir depolama alanı tahsis edilir (Petersen vd., 2004).

f) **Grup tabanlı stoklama:** Ürünler arasındaki olası ilişkileri göz önünde bulundurarak gerçekleştirilen bir stok atama politikasıdır. Örneğin, müşterinin talep ettiği bir ürün tipiyle birlikte diğerini de talep edebilme olasılığının yüksek olduğu durumlarda bu yöntem kullanılabilir. Ürün gruplama işlemi bu özelliği gösterebilecek benzer ürünlerin depolama alanında birbirine yakın bölgelerde stoklanmasıyla gerçekleştirilir. Ürün gruplama işlemi uygulayabilmek için, ürünlerin özellikleri arasındaki istatistiksel korelasyon bilinmeli ya da en azından tahmin edilebilir olmalıdır (Frazelle ve Sharp, 1989).

4.3. Sipariş Toplama Rotasının Belirlenmesi

Burada amaç, depolama alanında iyi bir rota oluşturmak için, sipariş listesindeki ürünlerin toplama sırasını belirlemektir. Sipariş toplayıcıların rotasının belirlenmesi problemi, Gezgin Satıcı Probleminin özel bir türüdür. Gezgin Satıcı Problemi ismini, satıcının rotasındaki şehirleri bulunduğu kentten başlayarak, birer kez ziyaret ederek, başlangıçtaki kente tekrar geri dönmesinden almaktadır. Sipariş toplayıcı da sipariş listesinin eline geçtiği başlangıç noktasından yola çıkarak listede bulunan ürünlerin bulunduğu noktaları ziyaret edip başlangıç noktasına geri dönmektedir. Bu yönüyle gezgin satıcının durumu sipariş toplama problemindeki sipariş toplayıcıyla benzerlikler göstermektedir.

Örnek bir depo yerleşimi ve buna ilişkin sipariş toplama noktalarının grafiksel gösterimi Şekil 4'te görülmektedir. Sağ taraftaki şekil üzerinde siyah noktalar başlangıç/bitiş noktasını ve ziyaret edilmesi gereken sipariş toplama noktalarını göstermektedir. Diğer noktalar ise sipariş toplayıcının uğraması zorunlu olmayan koridorlar arası geçiş yerlerini göstermektedir.



Şekil 4. Sipariş toplama noktalarıyla birlikte örnek bir depo yerleşimi

Uygulamada, sipariş toplayıcıların izleyeceği rotanın belirlenmesi problemi çoğunlukla sezgisel yöntemler kullanılarak çözülmektedir. Bunun nedeni ise en iyi rotanın makul bir sürede belirlenmesinin pratikte güç olmasıdır. Diğer yandan, her yerleşim düzeni için optimal bir rotalama yapılamadığı gibi, bazı optimal rotalar sipariş toplayıcıları rotayı izlemeden saptıracak şekilde uygun olmayan çözümler içerebilir (Gademann ve Van de Velde, 2005).

Ayrıca, optimal rotalar koridorlarda gerçekleştirilecek trafik sorunlarını göz önünde bulundurmada yetersiz kalırken, sezgisel yöntemler oluşabilecek bir trafik sorununu ortadan kaldırmaya ya da azaltmaya çalışmaktadır. Aşağıda, sipariş toplama rotasını belirlemede en yaygın kullanılan sezgisel yaklaşımlar özetlenmiştir.

1. **S-şekilli (S-shaped/transversal) sezgisel:** Sipariş toplama rotasının belirlenmesinde en kolay uygulanan yöntemlerden birisi S-şekilli sezgisel rota belirleme stratejisidir. En az bir parça içeren koridor, tüm uzunluğu boyunca dolaşarak parçaların toplanması sağlanır. Toplanacak parça içermeyen koridorlara giriş yapılmaz. Son parça toplandıktan sonra sipariş toplayıcı koridorun ön tarafından çıkış yaparak rotasını tamamlar. S-şekilli sezgisel pratikte en sık kullanılan rota belirleme stratejisidir.

