

Literatür Araştırması: Sipariş Toplama Politikaları ve Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (AS/RS)

Ediz ATMACA^{1,*} Ayla ÖZTÜRK²

¹Gazi Üniversitesi Müh. Fakültesi Endüstri Müh. Bölümü, Ankara, Türkiye

²Aselsan A.Ş. Akyurt Yolu 7.Km. Akyurt, Ankara, Türkiye

Özet

Bir işletmenin en temel amacı, meydana getirdiği bir ürün veya hizmeti tüketicisine ulaştırıp çalıştığı, hizmet verdiği alanda gelir sağlamaktır. İşletmelerin varlıklarını devam ettirebilmeleri ve rekabet üstünlüğü sağlayabilmeleri için, ellerindeki kaynakları yüksek verimlilikle, yüksek kalitede ve düşük maliyetle sağlamaları gerekmektedir. Bir işletmede depolama faaliyetleri toplam işletme maliyetleri içinde önemli bir paya sahiptir. Sipariş toplama ise, depolama faaliyetleri arasında en maliyetli ve en çok işgücü gerektiren işlemlerden bir tanesidir. Sipariş toplama, müşteri siparişlerinin çizelgelenmesi ve kümelenmesi, siparişlerin zemine bırakılması, stok alanlarından parçaların toplanması ve siparişlerin elden çıkarılması proseslerini içermektedir. Yapılan çalışmada, sipariş toplama politikaları ve otomatik depolama ve boşaltma sistemleri üzerine literatür araştırması yapılmıştır. Sipariş toplama politikaları ve otomatik depolama sistemleri üzerine yapılan çalışmalar incelenerek, çalışmalarda kullanılan yaklaşımlar ve literatüre katkıları üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Depolama maliyetleri, otomatik depolama ve boşaltma sistemleri, sipariş toplama politikaları

Literature Survey: Order Picking Policy and Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS)

Abstract

Main purpose of an enterprise is to obtain gain in its business the area in which it products materials or it presents service to customers. In order to carry on their presence and to supply rival business advantage, enterprises have to use resources efficiently in case of high quality and low costs. Storage facilities costs encloses an important percentage of total enterprise costs. Order picking is one of the most labour intensive and cost effective operation of storage operations. Order picking process contains operations like scheduling of customer orders, grouping of orders, picking orders from storage locations, carrying orders to I/O points. In this paper a literature review on order picking policies and AS/RS systems is given. In this paper gains of the previous studies in literature and the approaches that are used in previous studies in literature is presented by analysing previous studies on order picking policies and AS/RS systems.

Keywords: Storage costs, as/rs, order picking policies

*e-mail: hediz@gazi.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde bilişim, ekonomi, hizmet sistemleri ve sosyokültürel alanlarda hızlı teknolojik değişimler ve gelişmeler gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra para, işgücü, ürün ve hizmet akışını sağlayan en temel alanlardan olan üretim sektöründe de pek çok gelişme ve iyileştirme kaydedilmektedir. Küreselleşen dünyada; sürekli teknolojik değişim, artan rakipler ve rekabet koşulları altında, işletmelerin varlıklarını devam ettirebilmeleri ve rekabet üstünlüğü sağlanabilmesi için ellerindeki kaynakları yüksek verimlilikle, yüksek kalitede ve düşük maliyetle sağlamaları gerekmektedir. İşletmeler değişken müşteri taleplerine cevap veren esnek bir üretimi gerçekleştirebilmek ve tedarikçilerden nihai müşteriye kadar uzanan zincirdeki aksaklıkları düzeltmek zorundadır. Diğer sektörlerin yanı sıra özellikle üretim sektöründe yaşanan birçok aksaklığın temelinde üretim süreçlerinin yanı sıra malzeme/yönetim taşıma ve depolama sistemlerinden kaynaklı faktörler yer almaktadır. Bir işletmede malzeme taşıma ve depolama faaliyetleri ve sistemleri; hammadde, yarı mamül, vb. gibi ürünlerin üretime aktarılmadan önce uygun koşullar altında muhafaza edilmesi, malzemelerin üretimde kullanılması ve iş istasyonları arasında aktarılması, bitmiş ürünlerin müşteriye teslimi gibi işletme çapındaki birçok işlemlerin yürütülmesinde kullanılmaktadır. Depolama faaliyetleri toplam işletme maliyetlerinde önemli bir paya sahiptir. Depolama maliyetlerinin yüksek olmasının nedeni ise zaman alıcı ve yoğun iş gücü kullanımı gerektiren sipariş toplama faaliyetlerinin depolama prosesi içinde yer almasıdır. Yapılan çalışma ile sipariş toplama politikalarının malzeme yönetimi ve depolamada ne gibi bir etkiye sahip olduğuna ışık tutulmuştur.

2. Bulgular

2.1 Sipariş Toplama Politikalarına İlişkin Literatür Araştırması

AS/RS sistemlerde sipariş toplama problemleri genel olarak sezgisel tekniklerle çözülmüştür. Gudehusrafları iki eşit takıma ayırarak, alt takım ve üst takımdaki hareketlerin birbirlerine zıt olduğu takım sezgiselini kullanmıştır [1].

Paralel koridorlu sistemler de çalışmalar Ratliff ve diğerleri(1983) tarafından başlamıştır. Çalışmada optimal sonuca ulaşmak için optimal zamanlı dinamik programlama algoritması kullanılmıştır. Çalışmadaki varsayımlar ise, koridorlarının hepsinin dar ve uzunluklarının eşit olması, tek bir toplama alanının bulunması, sipariş yerlerinin belirgin olması ve koridorlar içerisinde geri dönüşlere izin verilmemesi şeklindedir [2].

Goetschalckx ve diğerleri chebyshev metriğini kullanan konveks kabuk algoritmasını önermişlerdir. Algoritma tüm sipariş noktaları kapsayacak şekilde kurulur ve yeni sipariş noktalarının algoritmaya katılmasına izin vererek çalışır. Algoritma, kısa turlar için kullanışlıdır; ancak turlar uzadıkça çözüm güçleşmektedir [3].

