

OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİNDE BEKLEME NOKTASI

DWELL-POINT IN AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEMS

Buşra TAŞKAN*

*Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 49250, MUŞ

ÖZET

Otomatik depolama ve çekme sistemleri (OD/ÇS'ler), otomatik üretim ve dağıtım merkezlerinde sıklıkla kullanılan ana malzeme yönetim sistemleridir. OD/ÇS'lerde bekleme noktası politikası kontrol politikalarından birisidir. Boş bir vincin bekleyeceği yer bekleme noktası politikası tarafından belirlenir. Gelen depolama ya da çekme taleplerine yanıt verme süresini en küçükleme ve çıktı düzeyini en büyükleme makineler için bekleme noktasının optimal seçimi ile sağlanabileceğinden, yapacak işi olmayan makinelerin boş seyahat zamanını azaltmak amacıyla nereye yerleştirileceğini belirlemek önemli bir kontrol problemidir. Bu çalışmada öncelikle OD/ÇS'lerden bahsedilmekte daha sonra OD/ÇS'lerde bekleme noktası politikası güncel literatür ile birlikte ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Otomatik depolama ve çekme sistemleri (OD/ÇS), Kontrol politikaları, Bekleme noktası*

ABSTRACT

Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RSs) are main material management systems which are commonly used in automated production and distribution centers. Dwell point policy one of the control policies in AS/RSs. The position where an idle crane waits is determined by a dwell-point policy. Because minimizing response time of storage or retrieval requests and maximizing output level can be obtained with optimal selection of dwell point for machines, in order to reduce empty travel time to determine where to position machines that has no jobs to perform an important control problem is. In this study first AS/RSs are mentioned then dwell-point policy in AS/RSs is discussed with current literature.

Key Words: *Automated storage and retrieval systems (AS/RSs), Control policies, Dwell-point*

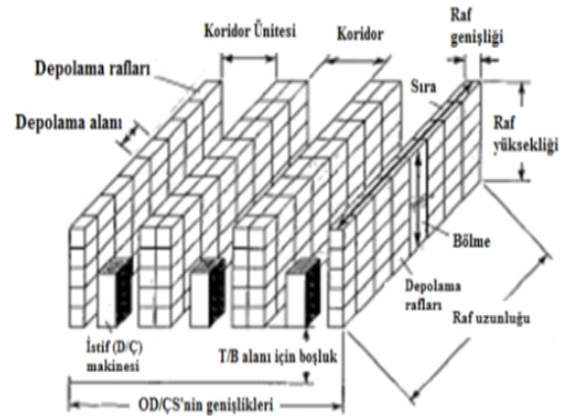
***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Buşra Taşkan, Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 49250, MUŞ, E mail: b.taskan@alparslan.edu.tr

1. GİRİŞ

Elle çekme zamanının %70'ini yürüme zamanı oluşturmaktadır. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri (OD/ÇS'ler) bu yürüme ortadan kaldırmak için ilk olarak 1950'lerde sunulmuştur. OD/ÇS'ler, otomatik üretim ve dağıtım merkezlerinde sıklıkla kullanılan ana malzeme yönetim sistemleridir ve malzemelerin depolama ve çekme işlemleri bilgisayar kontrolü altında otomatik vinçler kullanarak gerçekleştirilir. Sistem genellikle barkod teknolojisini kullanarak gelen her malzeme için uygun bir depolama yeri tespit eder ve vinci o yere doğru yönlendirir. Herhangi bir malzeme isteği olduğu zaman da bilgisayar o malzemenin nerede depolandığını belirleyerek vinci o malzemeyi getirmek üzere harekete geçirir.

Depolama rafları, depolama/çekme (D/Ç) makineleri veya otomatik istifleyici vinçler, girdi/çıkış istasyonları ve toplama konveyörleri OD/ÇS'nin temel bileşenleridir. D/Ç makinesi, depolama ve çekme işlemini gerçekleştirmek amacıyla koridorlarda seyahat eder ve bu seyahat süresini azaltmak amacıyla "Tchebychev travel" denilen şekilde yani aynı anda dikey ve yatay yönlerde bu seyahati gerçekleştirir.