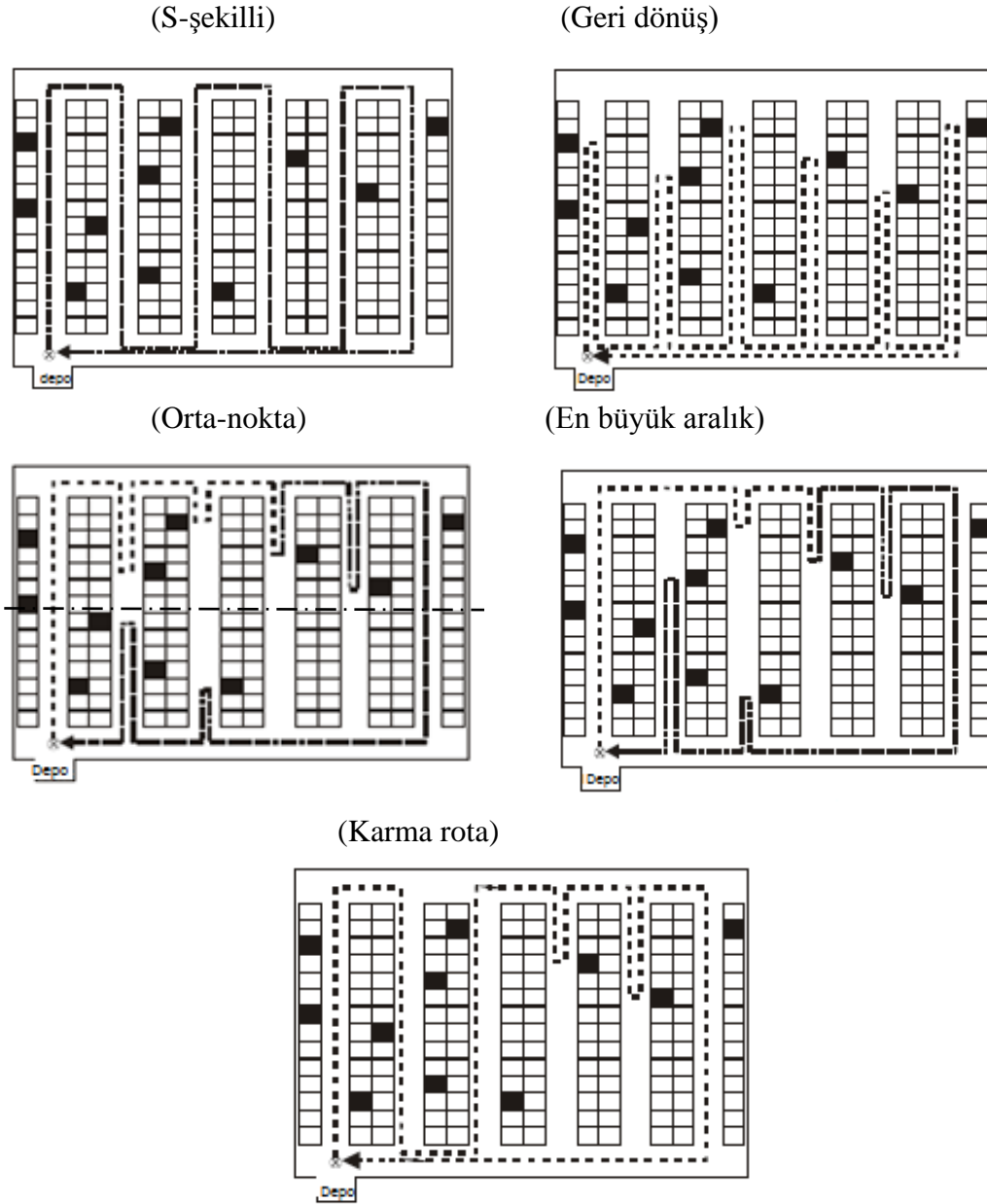
2. **Geri dönüş (return) sezgiseli:** Geri dönüş sezgiselinde koridorlara hep aynı taraftan giriş yapılır ve parçalar toplandıktan sonra yine aynı taraftan çıkış yapılır. Bu sezgisele dayalı rota belirleme stratejisini uygulamak da en az S-şekilli sezgiseli uygulamak kadar kolaydır. Bu iki sezgisel arasında seçim yapmak koridorlardan geçerken tek taraftan veya çift taraftan parça toplamaya bağlıdır. Eğer koridorlar tek taraftan malzeme toplamaya elverişli olarak tasarlanmışsa geri dönüş sezgiselini uygulamak daha uygundur. Bu durumda S-Şekilli sezgiseli uygulamak aynı koridoru iki defa geçmek anlamına gelir. Eğer koridorlar dar olarak tasarlanmışsa ve çift taraftan parça toplamaya elverişli ise bu durumda S-Şekilli sezgiselin uygulanması avantajlıdır. Diğer yandan, koridor aralıkları geniş ve koridorda toplanacak parça sayısı çok fazla olduğunda ise tek taraftan parça toplama (geri dönüş sezgiseli) daha uygun olacaktır (Goetschalckx ve Ratliff, 1988).

3. **Orta-nokta (mid-point) sezgiseli:** Bu yaklaşımda ambar ön ve arka olmak üzere iki eşit bölüme ayrılmaktadır. Ön bölümdeki raflarda bulunan malzemeler deponun ön kısmından, arka bölümdekiler ise arka kısmından alınır. Sipariş toplayıcı deponun diğer tarafına ziyaret edilen ilk ya da son koridorda geçiş yapmaktadır. Koridor başına sipariş toplamanın az olduğu durumlarda (örneğin bir sipariş toplama noktası) bu yöntem S-şekilli sezgisele göre daha iyi sonuçlar vermektedir (Hall, 1993).

4. **En büyük aralık (largest-gap) sezgiseli:** Bu sezgiselde sipariş toplayıcı ilk koridora giriş yapar ve bu koridorun içerisinden geçerek ambarın arka tarafından çıkış yapar. Devam eden koridorlarda ise “en büyük aralık” olan yere kadar koridor içerisinde hareket edilir ve aynı taraftan çıkış yapılır. Söz konusu aralık üç farklı şekilde hesaplanabilir: (i) birbirini takip eden iki parça arasındaki uzaklık, (ii) koridorun ön tarafına en yakın parça ile koridorun başlangıcı arasındaki mesafe veya (iii) koridorun arka tarafına en yakın parça ile koridorun bitişi arasındaki mesafe dikkate alınır (Oudijk vd., 1999; Roodbergen ve De Koster, 2001a). Bu koridor için hesaplanan aralıkların en uzununu ise “en büyük aralık” olarak belirlenir. Arka taraftaki en büyük aralığa kadar olan parçalar toplandıktan sonra sipariş içeren en son koridordan ön tarafa geçiş yapılır. Ön tarafta, sipariş içeren koridorlara en büyük aralığa kadar giriş yapılır ve aynı taraftan çıkış yapılır. Bu sezgiselde koridorlardaki “en büyük aralık” kat edilmeyen mesafeyi göstermektedir.