Hall, Caron ve diğerleri koridorlar içerisinde geri dönüşlerin mümkün olabileceğini göz önüne alarak, birçok değişik algoritma üzerinde durmuşlardır [4]. Bunlardan bazıları, Hall, Caron ve diğerleri tarafından oluşturulan analitik modele bağlı algoritma, bir diğeri ise Petersen ve diğerleri tarafından oluşturulan simülasyona dayalı algoritmadır [5].

De Koster ve diğerleri sipariş miktarına göre önceden belirlenen listelerle, raflardan üretime gönderilen tüm mümkün akış yollarını oluşturmuşlardır. Çalışmada dinamik programlamanın polinomal

algoritmasını kullanarak, sipariş teslim etme yolları minimize edilmeye çalışılmıştır. Bu yollar siparişe göre ileri ve geri gidişler şeklinde olmak üzere operatör tarafından belirlenmiştir. Optimal olan bu yaklaşımda malzemelerin toplandığı alan ile depolandığı alan arasındaki mesafenin sıfır olduğu varsayılmıştır [6].

McKendall vd. düzensiz şekilli departmanların bulunduğu bir depo içerisinde farklı formülasyonlar kullanarak elde tutma maliyetini minimize etmeye çalışmışlardır. Bu düzensiz yapıdaki L,O,U şeklindeki departmanlar birbirleriyle olan güçlü ve zayıf bağlarına göre Montreal'in karma tamsayılı programlama yaklaşımı kullanılarak ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Böylece departmanlar daha düzenli bir hale gelmiş; taşıma maliyetleri minimize edilmeye çalışılmıştır [7].

Wäscher sipariş toplama planlama problemleri ve metotları üzerine bir sınıflandırma yapmıştır. Bu çalışmada bir depo faaliyeti olan sipariş planlama bir tedarik zincirinin açık göstergesi için kritik olarak ele alınır. Çalışmada, parça lokasyonu, sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama konuları ele alınmaktadır [8].

Zhang ve diğerleri farklı ürün tipleri için genetik algoritmaları kullanarak, verimli bir depo tasarımı oluşturmaya çalışmışlardır. Modelde, Heragu vd.'nin kullandığı varsayımlar kullanılmıştır. Depoya ürün girişinin tek bir yerden yapıldığı, taşıma ekipmanlarının kapasitesinin yeterli düzeyde olduğu ve ürün tiplerinin depo içindeki yerlerinin bilinmekte olduğu varsayımları ilave edilmiştir [9].

Molnar ve Lipovzski bir depodaki sipariş toplayıcılarının çizelgelenmesi ve çok amaçlı rotalanması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Sipariş toplama süreçlerinin çizelgelenmesi ve planlanması için iki aşamalı bir model sunulmuştur. Çalışmaya göre birçok depolama sürecinde sipariş toplama süreçleri topla ve paketle prensibine göre organize edilmiştir. Bu çok kriterli optimizasyon problemi için pareto analizi tabanlı seçim yapan bir genetik algoritma geliştirilmiştir [10].

Broulias ve arkadaşları geliştirilmiş sipariş toplama performansı için depo yönetiminde orman endüstrisi için bir uygulama durum çalışmasını ele almışlardır. Yapılan çalışma ile, var olan fabrika deposunda sipariş toplama politikasını geliştirmek için düzenleme ve yönetim politikaları ele alınmıştır. Bu çalışmada temel amaç; tam yönetim eksikliği ve depolanan malzemelerin türü yüzünden yüksek olan tüm toplama zamanını azaltmaktır [11].

Roodbergen ve diğerleri sipariş toplamaya ait iki farklı rota geliştirerek, taşıma mesafesini minimize etmeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmada depo içindeki koridor sayısının optimal olduğu, ürünlerin üretime tek bir noktadan gönderildiği ve malzemelerin toplandığı alan ile depolandığı alan arasındaki mesafenin sıfır olduğu varsayılmıştır [12].

Heragu ve diğerleri depoyu beş ana bölüme ayırmışlardır. Bu bölümler; tesellüm, gönderme, raf depolama, ağır parça deposu, acil ve küçük parça deposu) şeklindedir. Depo alanı, ürünlerin raflarda bekleme zamanları, her bir akışta ürün taşıma maliyeti, yıllık ürün talep oranı ve kullanılan ekipmanların bilindiği varsayılarak, matematiksel modelleme yardımıyla, her bir ürünün akışı ve buna bağlı olarak fonksiyonel alanların büyüklüğü belirlenmeye çalışılmıştır [13].

Einstein bir hat borunca farklı sipariş toplama politikalarının optimal tasarımı ve analizini incelemiştir. Bu çalışmada farklı sipariş toplama ele alınmıştır. Çalışmada sipariş maliyetini azaltmak için öneriler getirilmiştir [14].

Roodbergen ve Koster depolarda sipariş toplamanın kontrol ve tasarımını incelemişlerdir. Bu çalışmada sipariş toplama hemen hemen her depo için en yoğun iş gücü gerektiren ve en maliyetli işlem olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada, optimal yerleşim tasarımı, stok atama metotları, rotalama metotları, sipariş gruplama ve bölgeleme konularına odaklanılmaktadır [15].

Galka ve arkadaşları analitik metotlar ve simülasyon ile sipariş toplama sistemleri için performans hesabı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada iki farklı çözüm metodu incelenmiştir. İlk projede performans değerlendirilmesi sistemin simülasyonu ile yapılmıştır. İkinci projede performans değerlendirilmesi için analitik metotlar kullanılmıştır [16].

Parikh ve Meller bir dağıtım merkezinde bölge sipariş toplama ve parti sipariş toplama stratejileri arasında seçim yapmaya değinmişlerdir. Hazırladıkları maliyet modelinde toplama oranı etkileri, toplama blokajı, iş yükü dengesizliği ve sınıflandırma sistem ihtiyaçları dikkate alınmıştır [17].