Bir OD/ÇS'nin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Koridor ünitesi; bir geçite bağlı koridor alanı ve raflarıdır, bölme; zeminden tavana kadar depolama yerlerinin dikey istifidir, sıra; yan yana yerleşmiş bir dizi bölmedir, Girdi/Çıkış (G/Ç) istasyonları; aynı zamanda toplama/bırakma (T/B) istasyonları olarak da adlandırılır ve genellikle dış malzeme sisteminden D/Ç makineleri vasıtasıyla kendilerine ulaşabilmesi amacıyla koridorların sonunda yerleştirilmiştir. G/Ç istasyonlarının sayısı ve yeri OD/ÇS boyunca akan stoğun miktarına ve çeşidine dayanır. Depolama birimleri; depolanan maddeleri tutmak amacıyla kullanılır, birimler paletler, kutular, tel sepetler, leğenler veya diğer konteynırlar olabilir. Depolama birimleri, D/Ç makinesiyle taşınabilecek ve standart boyutta depolama sağlayabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

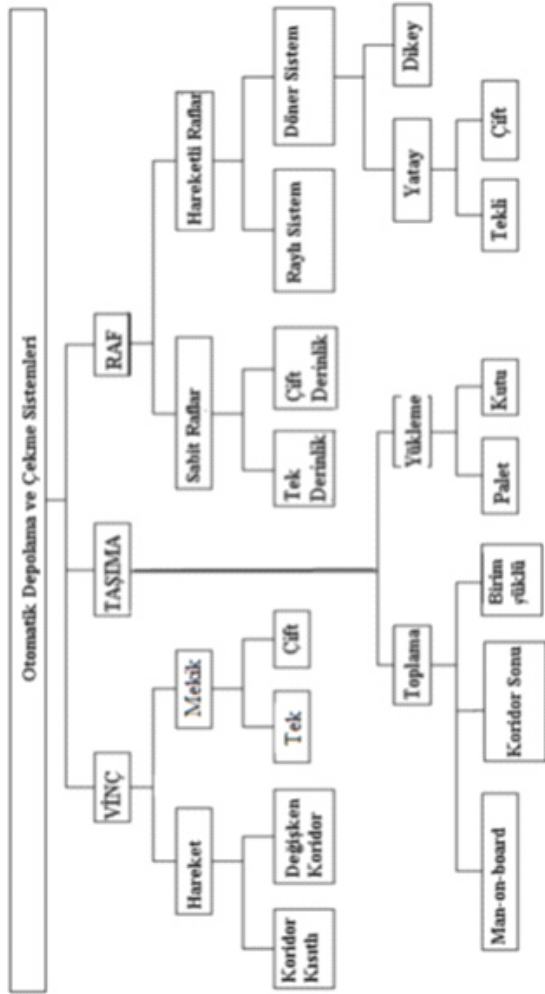


Şekil 1. Bir OD/ÇS'nin genel yapısı [1]

OD/ÇS'nin uygulanmasıyla elde edilen avantajlar şöyledir; depolama alanının etkin kullanımı, mal hasarlarının ve kaybının azalması, malların depolanması ve çekilmesi üzerindeki artırılmış kontrol ve depo işçilerinin sayısındaki azalmadır [2]. Sistemin uygulanmasıyla elde edilen dezavantajlar ise; kurulacak sistemin yüksek yatırım maliyeti, sisteme tam uyum gösterebilecek yazılım geliştirme güçlüğü, sistemde çalışacak personel bulma ve bunları eğitme güçlüğü, otomasyon sonucunda personel miktarı azalacağından bu personelin tekrar istihdamında zorluklarla karşılaşılması, yeterli sermayesi bulunmadığından sistemi kuramayan işletmelerin rekabet gücünü kaybetmesi, teknolojik gelişmelerin işletmeyi sık sık revizyona girmek zorunda bırakabilmesidir.