5. **Karma (composite) sezgiseli:** Bu yaklaşım, S-şekilli ve geri dönüş sezgisellerinin özelliklerini birleştirmektedir. Böylece, sipariş içeren ardışık iki koridordaki en uzak iki parçanın lokasyonları arasındaki hareket mesafesi karşılaştırılmaktadır. En uzak iki lokasyondaki parçalardan önceki koridordaki en uzak parçadan sonraki koridordaki en uzak parçaya gidişte hem S-Şekilli sezgisele göre hem de geri dönüş sezgiseline göre bir mesafe hesaplanmaktadır. Hangisi daha kısa ise bir sonraki koridora geçişte ilgili sezgisel rotalama için uygulanmaktadır.

Yukarıda bahsedilen sezgisel yaklaşımlarla belirlenmiş örnek rotalar Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Farklı sezgiseller için örnek rotalar (De Koster vd., 2007)

4.4. Bölgeleme Yöntemi

Tekli sipariş toplamaya alternatif olarak sipariş toplama alanı bölgelere ayrılabilir. Her sipariş toplayıcı belirli bir bölgeye atanarak bu bölgedeki ürünlerin toplama işlemini gerçekleştirir. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında bölgeleme yöntemi sipariş toplama sistemlerinin performansı üzerinde önemli etkiye sahip olsa da daha az dikkat çekmektedir. Bölgeleme yönteminin olası avantajları şunlardır: (i) Sipariş toplayıcı kendi bölgesinde kısa bir mesafeyi kat etmek durumundadır, (ii) sipariş toplama alanındaki trafik problemi azalmaktadır, (iii) sipariş toplayıcı ait olduğu bölgeyi ve ürünleri daha yakından tanımaktadır.

Bölgelemenin neden olduğu en büyük dezavantaj ise siparişlerin bölünmesidir. Bu durum ürünler toplandıktan sonra siparişlerin yeniden birleştirilmesini gerektirmektedir. Bu problemle başa çıkmak için iki farklı yaklaşım benimsenmiştir. Bu yaklaşımlardan birincisi

siparişin aşamalı olarak tamamlanması yöntemidir. Bu yöntemde sipariş toplayıcı, sipariş listesinde bulunan kendi bölgesine ait ürünü toplayarak siparişin tamamlanması için listeyi diğer bölgeye gönderir. Böylece sipariş listedeki ürünlerin tümü ilgili bölgelerden toplandıktan sonra tamamlanır. Diğer bölgeleme yaklaşımı ise *paralel* ya da diğer bir adıyla *senkronize* sipariş toplama yöntemidir. Burada ise, her bölgedeki sipariş toplayıcı aynı sipariş için gerekli olan ürünleri kendi bölgesinden toplar ve ürünler bir araya getirilerek sipariş tamamlanır. Bölgeleme işlemi pratikte boyut, ağırlık, sıcaklık gereksinimi, son kullanma tarihi gibi ürün özelliklerine bağlı olarak gerçekleştirilir (De Koster vd., 2007).

4.5. Kümeleme Yöntemi

Müşterilerden gelen siparişlerin büyük olması veya çok sayıda ürün içermesi durumunda siparişler tekil olarak, diğer siparişlerle birleştirilmeden toplanabilir. Müşteri siparişlerinin az sayıda olması durumunda ise gezinme süresini kısaltmak amacıyla kümeleme yöntemine göre birleştirilen siparişler tek bir turla toplanabilmektedir (Rouwenhorst vd., 2000).

Siparişleri birleştirme işlemi iki kritere göre gerçekleştirilmektedir. Bu kriterler; toplanacak siparişlerin depolama alanındaki yakınlıkları ve zaman pencereleridir. Sipariş kümelerinin yakınlığa göre oluşturulmasında önemli olan, siparişlerde yer alan ürünlerin depolama alanında buldukları bölgeler arasındaki mesafelerin hesaplanmasıdır. Siparişlerin müşterilere en kısa zamanda ulaştırılabilmesi için sipariş kümesi oluşturulurken toplama rotasının toplam gezinme mesafesini en küçükleyecek şekilde belirlenmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Siparişlerin yakınlığa göre birleştirilerek toplanmasındaki temel amaç ürünlerin müşteriye teslim süresini en küçüktür.

Siparişlerin zaman pencerelerine göre birleştirilmesinde ise aynı zaman aralığında diğer bir ifadeyle aynı zaman penceresinde gelen sabit ya da değişken siparişler bir araya getirilerek sipariş kümeleri oluşturulmaktadır. Bir araya getirilen siparişler tek seferde toplanmaktadır.

5. SİPARİŞ TOPLAMA PROBLEMİ ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMA

Depo yönetiminde sipariş toplama sürecinin performansını etkileyen faktörler ve farklı türdeki sipariş toplama sistemlerinin tasarımı ve kontrolü ile ilgili çalışmalarda son yıllarda önemli artış görülmüştür. Sipariş toplama problemlerine çözüm yaklaşımları iki ana grupta incelenebilir: kesin ve yaklaşık yöntemler. Kesin yöntemler, en iyi çözümü bulan ve genellikle dal sınır algoritması gibi ağaç yapısında arama veya dinamik programlama gibi grafik tabanlı yöntemlerden oluşmaktadır. Yaklaşık yöntemler ise sezgisel yaklaşımları içermektedir. Son on yılda geniş çeşitlilikte sezgisel yaklaşımlar araştırmacıların odağı olmuştur. Bu araştırmalar otomatik veya manuel ambar sistemleri üzerinde denenmiştir.