Günümüzde hemen hemen tüm işletmeler, depolarında ve dağıtım merkezlerinde maliyetlerini azaltmak ve verimliliklerini artırmanın yollarını aramaktadırlar. Sipariş toplama işlemi, müşteri siparişlerinin gruplanması ve çizelgelenmesi, stokların siparişlere atanması, malzemelerin stok alanlarından toplanması ve toplanan malzemelerin hazırlanması gibi çeşitli alt işlemlerden oluşur. De Koster vd., sipariş toplama maliyetinin, toplam depo işletme maliyetinin yaklaşık %55 ini oluşturduğunu söyleyerek, sipariş toplamanın önemini vurgulamışlardır. Bu faaliyetlerde kat edilen mesafe, seyahat zamanı ve toplama işlem zamanlarının en küçüklenmesi gerektiğini belirterek, sipariş toplama maliyetinin de bu sayede en düşük seviyeye indirilmesi üzerinde çalışmışlardır [18].

Ho ve Su iki koridorlu olan bir sipariş toplama deposu için sipariş gruplama metotlarını ele almışlardır. Sipariş gruplama toplayıcıların yolculuk uzaklığını minimize etmek için depolarda kullanılan metotlardan biridir. Çalışmada, iki koridorlu ve köşelerin birinde I/O noktası olan bir sipariş toplama deposu için sipariş gruplama metotları üzerinde odaklanılmıştır [19].

Tunç ve arkadaşları depo sisteminde sipariş toplama sürecinin iyileştirilmesi sürecini ele almışlardır. Yapılan çalışmada bir firma için; depo raf sisteminden sipariş çekme politikası optimize edilmeye çalışılmıştır. Öncelikle parçaların raflar içerisindeki konumları incelenmiş, en uygun toplamayı gerçekleştirebilmek için mümkün rotalar belirlenmiştir. Taşıma zamanları ve maliyetleri en küçüklenecek şekilde optimal rotalar belirlenerek yeni bir depo sistemi önerilmiş ve sipariş toplama zamanlarında iyileştirmeler yapılmıştır [20].

Hsien Pan ve Wub topla ve geç depo sisteminde bir sipariş toplama hattı için stok atama problemini ele almışlardır. Çalışma, topla ve geç sistemleri için; toplama hattı boyunca toplayıcının kat ettiği yolu tahmin etmek amacıyla bir toplayıcının operasyonlarını Markov zinciri gibi tanımlayarak analitik bir model geliştirir. Önerilen analitik modele dayanarak, bu makale stok atamanın özelliklerini ele alır ve tek toplama bölgesi, eşit genişlikte olmayan bölgelere sahip bir toplama hattı, bir topla /geç sisteminde eşit olmayan genişlikte bölgelere sahip bir toplama hattı olması durumlarında parçaları stoğa optimal olarak yerleştiren üç algoritma önerir [21].

Rim ve Park sipariş doluluk oranını enbüyükleme için sipariş toplama planını ele almışlardır. Çalışmada, bir siparişteki tüm parçaların stokta uygun olduğu zaman toplanması ve dağıtılması ile tam doluluğu sağlanamayan siparişlerin yüksek öncelikle bir sonraki güne transfer edilme durumu dikkate alınmaktadır [22].

Parikh ve Meller raylı taşımali sipariş toplama politikası için bir uzaklık-zaman modelini incelemişlerdir. Çalışmada, depo koridorlarının verilen bir sayı ve uzunluğu için yatay uzaklık mesafesini dikkate alan ve böylelikle koridorların uzunluğunu da ele alabilinmesini sağlayacak olan öncelikli araştırma açıklanmıştır [23].

Pan ve Shih darboğaz durumunda birçok toplayıcı sipariş toplama sisteminin girdinin değerlendirilmesi durumunu incelemişlerdir. Bu çalışma bir depoda birçok toplayıcıyı içeren bir sipariş toplama sistemini araştırmaktadır. Önerilen model önce simülasyon deneyi ile geçerli kılınmıştır ve sonra sipariş toplama sisteminde stok birimlerinin farklı talep dağılımını kullanan iki popöler stok atama stratejisi altında depo girdilerini karşılaştırmada kullanılmıştır [24].

Koster ve Yu sipariş toplama sistem performansı üzerinde sipariş gruplamanın ve toplama alanını bölgelemenin etkisine değinmişlerdir. Çalışma, bir topla ve geç sipariş toplama sisteminde, sipariş gruplamanın ve toplama alanı bölgelemesinin ortalama sipariş giriş zamanındaki etkisini analiz etmek için kuyruk ağları teorisine dayalı bir yaklaşım modelini amaçlar [25].

ştet depo sistemlerinde sipariş toplama operasyonlarını ele almıştır. Bir depo tasarımı ve uygun depo ekipmanının seçilmesi karışık bir karar sürecidir ve uzun süren stratejik bir karardır. Etkili bir sipariş toplama operasyonunun geliştirilmesi ve bu toplama işlemi doğruluğunun arttırılması ürünlerin toplanması için uygun metotlarla kombine edilmiş yeni teknolojilerin bütünleştirilmesini gerektirmişti. Bu çalışma ile depo tasarımında sipariş toplama sürecinin anlam ve önemine değinilmiştir [26].

Goyal ve Chang stoğa bağımlı talepli bir envanter için optimal toplama ve transfer politikasını ele almışlardır. Çalışmada, perakendecinin optimal sipariş miktarı ve sipariş başına, depodan alana olan transfer sayısını belirlemek için toplama-transfer stok modeli üzerinde durulmuştur [27].

Meller ve Parikh dağıtım merkezindeki sipariş toplama sisteminin optimal stok sistem konfigürasyonunun belirlenmesinin anahtar bir karar olduğu kararlara bağlı olduğunu belirtmektedirler. Çalışmada, stok koridorlarının belli bir sayı ve uzunluğu için yatay uzaklıkların ele alındığı ve koridorların yüksekliklerinin de ele alındığı bir araştırma sunulmaktadır [28].

Hsieh ve Huang K ortalama partileme ve kendinden organize haritę partileme isimli iki yeni sezgisel metodu kurmuş ve simülasyon deneyleriyle doğrulamışlardır. Her iki algoritma da toplam seyahat zamanlarının performansında, ortalama toplamada araç tasarrufunda ve CPU kullanım süresinde üstün sonuçlar elde etmektedir [29].