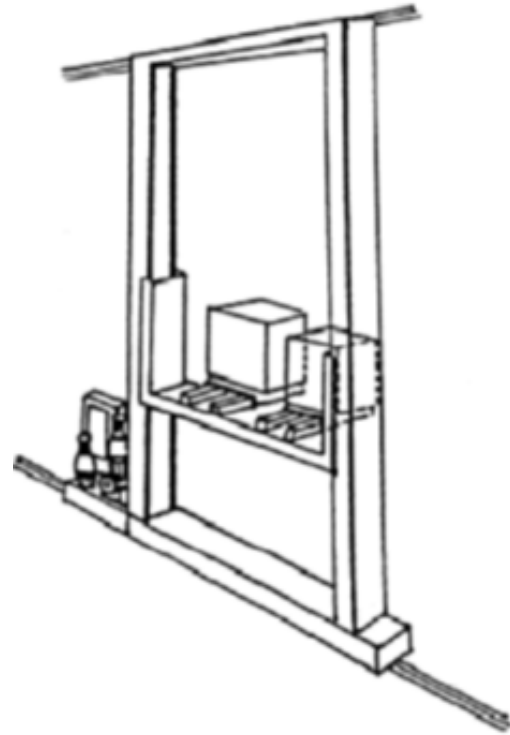
2. OD/ÇS ÇEŞİTLERİ

OD/ÇS'ler farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Roodbergen ve Vis [3]'ün sınıflandırması Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Çeşitli OD/ÇS sistem seçeneklerinin sınıflandırılması [3]

Burada OD/ÇS'ler vinç, taşıma ve raf yapısına göre sınıflandırılmıştır. Eğer D/Ç makinesi bulunduğu koridoru değiştiremiyorsa koridor-kısıtlı aksi takdirde değişken-koridorludur. Bir defada sadece bir birim yük taşıyabilen D/Ç makineleri tek-mekikli, bir defada sadece iki birim yük taşıyabilen D/Ç makineleri ise çift-mekiklidir. Tek bir seferde iki veya daha fazla birim yükü taşıyabilen D/Ç makineleri çok-mekikli olarak da adlandırılır. Şekil 3'te çift-mekikli bir D/Ç makinesi örneği görülmektedir.

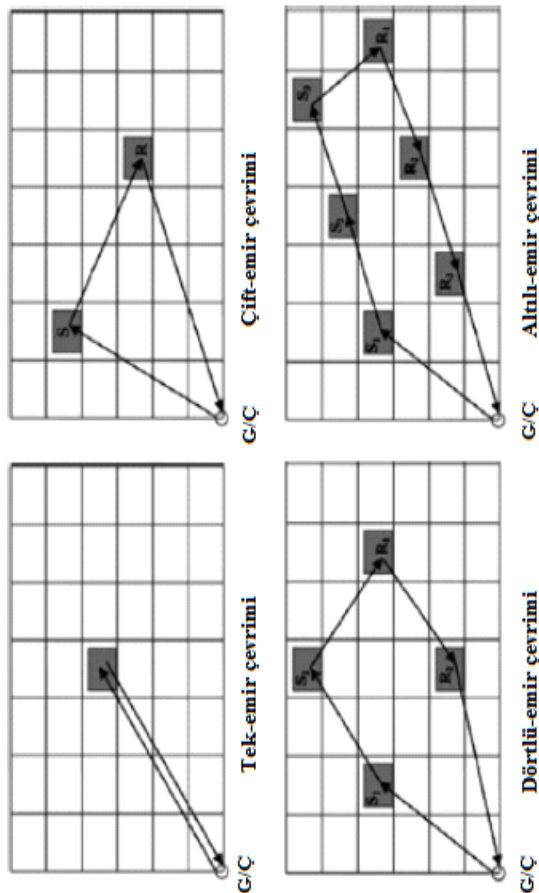


Şekil 3. Çift-mekikli D/Ç makinesi [4]

Üretilen iş kapasitesi, OD/ÇS'lerle ilgili bir husus olduğundan, çok-mekikli OD/ÇS'ler bir sistemin üretilen iş kapasitesini arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. Sistemdeki mekik sayısı arttıkça boş yolculuk miktarı azaldığı için sistemde üretilen iş kapasitesi artar. Eklenen her mekikle sistemin sermaye yatırımı da artar. Sonuç olarak, bugünlerde iki ve üç-mekikli sistemler kullanımda olsa da uygulamada üç-mekikten daha fazlasına sahip sistemlerin olmadığına inanılmaktadır [4].