Armstrong vd. yarı otomatik sipariş toplama sistemlerinde sipariş kümeleme problemini ele alarak, amaç fonksiyonu toplam sipariş tamamlanma süresini en küçükleme olan bir karışık tamsayı programlama modeli oluşturmuşlardır (Armstrong vd., 1979). Geliştirilen model, Benders ayrışım yöntemi kullanılarak çözülmüştür (Benders, 1962). Ratliff ve Roshental dikdörtgen şeklinde, tek bloktan oluşan ve koridorlar içerisinde geri dönüşlere izin verilmeyen bir depoda sipariş toplama süresini kısaltmayı hedefleyen bir dinamik programlama algoritması geliştirmişlerdir (Ratliff ve Roshental, 1983). Diğer bir çalışmada ise Goetschalckx ve Ratliff koridorlarda aynı anda birden fazla sipariş toplayıcının hareketine izin verilen depolama alanları üzerinde çalışmışlardır (Goetschalckx ve Ratliff, 1988). Sipariş toplayıcının girdiği koridorların her iki yanından aynı anda ürün toplamasının mümkün olmadığı (tek taraflı toplama) ve trafik sorununun yaşanmadığı varsayımları altında optimal

sipariş toplama rotasını belirlemişlerdir. Birden fazla bloktan oluşan ve dikine paralel koridorların yanında enine paralel koridorlara da sahip olan depolama alanlarında sipariş toplama problemi ise Roodbergen ve De Koster tarafından ele alınmıştır (Roodbergen ve De Koster, 1998).

Petersen sipariş listesinin büyüklüğü, depolama alanının fiziksel yapısı, toplama/bırakma noktasının konumu gibi faktörlerin sipariş toplama sistemi performansı üzerindeki etkisini rasgele depolama politikasının uygulandığı sistemler üzerinde inceleyerek alternatif rotalama politikaları geliştirmeye çalışmıştır (Petersen, 1997). Sonraki çalışmada ise, Petersen ve Schmenner benzer analizleri sınıflandırma tabanlı ve depolanacak ürünün hacmine bağlı depolama politikalarının çeşitli örnekleri için gerçekleştirmişlerdir (Petersen ve Schmenner, 1999). Vaughan ve Petersen, sipariş toplama etkinliğini arttırmaya yönelik yaptıkları çalışmada rasgele depolama politikasının uygulandığı bir depoda bloklar arasında yer alabilecek eşit büyüklükte, yatay koridor sayısını belirlemek için bir benzetim çalışması gerçekleştirmişlerdir (Vaughan ve Petersen, 1999). Çalışmada, sipariş toplama rotasını belirlemek için dinamik programlamaya dayalı bir rotalama sezgiseli önerilmiştir. Roodbergen ve De Koster ise bu çalışmayı, aynı varsayımları içeren sipariş toplama sisteminin farklı rotalama politikaları için benzetimini yaparak genişletmişlerdir (Roodbergen ve De Koster, 2001a). Çalışmada önerilen sezgisellerin performansını analiz etmek için, elde edilen sonuçlar en kısa sipariş toplama rotasının belirlenmesinde kullanılan dal-sınır algoritması ile kıyaslanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre, araştırmacıların önerdiği “karma sezgisel” çoğu durumda diğer rotalama sezgisellerine göre daha iyi sonuç vermekle birlikte, sipariş listesi büyüklüğüne bağlı olarak optimal sonuçtan sapma % 1 ile % 25 arasında gerçekleşmiştir.

Caron vd. iki bloktan oluşan depo yerleşimini ve COI (Cube-per-Order Index) kuralına göre atama politikasını temel alarak S-şekilli ve geri-dönüş sezgisel rota belirleme stratejilerini beklenen gezinme mesafesi performans ölçütüne göre karşılaştırmışlardır (Caron vd., 1998). Bir sonraki çalışmada ise yazarlar aynı depo yerleşimini ele alarak sipariş listesi büyüklüğüne ve sınıf tabanlı depolama stratejisine bağlı olarak depolama için gereken en uygun koridor sayısını belirlemişlerdir (Caron vd., 2000).

Roodbergen ve De Koster rasgele depolama politikası ve çeşitlilik gösteren sipariş listesi büyüklüğünün gözlemlendiği depolarda iki blok arasında bulunan yatay koridorun sipariş toplama performansına etkilerini incelemişlerdir (Roodbergen ve De Koster, 2001b). Bir diğer çalışmada ise sipariş birleştirme politikaları, depolama stratejileri ve rotalama politikalarının genişletilmiş kombinasyonlarının sistem performansına etkileri Petersen ve Aase tarafından değerlendirilmiştir (Petersen ve Aase, 2004). Roodbergen, birden fazla yatay koridora sahip depolama alanlarında iki farklı sipariş toplama rotası geliştirerek taşıma mesafesini enküçükmeye çalışmıştır (Roodbergen, 2005). Çalışmada, depo içindeki koridor sayısının optimal olduğu ve ürünlerin tek bir noktadan üretime gönderildiği varsayılmıştır. Le-Duc ve De Koster tek sayıda merkezi yatay koridoru bulunan ve sınıf tabanlı ürün atama stratejisiyle geri-dönüş sipariş toplama sezgiselinin benimsendiği depolarda ambarın yapısı, sipariş toplama listesinin büyüklüğü ve depolama stratejilerinin sipariş toplama sisteminin performansına etkilerini araştırmışlardır (Le-Duc ve De Koster, 2005).