Felix ve Chan potansiyel binlerce ürün için kesin stok lokasyonlarının belirlenmesi yeni bir depo tasarımında ya da var olan bir faaliyetin yenilenmesinde depo yöneticisinin karşılacağı ilk sorun olduğunu bu çalışma ile vurgulamıştır. Çalışmada, çoklu raf sistemine sahip ve elle toplamanın yapıldığı bir depo sisteminde stok atama problemine dayanan gerçek bir durum çalışmasının simülasyonu yapılmıştır [30].

Andriansyah ve arkadaşları küçük yük iş istasyonu sipariş toplama sistemi için cebir tabanlı simülasyon dili kullanan modüler ayrıık olay simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Önerilen model alanlar arası farklılıklarla sistematik olarak yapılandırılmıştır ve operasyon seviyeleri kolayca belirlenebilmektedir. [31].

Tablo 1’de sipariş toplama sistemlerinde genel yaklaşımlar özetlenmektedir.

Tablo 1. Sipariş toplama sistemlerinde genel yaklaşımlar

YAZAR	TEKNİK	AMAÇ /KARAR PROBLEMİ
Gudehus [1]	Sezgisel	Rafları iki eşit takıma ayırarak, alt takım ve üst takımdaki hareketlerin birbirlerine zıt olduğu durumda sipariş toplama
Ratliff ve Diğerleri [2]	Dinamik Programlama	Belli kısıtlar ve varsayımlar altında optimal sipariş toplama politikasının belirlenmesi
Goetschalckx ve Diğerleri [3]	Chebyshev Metriğini	Kısa turlar için sipariş noktalarının belirlenmesi
Hall [4]	Analitik Modele Bağlı Algoritmalar	Koridorlar içerisinde geri dönüşlerin mümkün olabileceği varsayımı altında sipariş yolunun belirlenmesi
Caron ve Diğerleri [4]	Analitik Modele Bağlı Algoritmalar	Koridorlar içerisinde geri dönüşlerin mümkün olabileceği varsayımı altında sipariş yolunun belirlenmesi
De Koster ve Diğerleri [6]	Dinamik Programlama	Sipariş teslim etme yolları minimize edilmesi
Petersen ve Diğerleri [5]	Simülasyon	Koridorlar içerisinde geri dönüşlerin mümkün olabileceği varsayımı altında sipariş yolunun belirlenmesi
McKendall [7]	Formülasyonlar ve Karma Tamsayılı Programlama	Taşıma ve elde tutma maliyetinin minimize edilmesi
Wäscher [8]	Literatür İncelemesi	Parça lokasyonu, sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama konularının ele alınması
Zhang ve Diğerleri [9]	Genetik Algoritma	Verimli depo tasarımı
Molnar ve Lipovzski [10]	Genetik Algoritma	Bir depodaki sipariş toplayıcılarının çizelgelenmesi ve çok amaçlı rotalanması
Broulias ve Diğerleri [11]	Analitik Modelleme	Toplama zamanının azaltılması için sipariş toplama politikasını geliştirmesi
Roodbergen ve Arkadaşları [12]	Sezgisel	Sipariş toplamaya ait iki farklı rota geliştirerek, taşıma mesafesini minimize edilmesi
Heragu ve Diğerleri [13]	Matematiksel Modelleme	Depoda fonksiyonel alanların belirlenmesi
Einstein [14]	Stokastik modelleme	Sipariş maliyetinin azaltılması için optimal tasarımın araştırılması
Roodbergen ve Koster [15]	Literatür İncelemesi	Depolarda sipariş toplamanın kontrol ve tasarımının incelenmesi
Galka ve Diğerleri [16]	Analitik Metot ve Simülasyon	Sipariş toplama sistemleri performans değerlendirilmesi
Parikh ve Meller [17]	Maliyet Modeli	Sipariş toplama stratejisinin maliyet minimizasyonu
De Koster ve Diğerleri [18]	Formülasyon ve Analitik modelleme	Taşıma ve işlem zamanının minimize edilmesi
Ho ve Su [19]	Analitik Modelleme	Rota planlama metotları, koridor-toplama-frekans dağılımları, kaynak-toplama seçim kuralları ve eşlik eden-toplama seçim kurallarının karşılıklı etkileşimlerinin incelenmesi
Tunç ve Diğerleri [20]	Rota Belirlenmesine Dayalı Algoritma	Depo sisteminde sipariş toplama sürecinin iyileştirilmesi

Tablo 1.(Devam) Sipariş toplama sistemlerinde genel yaklaşımlar

YAZAR	TEKNİK	AMAÇ /KARAR PROBLEMİ
Hsien Pan ve Wub [21]	Markov Zinciri Temelli Analitik Modelleme	Stok atama probleminin çözülmesi
Rim ve Park [22]	Doğrusal Programlama	Sipariş dolun oranı maksimizasyonu
Parikh ve Meller [23]	Analitik Modelleme	Raylı taşınabilir sipariş toplama politikası için bir uzaklık-zaman modelinin belirlenmesi
Pan ve Shih [24]	Simülasyon ve Stok Atama Stratejileri	Darboğaz durumunda birçok toplayıcı sipariş toplama sisteminin girdinin değerlendirilmesi
Koster ve Yu [25]	Kuyruk Teorisine Dayalı Simülasyon	Sipariş toplama sistem performansı üzerinde sipariş gruplarının etkisi
Ştet [26]	Analitik Modelleme	Etkili bir sipariş toplama operasyonunun geliştirilmesi
Goyal ve Chang [27]	Toplama-Transfer Stok Modeli	Stoğa bağımlı talebe sahip bir envanter için optimal toplama ve transfer politikasının belirlenmesi
Parikh ve Meller [28]	Analitik modelleme ve Olasılık Modelleri	Person on board sipariş toplama sistemi için seyahat zamanı hesabı
Hsieh ve Huang [29]	Simülasyon	Sipariş toplama sistemlerinin performansının artırılması
Felix ve Chan [30]	Simülasyon	Çoklu raf ve elle depolama yapılan bir sistemde stok atama problemi
Andriansyah [31]	Simülasyon	Mini-Load iş istasyonu sipariş toplama sisteminin cebir tabanlı simülasyon modeli

2.2. AS/RS Sistemleri Üzerine Literatür Araştırması

Mansuri (1997) AS/RS sistemleri için döngü zamanı hesaplaması ve adanmış stok atamasını ele almaktadır. Çalışmada, AS/RS sistemleri için adanmış stok politikası alternatiflerinin araştırılmasında bilgisayarda işletilen bir algoritma sunulmaktadır. Bu algoritma alan/ stok ataması ilişkilerinin araştırılmasını, sistem performansı üzerinde tümleşik ve bireysel etkilerinin araştırılmasını kolaylaştırmaktadır [32].