Tek-mekikli sistemler tarafından tek emir çevrimi ve çift emir çevrimi yapılabilir. Tek emir çevriminde ya bir depolama ya da bir çekme işlemi gerçekleştirilebilir, çift emir çevriminde ise bir depolama ve bir çekme işlemi gerçekleştirilebilir. Bir çift emir çevriminde, D/Ç makinesi eşzamanlı şekilde birim yükü depolar, çekme yerine boş olarak seyahat eder ve birim yükü çeker.

Çift-mekikli sistemlerde gerçekleştirilen dörtlü emir çevriminde iki depolama ve iki çekme işlemi gerçekleştirilebilir. Her mekik mekanizması diğerinden bağımsız işleyebilir. Bundan dolayı D/Ç makinesi iki birim yükü eşzamanlı şekilde taşıyabilir ve onları depolama rafına yerleştirir, iki birim yükü depolama rafından çeker ve G/Ç yerine geri döner. Benzer şekilde üçlü-mekikli sistemlerde gerçekleştirilen altılı emir çevriminde üç depolama ve üç çekme işlemi gerçekleştirilebilir. Üç-mekikli sistemde D/Ç makinesi eşzamanlı şekilde üç birim yükü taşıyabilir, onları yüksek depolama rafına yerleştirir üç birim yükü yüksek depolama rafından çeker ve G/Ç yerine geri döner [5]. Şekil 4'de bahsedilen farklı emir çevrimleri gösterilmiştir.



Şekil 4. İstifleyici vincin farklı emir çevrimleri [6]

Eğer her bir depolama bölmesine sadece bir birim yük konulabiliyorsa tek-derinlikli, sadece iki birim yük konulabiliyorsa çift-derinliklidir. Eğer yük çeşidi az ve bu yüklerin dönüş hızı yüksekse, çift-derinlikli depolama tercih edilebilir.

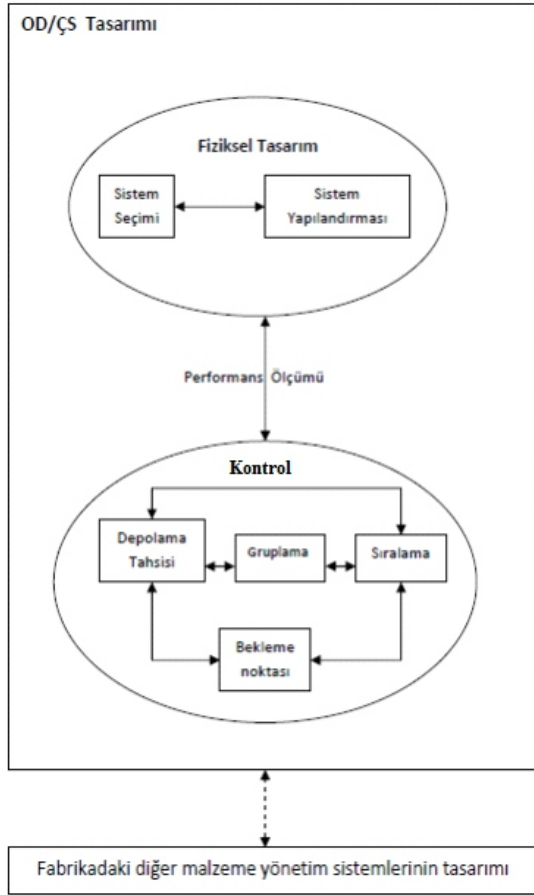
Karosel sistemler (yatay veya dikey, tek veya çift) farklı seviyelerde küçük veya orta-boyutlu ürünleri depolama için uygundur. Döner karoselden parçaları çekmek ve depolamak amacıyla bir vinç kullanılır. Bir çift karoselin daha alçak ve daha yüksek parçası birbirinden ayrı ayrı dönebilir [3].

OD/ÇS'lerde parçalar birim yük şeklinde depolanır. Fakat çoğu durumda müşterinin siparişi birim yükün sadece bir kısmıyla karşılanabilir. Bu durumda bir seçenek, içinde kişinin bulunabileceği D/Ç makinesi tasarlamaktır, burada kişi birim yükün hepsini çekmek yerine, ihtiyaç kadarını alır (man-on-board AS/RS). Diğer bir seçenek ise OD/ÇS, G/Ç istasyonunda çektiği birim yükleri bıraktığında toplanan parçaları birleştirmektir. G/Ç istasyonundaki toplayıcı birim-yükten ürünlerin istenilen miktarını alır. Bu sistem genellikle koridor-sonu OD/ÇS olarak adlandırılır. Eğer birim-yükler kutularsa sistem küçük-yük OD/ÇS'dir.