Yapay zeka tekniklerine dayalı bir çalışmada ise Manzini vd., geliştirdikleri uzman sistemleri sipariş toplama sürecinin iyileştirilmesi için kullanan bütünleşik bir yaklaşım sunmuşlardır (Manzini vd., 2005). Bu yaklaşım benzetim, genetik programlama ve istatistiksel analiz yöntemlerini bir araya getirerek depo yerleşiminin ürün sipariş profilinin, rotalama ve depolama politikalarının hem “toplayıcıdan parçalara” hem de “parçalardan toplayıcıya” sipariş toplama sistemlerinin performansı üzerindeki etkisini incelemektedir.

Araştırmacılar, performans ölçütü olarak sipariş toplama çevrim zamanı ortalamasını göz önünde bulundurmışlardır.

Hwang ve Cho sipariş toplama sistemi tasarımı probleminde iki aşamalı bir çözüm yöntemi önermişlerdir (Hwang ve Cho, 2006). İlk olarak, birim zamanda karşılanması istenen sipariş talebi ve depolama kapasitesi kısıtlarını dikkate alarak toplam maliyeti en küçükleyen bir matematiksel model geliştirilmiştir. Daha sonra, depolama alanının tasarımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden depo büyüklüğü, rafların boyutları, sipariş toplayıcıların sayısı gibi kararların sipariş toplama sistemi performansına etkileri benzetim çalışmasıyla incelenmiştir. Roodbergen ve Vis tek bloklulu yapıda ve rasgele depolama politikasının uygulandığı depolama alanında S-şekilli ve en büyük boşluk (largest-gap) rotalama sezgiselleri için en uygun depo yapısını bulmaya çalışmışlardır (Roodbergen ve Vis, 2006). Çalışmada, amaç fonksiyonu ortalama sipariş toplama süresini en küçükleme olan bir doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiştir. Uygulama sonuçları incelendiğinde, optimal koridor sayısı, sipariş kümesi büyüklüğü, sipariş toplama rotası ve ihtiyaç duyulan depolama alanı arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir.

Literatürde sıklıkla ele alınan tek sipariş toplayıcıya sahip sistemlerden farklı olarak, Pan ve Shih birden fazla sipariş toplayıcının bulunduğu depolarda gerçekleşen trafik sorununu ele almışlardır (Pan ve Shih, 2008). Araştırmacılar, koridorlarda oluşabilecek trafik sorununu çözerken birim zamanda tamamlanan ortalama sipariş sayısını arttırmaya çalışmışlardır. Bir sonraki çalışmada ise Pan ve Wu, çoğunlukla elektronik ticarete ve zamana dayalı rekabetin söz konusu olduğu durumlarda uygulanan “kutuya-toplama” sistemleri için analitik bir model geliştirerek beklenen toplam gezinme mesafesini tahmin edebilmek için sipariş toplayıcı tarafından gerçekleştirilen operasyonları Markov zinciri olarak tanımlamışlardır (Pan ve Wu, 2009). Oluşturulan bu model temel alınarak ürünlerin depolama alanlarına en iyi şekilde atanmasını amaçlayan üç farklı algoritma geliştirilmiştir. Çalışmada, sipariş toplama sıklığı, toplayıcının yaşadığı trafik sorunu, toplanan ürünlerin yeniden ayrıştırılması gibi faktörlerin etkisi örnek bir problem üzerinde incelenmiştir.

Parikh ve Meller sipariş kümeleme ve bölgeleme metotları arasındaki seçimi gerçekleştirebilmek için bir maliyet modeli geliştirmişlerdir (Parikh ve Meller, 2008). Bu modelde toplanacak sipariş yükünün dengesizliği, sipariş toplama hızı, sipariş toplayıcının yaşayacağı trafik sorunu ve toplama sonrası ayrıştırma sistemi ihtiyacı gibi faktörler değerlendirilmiştir. Bir başka çalışmada ise Yu ve De Koster, sipariş kümeleme ve toplama alanının bölgelere ayrılmasının sipariş toplama süresine etkisini analiz etmek için kuyruk ağı teorisine dayalı bir model geliştirmişlerdir (Yu ve De Koster, 2009). Ele alınan sipariş toplama sisteminde “kutuya-toplama” ve S-şekilli rotalama stratejisi uygulanmakta olup ürünler depolama alanında rasgele atanmaktadır. Geliştirilen model, toplama sonrası sipariş kümelerinin tekrar sipariş bazında ayrıştırılması işlemini de içermektedir. Uygulama sonuçlarına göre, önerilen model belirli sayıda sipariş toplama bölgesi ve kullanım oranına kadar kısa sürede kabul edilebilir sonuçlar vermekle birlikte, toplama bölgesi sayısı arttıkça sonuçlarda sapmalar büyümektedir. Çalışmada sunulan yaklaşımın alternatif sipariş toplama sistemlerinin değerlendirilmesi amacıyla pratikte kolaylıkla kullanılması mümkündür.

Bindi vd. benzer ürünlerin bir arada depolanması esasına dayanan depolama politikasını korelasyon analizine dayalı benzerlik indeksi ve ürün gruplama tekniklerine göre değerlendirerek performans karşılaştırmaları yapmışlardır (Bindi vd., 2009). Hsieh ve Huang ise önerdikleri iki farklı sipariş kümeleme sezgiselini sipariş toplama aracının ortalama kullanım oranı ve toplam gezinme mesafesi performans ölçütlerine göre karşılaştırmışlardır (Hsieh ve Huang, 2011). Çalışmada ayrıca, farklı sipariş tipleri için depolama politikası,

sipariş kümeleme ve toplama rotasının en uygun kombinasyonunu elde etmek için benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir.