Yamaguchi ve Shimoda sistem simülasyonunun kullanımıyla taşınabilir raf tipleri olan AS/RS için operasyon analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Üretim kaynakları için tasarlanmış olan taşınabilir raf tipli AS/RS sistemlerinin operasyon analizlerine bu çalışmada yer verilmektedir [33].

Lee ve Schaefer bir stok talebinin önceden bilindiği bir stok noktasına atandığı AS/RS sistemlerinde stoklama ve çekme işlemlerinin zaman bakımından sıralanmasının etkisini ele almışlardır. Çalışmada, benzersiz operasyon karakteristiklerini kullanarak, dinamik ve statik yaklaşımlarda optimal ve sezgisel birkaç zaman sıralaması metodları sunulmaktadır [34].

Jacobs ve diğerleri karosel stoklarının servis düzeyinin maksimizasyonu için basit bir sezgisel yöntem öne sürmüşlerdir. Çalışmada, farklı malzemelerin depolandığı bir sistem ele alınmaktadır. Malzemeler gruplarda stoklardan ayrıştırılmaktadır. Bir grup her türdeki malzemenin belli bir miktarını içermektedir. Tamsayı maksimizasyon problemi, tekrar yükleme olmadan kaç malzeme grubunun

çekilebileceğini maksimize etmek için kaç farklı durumda stoklama yapılması gerektiğini göstermektedir [35].

Berg ve Zijmdepolama yönetimi için modeller ve örneklerin sınıflandırılmasını içeren bir literatür araştırmasına yer vermektedirler. Çalışmada, depolama sistemleri ve depolama yönetim problemlerinin sınıflandırılması tartışılmaktadır [36].

Malmberg ve Al-Tassan rassal stok atama yönetimini uygulandığı bir sistem için bütünleşik performans modeli üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada birim yük sipariş toplama sistemlerinden daha ziyade malzeme, ekipman, stok konfigürasyonu ve faaliyet parametrelerinin önemini göstermek için bir matematiksel model formüle edilmiştir [37].

Petersen ve Aase (2003) manuel sipariş toplama sistemlerinde toplama, stoklama ve rotalama politikalarının karşılaştırılmasını yapmışlardır. Çalışma, toplama, stoklama ve rotalama olmak üzere üç süreç kararının, sipariş toplamanın temel bir maliyet bileşeni olan sipariş toplayıcının seyahatinin üzerindeki etkisini incelemektedir [38].

Lee ve diğerleri M/G/1 kuyruk teorisinin kullanımıyla AS/RS için performans hesabı üzerinde çalışmışlardır. Çalışmaya göre, AS/RS sistemlerinin performansının hesaplanması için bilgisayar simülasyon metodu ya da statik yaklaşımları kabul etmenin genel bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir. Çalışmada, bir servis ve iki kuyruklu bir kuyruk modeli olan M/G/1 modelinin kullanımıyla birim yük AS/RS sistem performansının hesabı için stokastik bir yaklaşım önerilmektedir [39].

Potrc ve arkadaşları AS/RS hızlı stoklama ve ürünlerin çekilmesi, stok alanından tasarruf sağlanması, yüksek güvenilirlik ve daha iyi stok kontrolü, ürünlerin hasarlanmaması için artırılmış güvenlik gibi pek çok avantajı olduğunu belirtmişlerdir.. Çalışmada, tek ya da çok katlı depo sistemlerinde, yükseklikte eşit hacimli hücreli ve rassal stok atamanın yapıldığı bir sistemde sezgisel seyahat zamanı modelleri sunulmaktadır [40].

Kwon ve Kim bir sipariş toplayıcıya birden fazla koridorun hizmet ettiği durumlarda koridor sonu sipariş toplama sistemlerinin bir analizini incelemişlerdir. Çalışma, asgari yük taşıyan AS/RS sistemlerinde koridor sonu sipariş toplama sistemiyle ilgilenmektedir [41].

Lee ve diğerleri AS/RS'lerdeki depolama hücrelerinin raf yapısının optimal tasarımı üzerinde durmuşlardır. Çalışmada, modüler hücrelerinin raflarıyla AS/RS modelleri anlatılmaktadır [42].

Muppani ve Adil depo stok lokasyon ataması için stok sınıflarının verimli dizilişi için bir tavlama benzetimi yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada, sınıf dizilişi için tamsayı programlama modelinin çözen ve bütün mümkün kombinasyonları ele alıp, stok alan maliyeti ve sipariş toplama maliyetini de göz önüne alan stok atamalarını da çözmek için tavlama benzetimi algoritması geliştirilmiştir [43].

Roodbergen AS/RS sistemleri üzerine bir literatür araştırması yapmıştır.. AS/RS tasarımındaki şimdiki durumun kapsamlı bir açıklaması; sistem konfigürasyonu, seyahat zamanı tahmini, stok ataması, yerleşim lokasyonu ve taleplerin sıraya dizilmesi gibi geniş konu aralığı için açıklamalar yer almaktadır [44].

Kovacs milkrun lojistiğinin kullanıldığı bir depoda optimal stok atamasının bulunması çalışmasını yapmıştır. Çalışma, çoklu komutlu sipariş toplamalarıyla karakterize edilen ve milkrun lojistiğinin kullanıldığı depolama sistemlerinde stok atama problemlerine işaret eder [45].

Moccia ve diğerleri her göreve bir başlama ve bitiş zamanının eklendiği aralıklı zaman aralığının ele alan geliştirilmiş dinamik atama modelini ele almaktadırlar. Çalışmada 3 tip tamsayı programlama modeli çalışılmıştır. En güçlü model küçük boyut ve uzaklıklarda kısa sürede çözüm vermektedir [46].