Koridor-kısıtlı, tek-mekikli OD/ÇS en temel versiyon olup, bu temel versiyonda raflar sabit ve tek-derinliklidir. Bu temel versiyonun da pek çok çeşidi vardır. Bunlardan birisi temel OD/ÇS'nin değişken-koridorlu olduğu çeşittir.

3. OD/ÇS TASARIMI

Bir OD/ÇS tasarlanırken bugünkü ve gelecek talep gereksinimleri karşılanırken kapasite fazlası ve darboğazlardan kaçınılması gerekir. Fiziksel yerleşim ve ekipman esnekliğinden dolayı OD/ÇS'yi ilk defada doğru tasarlamak önemlidir. Bir OD/ÇS'nin tasarımı fiziksel tasarım ve kontrol olmak üzere iki unsurdan meydana gelir. Şekil 5'de OD/ÇS'nin tasarımı görülmektedir.



Şekil 5. Bir OD/ÇS'nin tasarımı [3]

Bir depoda OD/ÇS dışında pek çok sistem vardır. Bu sistemler karşılıklı etkileşim içindedir ve OD/ÇS'nin diğer sistemlerin performansını etkilediği gibi diğer sistemlerin performansı da OD/ÇS'den etkilenir. OD/ÇS ve diğer sistemlerin etkileşimi en fazla OD/ÇS'nin G/Ç noktalarında belirgindir.

OD/ÇS'nin fiziksel tasarımı, sistem seçimi ve sistem yapılandırması olmak üzere iki unsurdan meydana gelir. Sistem seçiminde hangi OD/ÇS çeşidinin kullanılacağına karar verilir. Sistem yapılandırmasında ise koridorların sayısı, depolama raflarının yüksekliği vb. ölçülere karar verilerek seçilen sistem yapılandırılır. OD/ÇS'nin tasarımı için gerekli kararların listesi Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. OD/ÇS 'ler için tasarım kararlarının genel açıklaması [3]

Problemlerin Sınıfı	Verilecek Kararlar
Sistem konfigürasyonu	<ul style="list-style-type: none"> ○ Koridorların sayısı ○ Depolama raflarının yüksekliği ○ Koridorların uzunluğu ○ Eşit büyüklükte veya modüler depolama yerleri ○ G/Ç-noktalarının yeri ve sayısı ○ G/Ç-noktalarındaki tampon kapasitesi ○ Koridor başına vinçlerin sayısı ○ Koridor başına sipariş toplayıcıların sayısı (varsa)
Depolama tahsisi	<ul style="list-style-type: none"> ○ Depolama tahsis yöntemi ○ Depo sınıflarının sayısı ○ Depolama sınıflarının yerini belirleme
Gruplama	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gruplamanın çeşidi (statik veya dinamik) ○ Parti büyüklüğü (kapasite veya zaman tabanlı) ○ Siparişleri partilere atamak için seçim kuralı
Sıralama	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sıralama kısıtları (teslim tarihleri vesaire) ○ Operasyonun çeşidi (tek veya çift emir) ○ Çizelgeleme yaklaşımı (blok veya dinamik) ○ Sıralama yöntemi
Bekleme noktası	<ul style="list-style-type: none"> ○ Yer belirlemenin çeşidi (statik veya dinamik) ○ Boş vinçlerin yerleştirileceği konum

Bu bağlantılı seçimler, tarihi ve tahmini veri, ürün özellikleri, mevcut bütçe, gereksinim duyulan çıktı, gereksinim duyulan depolama alanı ve mevcut yer alanına dayanarak yapılabilir [3].

Kontrol politikaları OD/ÇS tarafından gerçekleştirilen eylemleri belirleyen yöntemlerdir. Tipik olarak, Bir OD/ÇS operasyonu her biri eylemlerin özel bir alt kümesiyle ilgilenen böyle kontrol politikalarının uyumlu bir grubu tarafından yönetilir [3].