Roodbergen ve “parçalardan toplayıcıya” sipariş toplama sistemlerinde, otomatik depolama ve çekme sistemlerinin tasarımı, ürünlerin raflara atanması, sipariş toplama isteklerinin sıralanması, depolama/çekme aracı gezinme mesafesinin tahmin edilmesi gibi problemlerle ilgili literatürde mevcut modelleri ve çözüm yöntemlerini incelemiştir (Roodbergen ve Vis, 2009). “Parçalardan toplayıcıya” sistemlerin incelendiği bir başka çalışmada ise, Lerher vd. otomatik depolama ve çekme araçlarının hızlanma ve yavaşlama parametrelerini göz önünde bulunduran farklı analitik modeller geliştirmişlerdir. Gerçekleştirilen benzetim çalışması ile önerilen modellerin performansı sipariş toplama süresi performans ölçütüne göre değerlendirilmiştir (Lerher vd., 2010). Bir sonraki çalışmada Lehrer vd., malzemelerin konteynırlarla giriş yaptığı ve çoklu yük taşıma araçlarının kullanıldığı depolarda “parçalardan toplayıcıya” sipariş toplama sistemlerinin tasarımı için analitik modeller oluşturmuşlardır (Lehrer vd., 2011). Ele alınan sistem küçük hacimli ürünlerin depolanması için kullanılmakta olup, konveyör sistemi otomatik istifleme araçlarıyla bütünleşik bir şekilde çalışmaktadır (miniload depolama sistemleri). Çalışmada sunulan analitik modellerin performansı farklı depo yerleşim yapıları için gerçekleştirilen benzetim çalışmasıyla karşılaştırılmıştır.

Chan ve Chan, depolama alanında çok seviyeli raf sisteminin bulunduğu ve sipariş toplamanın operatörler tarafından gerçekleştirildiği bir gerçek yaşam sipariş toplama problemini ele almışlardır (Chan ve Chan, 2011). Geliştirilen benzetim modeli ile alternatif depolama politikaları (rasgele, sınıf tabanlı ve tahsis edilmiş alanda stoklama), rotalama sezgiselleri (S-şekilli, geri-dönüş ve karma) ve farklı sipariş yoğunluğu seviyeleri için sistem performansı toplam gezinme mesafesi ve sipariş toplama süresi ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır.

Son yıllarda yapılmış bir çalışmada ise Pan vd., birden fazla sipariş toplayıcının bulunduğu “toplayıcıdan parçalara” sipariş toplama sistemlerinde farklı depolama politikalarının sistem performansı üzerindeki etkilerini toplam gezinme mesafesi ve sipariş tamamlama süresi bazında incelemiştir (Pan vd., 2012). Ele alınan sipariş toplama sistemi bir kuyruk ağı olarak modellenmiş olup önerilen sezgisel algoritma ile işgücü seviyesine bağlı olarak koridorların bloke olmasından kaynaklanabilecek bekleme zamanı ve sipariş toplama mesafesini azaltabilmek için koridorlardaki iş yüklerinin dengelenmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Geliştirilen benzetim modeli ile farklı depolama politikalarının etkinliği karşılaştırılmıştır.

Depo yönetiminde sipariş toplama sistemlerinin tasarımı ve kontrolü ile ilgili kapsamlı literatür araştırmaları De Koster vd., Dallari vd. ve Gu vd. tarafından gerçekleştirilmiştir (De Koster vd., 2007; Dallari vd., 2009; Gu vd., 2007). Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, koridor yerleşimlerinin sipariş toplama sistemi etkinliği üzerinde az sayıda araştırma yapıldığı görülmüştür. Aynı şekilde, düşük seviyeli, manuel sipariş toplama sistemlerinde depo yerleşim tasarımı ile ilgili çalışmalara da pek fazla yer verilmediği görülmüştür.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sipariş toplama sistemlerinin tasarımı ve kontrolünü etkileyen depo yerleşimi, stok atama stratejileri, rotalama politikaları, bölgelere ayırma ve kümeleme gibi kararlar ile sistem performansına etki eden temel faktörler incelenmiştir. Ayrıca, sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılmasından bahsedilmiş ve mevcut çalışmalardan örnekler verilmiştir. Sipariş toplama sistemlerinin tasarımı probleminde amaç fonksiyonunu oluşturan

sipariş toplama süresinin bileşenlerinden bahsedilmiştir. Bu konuda yapılmış çalışmalar henüz sınırlı olsa da, farklı türde sipariş toplama sistemleri ile sistem performansını etkileyen faktörlerin çeşitli kombinasyonlarının, toplam sipariş toplama süresi ya da toplam gezinme mesafesi açısından karşılaştırılmasının son yıllarda artan sayıda araştırmaya konu olduğu gözlemlenmiştir.

Literatürdeki çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, pratikte sıkça karşılaşılan “toplayıcıdan parçalara” olan sipariş toplama sistemleriyle ilgili yapılan araştırmalara, “parçalardan toplayıcıya” olan sistemlere göre daha az dikkat çekildiği görülmüştür. Bunun en önemli nedeni olarak bu tür sipariş toplama sistemlerindeki karmaşıklık ve çeşitlilik görülmektedir. Diğer yandan, literatürde çoğunlukla ele alınan “parçalardan toplayıcıya” sipariş toplama sistemleri ise kısmen veya tamamen otomasyona dayalı sistemler olarak incelenmiştir. “Toplayıcıdan parçalara” sipariş toplama sistemleriyle ilgili araştırmalarda ise depolama stratejisi olarak çoğunlukla rasgele stoklama stratejisi kullanılmıştır. Tahsis edilmiş alana stoklama ve sınıf tabanlı stoklama stratejileri ile depo sistemlerinin eniyilenmesi için gerçekleştirilmiş az sayıda analitik çalışma bulunmaktadır.