Lerher, Potrc ve diğerleri Koridor Transferli Çekme ve Depolama makinası olan otomatik depolama sistemlerinde seyahat zamanının hesaplanması için seyahat zamanı modellerini sunmaktadır. Bu modeller çekme ve depolama makinelerinin hızlanma, yavaşlama ve maksimum hız gibi operasyon karakteristiklerini ele almaktadır [47].

Hu ve Zhu ve Hsu AS/RS ler stok hücrelerine rassal erişim imkanı sağlasa da öncesinde yüklerin sınıflandırılması çekme zamanını azaltmaktadır. Çalışmada, yeni AS/RS sistemlerinde; yatay ve dikey hareketler için, ayrı ve bağımsız mekanizmaları olan yük karıştırma konusu ele alınmaktadır [48].

Pocket ve Starck , taktik depo ve stok kararlarının birbirine entegre edilmesi üzerine çalışmışlardır. Depo ve stok kararlarının farklı derecede entegre edildiği iki farklı çözüm metodolojisi önerilmektedir [49].

Langevin ve Riopel malzemelerin depolarda yeniden yerleştirilmesinin genellikle kullanılan makinalarda darboğaz olduğu durumlarda kullanıldığı üzerinde durmuşlardır. Çalışma, dinamik operasyon politikasının kullanıldığı bir depolama sisteminde malzemelerin yeniden yerleştirilmesinin optimizasyonunu ele almaktadır [50].

Azzi ve diğerleri modern üretim ve dağıtım sistemlerinde, işgücü maliyetlerini, depolama alanı ihtiyacını ve hata oranını azaltırken ürün uygunluğunu arttıran yüksek stok sistemi olan AS/RS'lerin 1950'li yıllardan beri yaygın olarak kullanıldığını belirtmektedirler. Çalışmada seyahat zamanını hesaplayan yeni bir metod önerilmektedir[51].

Tablo 2'de AS/RS depolama sistemlerindeki genel yaklaşımlar özetlenmiştir.

Tablo 2. AS/RS depolama sistemlerinde genel yaklaşımlar

YAZAR	TEKNİK	AMAÇ /KARAR PROBLEMİ
Mansuri [32]	Algoritma	AS/RS Sistemleri için Döngü Zamanı Hesaplaması ve Adanmış Stok Ataması
Shimoda ve Yamaguchi [33]	Simülasyon	AS/RS İçin Operasyon Analizi
Lee ve Schaefer [34]	Sezgisel	Adanmış stok politikalı AS/RS sistemini zaman bakımından sıralama
Jacobs ve Diğerleri [35]	Sezgisel	Karosel Stoklarının Servis Düzeyinin Maksimizasyonu
Zjim ve Berg [36]	Literatür İncelemesi	Dağıtım sistem tasarımı, depo tasarımı, alan kısıtları altında stok yönetimi, stok atanması ve depolama operasyonlarının çizelgelenmesi ve atanması gibi karar vermeyi destekleyen model örneklerinin incelenmesi
Malmberg ve Al-Tassan [37]	Matematiksel Modelleme	Rassal stok atamalı sipariş toplama sistemleri için bütünlük performans modeli
Petersen ve Aase [38]	Simülasyon	Manuel sipariş toplama sistemlerinde toplama, stoklama ve rotalama politikalarının karşılaştırılması

Lee ve Diğerleri [39]	Kuyruk Teorisine Dayalı Simülasyon	AS/RS sistemlerinin performansının hesaplanması
Potrc ve Sraml [40]	Simülasyon	Çok katlı AS/RS modellemesi
Kwon ve Kim [41]	Kuyruk Teorisine Dayalı Simülasyon	AS/RS sistemlerinde koridor sonu sipariş toplama sisteminin analizi
Lee ve Diğerleri [42]	Matematiksel Modelleme	Mevcut sistemden daha esnek ve mevcut raf yapısına göre yüksek alan kazancı sağlayan bir AS/RS tasarımı
Adil ve Muppani [43]	Tavlama Benzetimi	Sınıf dizilişi için tamsayı programlama modelinin çözmek ve bütün mümkün kombinasyonları ele alan, stok alan maliyeti ve sipariş toplama maliyetini de ele alan stok atamalarının çözülmesi
Roodbergen [44]	Literatür İncelemesi	AS/RS tarihçesinin incelenmesi
Kovacs ve Diğerleri [45]	Karma Tamsayı Programlama	Milkrun lojistiğinin kullanıldığı depolama sistemlerinde optimal stok atamasının bulunması
Moccia ve Diğerleri [46]	Sezgisel	Dinamik atama probleminin modellenmesi
Lerher, Potrc ve Diğerleri [47]	Analitik Modelleme ve Simülasyon	Otomatik depolama sisteminde sehayat zamanının hesaplanması
Hu, Zhu ve Hsu [48]	Algoritma	Yatay ve dikey hareketlerde bağımsız, yük toplama
Pocket ve Starck [49]	Matematiksel Modelleme	Depo ve stok planlaması
Langevin ve Riopel [50]	Tabu arama algoritması	Dinamik stok politikasının kullanıldığı bir sistemde yeniden yerleşim optimizasyonu
Azzi ve arkadaşları [51]	Monte Carlo Benzetimi	Seyahat zamanı hesaplanması

Roodbergen ve Vis (2009), AS/RS sistemlerinde sistem konfigürasyonu ve kontrolü konuları üzerine literatür araştırması yapmışlardır. Bu çalışmalar güncellenerek Tablo 3’de özet halde sunulmuştur [52].