OD/ÇS'deki kontrol politikaları şunlardır; depolama tahsisi, gruplama, sıralama ve bekleme noktası. Depolama tahsis politikası, her bir ürünün nereye atanacağını belirlemeye yardımcı olur. OD/ÇS'ler için literatürde sıklıkla kullanılan 5 depolama tahsis politikası şunlardır;

- Adanmış Depolama Tahsisi
- Rastgele Depolama Tahsisi
- En Yakın Boş Yer Depolama Tahsisi
- Tam-devir Depolama Tahsisi
- Sınıf-tabanlı Depolama Tahsis

Adanmış depolama tahsisinde her bir ürünün sürekli depolandığı sabit bir yer vardır. Bu tarz depolamada her bir ürün çeşidi için olabilecek maksimum stok düzeyine göre yer ayrılmıştır. Dolayısıyla stokta olmayan ürünler için bile yer ayrıldığı için yüksek alan gereksinimi vardır. Rastgele depolama tahsisinde bir ürünün raflardaki tüm bölmelere atanma olasılığı eşittir. Eğer en yakın boş yer depolama tahsisi uygulanıyorsa ürünler karşılaşılan ilk boş bölmelere depolanacaktır, bundan dolayı G/Ç istasyonları etrafındaki raflar dolu daha gerideki raflar kademeli olarak daha boştur. Tam-devir depolama tahsisinde ürünlerin talep sıklığına dayanarak depolama yerleri belirlenir. Dolayısıyla talebi fazla olan ürünler G/Ç istasyonlarına yakın yerlere yerleştirilir. Bu tahsisin önemli varsayımı ürün taleplerinin önceden bilinmesi gerekliliğidir. Sınıf-tabanlı depolama tahsisinde mevcut depolama alanı birkaç kısma ayrılır. Ürünler, talep sıklıklarına dayanarak belirlenen alanlara atanır. Belirlenen alanların her birinde rastgele depolama uygulanır.

Sıralama kurallarının kullanılmasındaki amaç tüm talebin karşılanmasında toplam zamanın en küçüklendiği ve dolayısıyla sistem çıktısında düzelmeler elde edilen veya teslim zamanlarının en az ihlal edildiği turlar oluşturulmasıdır. Depolama işlemlerinin sıralanmasında genellikle ilk-gelen-ilk-işlem-görür prensibi uygulanırken, çekme işlemlerinin sıralanmasında ise teslim tarihi dikkate alınmaktadır.

Gruplama politikasında farklı müşteri siparişlerinin D/Ç makinesinin tek turu içinde nasıl birleştirilebileceği araştırılır. Gruplamanın avantajı bir sipariş grubunun tur uzunluğunun o siparişlerin tur uzunluklarının ayrı olarak toplamından daha kısa olmasıdır. Fakat hangi ürünün hangi siparişe ait olduğunun takibi için harcanan çaba fazladır.

4. OD/ÇS'DE BEKLEME NOKTASI VE İLGİLİ LİTERATÜR

Bir OD/ÇS'deki D/Ç makineleri son derece meşgul değilse, makine boşluğunun oluşu kaçınılmaz bir olaydır. Bir depolama bölmesi veya girdi istasyonundan bir parça için çekme veya depolama isteği geldiğinde, isteğe cevap zamanı sistem etkililiğinin güçlü bir ölçüsüdür [7]. Gelen depolama ya da çekme taleplerine yanıt verme süresini en küçükleme ve çıktı düzeyini en büyükleme makineler için bekleme noktasının optimal seçimi ile sağlanabileceğinden, yapacak işi olmayan makinelerin boş seyahat zamanını azaltmak amacıyla nereye yerleştirileceğini belirlemek önemli bir kontrol problemidir.

Bir makinenin bekleme noktası, makine boş olduğunda makinenin dinlenme veya ev konumudur. Bir makine işlevsel fakat süreçte ataması yoksa boş olduğu söylenir. Makine boşluğu, bir D/Ç makinesi görevini tamamladığında ve makineye tekrar atanacak acil diğer depolama veya çekme isteği yoksa meydana gelir. Makine boşluğu sürekli bir süreç değildir: boş dönemler makinenin yoğun faaliyet dönemleriyle bölünür. Bundan dolayı makine boşluğunun her örneği makinenin hiçbir atamasının olmadığı bir zaman zarfı gerektirir [7].