Bunun yanı sıra, sipariş toplama sürecinin planlanması ve kontrolüyle ilgili yapılan çalışmaların büyük bir bölümünde ürün talebinin bilindiği varsayılmıştır. Gerçek hayatta ise çoğunlukla talebin önceden bilinmemesi veya belirsizlik söz konusu olması nedeniyle sipariş toplama sistemlerinin eniyilenmesi probleminin talebin değişken olduğu, stokastik eniyileme problemi olarak çözülmesine ihtiyaç vardır. Son olarak, literatürde karşılaşılan çalışmaların büyük bir bölümünde tek bir sipariş toplama sistemi durumuna veya performansı etkileyen tek bir faktöre odaklanılmıştır. Tek bir faktör ya da durum temel alınarak tasarlanmış sipariş toplama sistemlerinin diğer durum ya da faktörler açısından ya da farklı eniyileme amaçları için olumlu sonuç vermesi zordur. Bu nedenle, gelecekte yapılabilecek çalışmalar birden fazla faktör kombinasyonlarına ve farklı seviyelere göre sipariş toplama performansını iyileştirecek nitelikte olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Armstrong R. D., Cook V. D., Saipé A. L. (1979): “Optimal Batching in a Semi-Automated Order Picking System”, *The Journal of the Operational Research Society*, Cilt 30, No. 8, s.711-720.
- Bartholdi J. J., Hackman S. T. (2005): “Warehouse & distribution science”, Available on line at: <http://www.tli.gatech.edu/whscience/book/wh-sci.pdf>.
- Benders J. F. (1962): “Partitioning Procedures for Solving Mixed-Variable Programming Problems”, *Numerische Mathematic*, Cilt 4, s.238-252.
- Bindi F., Manzini R., Pareschi A., Regattieri A. (2009): “Similarity-Based Storage Allocation Rules in an order Picking System: an Application to the Food Service Industry”, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Cilt 12, No. 4, s.233-247.
- Caron F., Marchet G., Perego A. (1998): “Routing Policies and COI-Based Storage Policies in Picker-to-Part Systems”, *International Journal of Production Research*, Cilt 36, No. 3, s.713-732.
- Caron F., Marchet G., Perego A. (2000): “Optimal Layout in Low-Level Picker-to-Part Systems”, *International Journal of Production Research*, Cilt 38, No. 1, s.101-117.
- Chan F. T. S., Chan H. K. (2011): “Improving the Productivity of Order Picking of a Manual-Pick and Multi-Level Rack Distribution Warehouse Through the Implementation of Class-Based Storage”, *Expert Systems with Applications*, Cilt 38, s.2686-2700.

- Chang F. L., Liu Z. X., Xin Z., Liu D. D. (2007): "Research on Order Picking Optimization Problem of Automated Warehouse", *Systems Engineering-Theory and Practice*, Cilt 27, No. 2, s.139–143.
- Choe K., Sharp G. (1991): "Small Parts Order Picking: Design and Operation", Available at: <http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Logistics%20Tutorial/order/article.htm>, Georgia Tech Research Corporation, Atlanta, Erişim Tarihi: Mart 2012.
- Dallari F., Marchet G., Melacini M. (2009): "Design of Order Picking System", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt 42, No. 1-2, s.1-12.
- De Koster R., Neuteboom A. J. (Ed.) (2001): "The Logistics of Supermarket Chains: A Comparison of Seven Chains in the Netherlands". Doetinchem: Elsevier Business Information.
- De Koster R., Le-Duc T., Roodbergen K. J. (2007): "Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review", *European Journal of Operational Research*, Cilt 182, No. 2, s.481-501.
- Frazelle E. A., Sharp G. P. (1989): "Correlated Assignment Strategy Can Improve any Order Picking Operation", *Industrial Engineering*, Cilt 21, No. 4, s.33-37.
- Gademann N., Van de Velde S. (2005): "Batching to Minimize Total Travel Time in a Parallel-Aisle Warehouse", *IIE Transactions*, Cilt 37, No. 1, s.63-75.
- Goetschalckx M., Ratliff H. D. (1988): "Sequencing Picking Operations in a Man-Aboard Order Picking System", *Material Flow*, Cilt 4, s.255-263.
- Gu J., Goetschalckx M., McGinnis L. F. (2007): "Research on Warehouse Operation: A Comprehensive Review", *European Journal of Operational Research*, Cilt 177, s.1-21.
- Hall R. W. (1993): "Distance Approximate for Routing Manual Pickers in a Warehouse", *IIE Transactions*, Cilt 25, No. 4, s.76-87.
- Hausman W.H., Schwarz L.B., Graves S.C. (1976): "Optimal storage assignment in automatic warehousing systems", *Management Science*, 22(6), 629-638.
- Heragu S. S., Du L., Mantel R. J., Schuur P. B. (2005): "Mathematical Model for Warehouse Design and Product Allocation", *International Journal of Production Research*, Cilt 43, No. 5, 327-338.
- Heskett J. L. (1964): "Putting the Cube-Per-Order Index to Work in Warehouse Layout", *Transport and Distribution Management*, Cilt 4, s.23-30.
- Hsieh L. F., Huang Y. C. (2011): "New Batch Construction Heuristics to Optimise the Performance of Order Picking Systems", *International Journal of Production Economics*, Cilt 131, s.618-630.
- Hwang H. S., Cho G. S. (2006): "A Performance Evaluation Model for Order Picking Warehouse Design", *Computers and Industrial Engineering*, Cilt 51, No. 2, s.335-342.
- Le-Duc T., De Koster R. (2005): "Layout Optimization for Class Based Storage Strategy Warehouses", (Ed.: R. de Koster, W.Delfmann), *Supply Chain Management-European Perspectives*. CBS Press, Kopenhag, s. 191-214.
- Lehrer T., Potrc I., Sraml M., Tollazi T. (2010): "Travel Time Models for Automated Warehouses with Aisle Transferring Storage and Retrieval Machine", *European Journal of Operational Research*, Cilt 205, s.571-583.
- Lehrer T., Potrc I., Sraml M. (2011): "Simulation Analysis of Mini-Load Multi-Shuttle Automated Storage and Retrieval Systems", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt 54, s.337-348.
- Manzini R., Gamberi M., Regattieri A. (2005): "Design and Control of a flexible Order Picking System (FOPS) a New Integrated Approach to the Implementation of an Expert System", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Cilt 16, No. 1, s.18–35.