Tablo 3. AS/RS için yapılmış genel çalışmalar

Çözüm Yöntemi	Yazarlar	AS/RS Türü	Sistem Konfigürasyon							Kontrol				
			Stok rafları	Stok yerleri	Kreyn sayısı	Koridor sayısı ve uzunluğu	I/O sayısı ve yerleri	Sipariş toplayıcı sayısı	Tampon sayısı	Stok atama	Durma noktası	Gruplama	Sıralama	
Simülasyon	Ashayeri et al)[52]	Birim yük												
	Houshyar and Chung [52]	Birim yük				X								
	Taboun and Bhole [52]	Birim yük				X				X				
	Randhawa and Shroff [52]	Birim yük	X				X			X				X
	Lee et al) [52]	Birim yük			X									
	Potrč et al. [52]	Birim yik ve çoklu mekik	X											
Simülasyon ve Analitik	Rosenblatt et al. [52]	Birim yük	X		X	X	X							
	Adil ve Muppani) [52]	Birim yük	X			X	X			X				
	Lerher, Potrc ve Diğerleri [52]	Birim yük	X	X		X	X	X		X				
Analitik	Karasawa et al. [52]	Birim yük	X				X							
	Zollinger[52]	Birim yük	X				X							
	Ashayeri et al [52]	Birim yük					X							
	Azadivar[52]	Birim yük	X											
	Bozer and White [52]	Koridor sonu ve küçük yük					X							
	Van Oudheusden and Zhu [52]	İnsan kontrollü	X											
	Bozer and White[52]	Koridor sonu ve küçük yük					X		X					
	Chang and Wen [52]	Birim yük	X											
	Hwang and Ko) [52]	Birim yük				X	X							
	Park et al [52]	Koridor sonu ve küçük yük								X				
	Malmborg [52]	Birim yük	X				X							
	Malmborg [52]	Çoklu mekik												
	Malmborg [52]	Otomatik araç S/R	X				X							
	Koh et al. [52]	Koridor sonu ve küçük yük								X				
	Lee et al[52]	Birim yük		X										
	Kovacs ve diğerleri[52]	İnsan kontrollü	X	X		X	X	X		X				
	Pocket ve Starck[52]	Birim yük	X							X				

4. Sonuç

Çalışmada, sipariş toplama politikaları ve otomatik depolama sistemleri konuları üzerine literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, literatürde ele alınan sipariş toplama politikalarına ilişkin problem konularının çözümü için doğrusal programlama, dinamik programlama, analitik modelleme, algoritmalar, simülasyon ve metasezgisel tekniklerle çözüm arandığı ve sipariş toplama politikası seçimlerinin depolama süreç ve operasyonlarını etkilediği sonucuna varılmıştır. Aynı şekilde, otomatik depolama ve boşaltma sistemleri için ele alınan çalışmalar incelendiğinde ise, matematiksel modelleme, karma tamsayılı programlama, algoritmalar, simülasyon teknikleri ve metasezgisel yöntemlerle çözüm arandığı görülmektedir.

Var olan çalışmaların çoğu ya matematiksel modelleme ya da sezgisel tekniklerle çözüm aramaktadır. Fakat bu iki tekniğin entegre olarak ele alındığı yöntemlerle çözüm yapılmamıştır. İleriki çalışmalarda, bu iki tekniğin entegre olarak ele alındığı yöntemlerle otomatik depolama ve çekme sistemleri ve sipariş toplama politikalarına ilişkin problem konularına çözüm aranabilir. Bunun yanı sıra her iki konu için de bulanık programlama ile çözüm teknikleri denenebilir. Bulanık AHP, ANP gibi çözüm teknikleri personel atama, karar problemleri, personel çizelgeleme gibi pek çok problem alanında çözüm tekniği olarak kullanılmaktadır. Bulanık AHP, ANP tekniklerinin AS/RS ve sipariş toplama politikaları için gelecek çalışmalarda çözüm tekniği olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] Gudehus, T., "Principles of order picking: Operations in distribution and warehousing systems", *W. Girardet*, Essen, 1973.
- [2] Ratliff, H. D., Rosenthal, A. S., "Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem", *Operations Research*, 31 (3): 507–521, 1983.
- [3] Goetschalckx, M., Ratliff, H. D., "Shared storage policies based on the duration stay of unit loads", *Management Science*, 36 (9): 1120–1132, 1990.
- [4] Hall, R. W., "Distance approximation for routing manual pickers in a warehouse", *IIE Transactions*, 25 (4): 76–87, 1993.
- [5] Petersen, C. G., Schmenner, R. W., "An evaluation of routing and volume based storage policies in an order picking operation", *Decision Science*, 30 (2):, 481–501, 1999.
- [6] De Koster, R., Van Der Poort, E., "Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions", *IIE Transactions*, 30: 469-480, 1998.
- [7] McKendall, A. R., Noble, J. S., Klein, C. M., "Facility layout of irregular shaped departments using a nested approach", *International Journal of Production Research*, 37 (13): 2895-2914, 1999.
- [8] Wäscher, G., "Order picking: a survey of planning problems and methods", *European Journal of Operational Research*, 182 (2): 481-501, 2002.