Bekleme noktası belirleme dinamik bir problem olduğundan bir üretim dönemi içinde birkaç kez yapılması gerekebilir. Çünkü parçaların çekileceği bölmeler üretim süreci içinde değişecektir.

Bozer ve White [8] dört basit statik bekleme-noktası stratejisi sunmuşlardır.

Çizelge 2. Birim-yük OD/ÇS için statik bekleme-noktası kuralları [8]

Kural	Bekleme-noktası
Girdi İstasyonu	Sürekli girdi istasyonunda
Merkez	Sürekli rafların merkez yerinde
Girdi/Çıktı	Eğer tek emir depolama isteği yapıldıysa o zaman girdi istasyonunda konumlandırma Eğer tek emir çekme isteği veya çift emir yapıldıysa o zaman çıktı istasyonunda konumlandırma
Son Yer	Eğer tek emir depolama isteği yapıldıysa o zaman son depolama yerinde konumlandırma Eğer tek emir çekme isteği veya çift emir yapıldıysa o zaman çıktı istasyonunda konumlandırma

Linn ve Wysk [9], bekleme noktası politikalarıyla beraber depolama yeri atama konuları ve/veya D/Ç sıralama kurallarını içeren diğer sistem kontrol politikalarını da düşünmüşlerdir.

Park [10] eğer olasılık en az 1/2 ise girdi istasyonu kuralının optimal bekleme noktasına döneceğini göstermiştir.

Egbelu [11] isteklerin çeşitlerindeki dalgalanmalara cevap verme yeteneğinde olan doğrusal programlama modelleri önermişlerdir.

Hwang ve Lim [12], Egbelu [11]'nin minimum beklenen seyahat zamanı modeli için onu tek tesis yeri modeline dönüştürmek vasıtasıyla etkili bir algoritma önermiştir.

Egbelu ve Wu [13], Bozer ve White [8]'in dört kuralıyla Egbelu [11]'nin iki dinamik kuralını bir benzetim çalışması ile karşılaştırır.

Peters ve arkadaşları [14], Bozer ve White [8]'in seyahat zamanı tahminlerine dayanan rastgele depolama altında sürekli kare-zamanlı ve dikdörtgensel raflarda bekleme-noktalarını belirlemek amacıyla kapalı-form analitik modeller geliştirmiştir.

Chang ve Egbelu [7] birçok koridora hizmet veren tek bir vinci düşünür. Üçboyutlu nokta bakışından bir bekleme-noktası belirlemek amacıyla bir matematiksel programlama modeli geliştirilmiştir.

Chang ve Egbelu [15], sisteme isteklerin tam sefer süresiyle ölçülen tüm sistem hizmet düzeyini düzeltmek amacıyla OD/ÇS'de boş bir D/Ç makinesinin bekleme noktasını belirlemenin kontrol problemine odaklanmışlardır. Makalenin vurgusu sistem tarafından yapılan tüm depolama ve çekme istekleri üzerindeki beklenen cevap zamanının minimizasyonu üzerinedir. Optimal bekleme noktası yeri belirlemek için bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Toplam sipariş gerçekleştirme süresini düzeltmek amacıyla gerçek üretim düzenlemesinde tekniğin nasıl kullanılabilirdiğini göstermek amacıyla sayısal bir örnek sağlanmıştı.

Egbelu ve Wu [16], çıkarıcı makine boş olduğunda sistem cevap zamanını en küçüklemek amacıyla çıkarıcı makineyi stratejik olarak önceden konumlandırmak için iki model sunmuşlardır. İlk modelde vurgu çıkarıcı makine boş olduğunda maksimum

sistem cevap zamanını en küçüklemek amacıyla çıkarıcı makinenin önceden konumlanması üzerinedir. Tersine, ikinci modeldeki vurgu makine boş olduğunda beklenen sistem cevap zamanını en küçüklemek amacıyla makineyi önceden konumlandırmaktır. Karosel işleminin (a) tek-yönlü dönme yeteneği, (b) çift-yönlü dönme yeteneği olmak üzere iki işlemi düşünülmüştür.

Park [17] tahsis edilmiş depolama altında kare-zamanlı raflar için optimal bir bekleme-noktası politikası geliştirdi. Park [18]'a göre rastgele depolama altında dikdörtgensel raflar için olasılığın meydana çıkması bakımından bekleme-noktası yeri belirlenebilir.