- Oudijk D., Roodbergen K. J., De Koster R., Mekern M. (1999), "The Interactive Erasmus Logistica Warehouse Website", <http://www.fbk.eur.nl/OZ/LOGISTICA>.
- Pan J. C. H., Shih P. H. (2008): "Evaluation of the Throughput of a Multiple-Picker Order Picking System with Congestion Consideration", *Computers and Industrial Engineering*, Cilt 55, No. 2, s.379-389.
- Pan J. C. H., Wu M. H. (2009): "A Study of Storage Assignment Problem for an Order Picking Line in a Pick-and-Pass Warehousing System", *Computers and Industrial Engineering*, Cilt 57, s.261-268.
- Pan J. C. H., Shih P. H., Wu M. H. (2012): "Storage Assignment Problem with Travel Distance and Blocking Considerations for a Picker-to-Part Order Picking System", *Computers and Industrial Engineering*, Cilt 62, s.527-535.
- Parikh P. J., Meller R. D. (2008): "Selecting between Batch and Zone Order Picking Strategies in a Distribution Center", *Transportation Research Part E*, Cilt 44, No. 5, s.696-719.
- Petersen C. G. (1997): "An Evaluation of Order Picking Routing Policies", *International Journal of Operations and Production Management*, Cilt 17, No. 11, s.1098-1111.
- Petersen C. G., Schmenner R. W. (1999): "An Evaluation of Routing and Volume-Based Storage Policies In An Order Picking Operation", *Decision Sciences*, 30(2), 481-501.
- Petersen C.G., Aase G. (2004): "A Comparison Of Picking, Storage, And Routing Policies In Manual Order Picking", *International Journal of Production Economics*, Cilt 92, s.11-19.
- Petersen C. G., Aase, G., Heiser D. R. (2004): "Improving Order-Picking Performance Through the Implementation of Class-Based Storage", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Cilt 34, No. 7, s.534-544.
- Ratliff H. D., Rosenthal A. S. (1983): "Order Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem", *Operations Research*, Cilt 31, No. 3, s.507- 521.
- Roodbergen K. J., De Koster R. (1998): "Routing Order Pickers in a Warehouse with Multiple Cross Aisles", (Ed.: R. J. Graves, L. F. Mc Ginnis, D. J. Medeiros, R. E. Ward and M. R. Wilhelm), *Progress in Material Handling Research: (Charlotte, NC: Material Handling Institute)*, s.451-467.
- Roodbergen K. J., De Koster R. (2001a): "Routing Methods for Warehouses with Multiple Cross Aisles", *International Journal of Production Research*, Cilt 39, No. 9, s.1865-1883.
- Roodbergen K. J., De Koster R. (2001b): "Routing Order Pickers in a Warehouse with a Middle Aisle", *European Journal of Operational Research*, Cilt 133, No. 1, s.32-43.
- Roodbergen K. J. (2005): "Storage Assignment Policies for Warehouses with Multiple Cross Aisles", (Ed.: R. Meller, M. K. Ogle, B. A. Peters, G. D. Taylor, J. Usher), *Progress in Material Handling Research*, s.541-560.
- Roodbergen K. J., Vis I. F. A. (2006): "A Model for Warehouse Layout", *IIE Transactions* Cilt 38, No. 10, s.799-811.
- Roodbergen K. J., Vis I. F. A. (2009): "A Survey of Literature on Automated Storage and Retrieval Systems", *European Journal of Operational Research*, Cilt 194, s.343-362.
- Rouwenhorst B., Reuter B., Stockrahm V., Van Houtum G. J., Mantel R. J., Zijm W. H. M. (2000): "Warehouse Design and Control: Framework and Literature Review", *European Journal of Operational Research*, Cilt 122, s.515-533.
- Tompkins J. A., White J. A., Bozer Y. A., Frazelle E. H., Tanchoco J. M. A. (2003): "Facilities Planning", NJ: John Wiley and Sons.
- Vaughan T. S., Petersen C. G. (1999): "The Effect of Warehouse Cross Aisles on Order Picking Efficiency", *International Journal of Production Research*, Cilt 37, s.881-897.

Yu, M., De Koster, R. (2009): "The Impact of Order Batching and Picking Area Zoning on Order Picking System Performance", European Journal of Operational Research, Cilt 198, No. 2, s.480-490.