- [9] Zhang, G. Q., Xue, J., and Lai, K. K., “A class of genetic algorithms for multiple-level warehouse layout problems”, *International Journal of Production Research*, 40 (3): 731-744, 2002.
- [10] Molnar, B., Lipovszki, G., “Multi-objective routing and scheduling of order pickers in a warehouse”, *Budapest University of Technology and Economics*, Budapest, 2003.
- [11] Broulias, G. P., Marcoulaki, E. C., et.al, “Warehouse management for improved order picking performance: an application case study from the wood industry”, *Department of Industrial Management & Technology*, 1-7, 2003.
- [12] Kim, B. I., Heragu, S. S., Graves, R. J., Onge, A. S., “Clustering-based order-picking sequence algorithm for an automated warehouse”, *International Journal of Production Research*, 41 (15): 3445–3460, 2005.
- [13] Roodbergen, K. J., Meller, R. “Storage assignment policies for warehouses with multiple cross aisles”, *Progress in Material Handling Research*, 431-441, 2004.
- [14] Einsetein, D.D., “Analysis and optimal design of discrete order picking technologies along a line”, Graduate School of Business, Chicago, 2006.
- [15] De Koster, R., Roodbergen, K. J., “Design and control of warehouse order picking: a literature review”, *European Journal Of Operational Research*, 182(2): 481-501, 2007.
- [16] Galka, S., Ulbrich, A., Günthner, A. W., “Performance calculation for order systems by analytical methods and simulation”, *Technische Universitat München*, München, 1-10, 2007.
- [17] Parikh, P. J., Meller, R. D., “Selecting between batch and zone order picking strategies in a distribution center”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(5): 696-719, 2007.
- [18] Le-Duc, T., De Koster, R., “Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse”, *European Journal of Operational Research*, 76 (1): 374-388, 2007.
- [19] Ho, Y. C., Su, T. S., “Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles”, *Computers & Industrial Engineering*, 55 (2): 321-347, 2008.
- [20] Tunç, S., Kutlu, B., Zincidi, A., Atmaca, E., “Depo sisteminde sipariş toplama sürecinin iyileştirilmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (2): 357-364, 2008.
- [21] Pan, J. C., Wub, M. H., “A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system”, *Computers & Industrial Engineering*, 57 (1): 261-268, 2008.
- [22] Rim, S. C., Park, I. S., “Order picking plan to maximize the order fill rate”, *Computers & Industrial Engineering*, 55 (3): 557-566 (2008).
- [23] Parikh, P. J., Meller, R. D., “A travel-time model for a person-onboard order picking system”, *European Journal Of Operational Research*, 200 (2): 385-394, 2008.
- [24] Pan, J. C., Shih, S., “Evaluation of the throughput of a multiple-picker order picking system with congestion consideration”, *Computers & Industrial Engineering*, 53 (11): 4825–4834, 2008.
- [25] De Koster, R. B., Yu, M., “The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance” , *European Journal Of Operational Research*, 198 (2): 480-490, 2008.

- [26] Ştet, M., “Order picking operations in warehouse systems”, *Fascicle Of Management And Technological Engineering*, Volume 7, 2008.
- [27] Goyal, S. K., Chang, C. T., “Optimal ordering and transfer policy for an inventory with stock dependent demand”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46 (6): 963-974, 2009.
- [28] Parikh, P. J, Meller, R. D, “A travel-time model for a person-onboard order picking system ”, *European Journal of Operational Research*, 200: 385–394, 2010.
- [29] Hsieh, F. L., Huang, Y. C., “New batch construction heuristics to optimise the performance of order picking”, *International Journal of Production Economics*, 131: 618–630, 2011.
- [30] Felix, T. S., Chan, H. K. , “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*, 38: 2686–2700, 2011.
- [31] Andriansyah, R., et.al, “A process algebra based simulation model of a miniload workstation order picking system”, *Computers in Industry*, 62: 292–300, 2011.
- [32] Mansuri, M., “Cycle time computation, and dedicated storage assignment, for as/rs systems”, *European Journal Of Operational Research*, 33 (1-2): 307-310, 1997.
- [33] Yamaguchi, N., Shimoda, K., “An operation analysis of movable rack type as/rs by use of system simulator”, *Computers & Industrial Engineering*, 33 (3-4): 677-680, 1997.
- [34] Lee, F. H., Schaefer, K. S., “Sequencing methods for automated storage and retrieval systems with dedicated storage” *Computers and Industrial Engineering*, 32 (2): 351-362, 1997.
- [35] Jacobs, D., Davis, S., Peck, J. “A simple heuristic for maximizing service of carousel storage”, *Computers & Operations Research*, 27 (13): 1351-1356, 1998.
- [36] Malmborg, C., Al-Tassan, K., “An integrated model for order picking systems with randomized storage”, *Applied Mathematical Modeling*, 24 (2): 95-111, 2000.
- [37] Berg, J., P., Zijm, W., H., M., “Models for warehouse management: classification and examples”, *International Journal of Production Economics*, 59 (1-3): 519-528, 1999.
- [38] Petersen, C., G., Aase, G., “A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking”, *International Journal of Production Economics*, 92 (1): 11-19, 2003.
- [39] Lee, Y., H., Lee, M. H., Hur., S., “A performance estimation model for AS/RS by M/G/1 queuing system”, *Computers & Industrial Engineering*, 46 (2): 233-241, 2004.
- [40] Potrc, I., Lerher, T., Kramberger, J., Sraml, M., “Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, 155-158: 236-244, 2004
- [41] Kwon, H., M., Kim, Y., J., Koh, S., G., “An analysis of the end of aisle order picking system: multi-aisle served by a single order picker ”, *International Journal of Production Economics*, 98 (2): 162-171, 2005.
- [42] Lee, Y., H., Lee, M. H., Hur., S., “Optimal design of rack structure with modular cell in AS/RS”, *International Journal of Production Economics*, 98 (2): 172–178, 2005.
- [43] Muppani, V. R., Adil, G. K., “Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: a simulated annealing approach”, *Omega*, 36 (4): 609-618, 2007.

- [44] Kovacs, A., “Optimizing the storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics”, *International Journal of Production Economics*, 2009.
- [45] Roodbergen, K. J., Iri, F. A., “A survey of literature on automated storage and retrieval systems”, *European Journal Of Operational Research*, 194 (2): 343-362, 2008.
- [46] Moccia, L., et.al, “A column generation heuristic for a dynamic generalized assignment problem”, *Computers and Operations Research*, 36: 2670-2681, 2009.
- [47] Potrc, I., Lerher, T., Sraml, M., Tollazi, T. “Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine ”, *European Journal of Operational Research*, 205: 571-583, 2010.
- [48] Hua, H. Y, Zhu, Z. D., Hsu, W. J., “Load shuffling algorithms for split-platform AS/RS”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26: 677–685, 2010.
- [49] Starck, G., Pochet, Y., “An integrated model for warehouse and inventory planning”, *European Journal of Operational Research*, 204: 35–50, 2010.
- [50] Chen, L., Langevin, A., Riopel, B., “A tabu search algorithm for the relocation problem in a warehousing system”, *International Journal of Production Economics*, 129: 147–156, 2011.
- [51] Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., “ Innovative travel time model for dual-shuttle automated storage/retrieval systems”, *Computers & Industrial Engineering*, 2011
- [52] Roodbergen, K.J., Vis, I.F.A, “A Survey of Literature On Automated Storage And Retrieval Systems”, *European Journal of Op.Res.*, 194(2), 343-362, 2009.