Park [18], düzgün bir şekilde dağılmış raflı OD/ÇS için bir optimal bekleme noktası politikası geliştirmiştir. Kare-zamanlı olmayan raflar için, yazarlar bir sonraki işlem talep çeşidinin olasılığı bakımından optimal bekleme noktası için kapalı form çözüm sunmuşlardır. Yazarlar, aynı zamanda depolama/çekme makinesinin etkili işletimi için bekleme noktasına çeşitli geri dönüş yolları sunmuşlardır.

Lee ve Ventura [19], ortalama cevap zamanını en küçüklemek amacıyla boş otomatik yönlendirmeli araçlar için bekleme noktaları belirlemek amacıyla polinom-zamanlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Hem tek hem de çift-yönlü döngü yerleşimleri düşünülmüştür. Dinamik programlama modeline dayanan önerilen algoritma tek bir aracın bir alt kümedeki tüm istasyonlara hizmet etmesi amacıyla toplama istasyonları kümesini alt kümelere ayırır. Hesaplama sonuçları önerilen algoritmanın geniş-ölçekli problemleri uygun bir zamanda çözebildiğini göstermiştir. Çeşitli boş araç konumlandırma kurallarını karşılaştırmak amacıyla bir benzetim deneyi de yürütülmüştür ve sonuçlar en iyi performansın ortalama cevap zamanını en küçükleyen bekleme noktalarındaki boş araçları konumlandırmakla elde edildiğini göstermiştir.

Van den Berg [20] çalışmasında bir OD/ÇS'de D/Ç makinesinin bekleme noktası konumunun seçimi problemini düşünmüştür. Yazarın amacı, bir sonraki operasyon yerine beklenen seyahat zamanını en küçüklemektir. Rastgele ve sınıftabanlı depolama politikaları için analitik ifadeler sunulmuştur. İfadeler, sistem performansını tahmin için tasarım çerçevesine dahil edilebilir.

Fukunari ve arkadaşları [21], G/Ç noktası politikası ve son işlem katı politikasının iki bekleme noktası politikasını incelemiştir. Karar ağacındaki bulgulardan iki politika birleştirilmiştir. Sonuç belirgin düzeltilmelerini göstermiştir. Karar ağacından bulgular, kontrol sisteminin mevcut sistem durumuna dayanarak uygun bir politikayı seçmesi amacıyla kontrol sistemindeki girdiler olarak kullanılmaktadır.

Meller ve Mungwattana [22], benzetimin kullanımını yoluyla çeşitli bekleme-noktası stratejileri araştırmışlardır. Sistem yüksek düzeyde kullanıldığında ve herhangi bir kullanım düzeyinin tipik sistemleri için mutlak cevap zamanı üzerinde önemsiz etkiye sahip olduğunda bekleme-noktası stratejisinin göreceli sistem cevap zamanı üzerinde önemsiz etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Vasili ve arkadaşları [23], 20 tonun üzerindeki yükleri yüksek hızda taşımak için kullanılan bölünmüş-platform OD/ÇS için orta noktaya dönme ve başlangıç noktasına dönme bekleme-noktası politikaları altında iki seyahat zamanı modeli geliştirmişlerdir. Modeller bilgisayar benzetimleriyle doğrulanmıştır ve farklı modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bekleme noktası politikasında kalmanın diğer bekleme-noktası politikalarından üstün olduğunu göstermiştir.

Kuo ve arkadaşları [24], otonom araç teknolojilerine dayanarak otomatik birim yük depolama ve çekme sistemleri için sayısal olarak etkili tasarım kavramsallaştırma modelleri önermişlerdir. Gerçekçi işletim varsayımları altında meydana gelen 12 hizmet senaryosu için araç ve dik seyahat zamanları ve olasılık dağılımı beklenen işlem hizmet zamanları oluşturmak amacıyla formüle edilmiş ve kullanılmıştır. İşlem bekleme zamanını ve araç kullanımını içeren sistem performansının ilave ölçüleri rastgele depolama ve hizmet-tamamlama-noktası bekleme noktası kuralları formüle edilmiştir. Modeller, sistem maliyetlerinin çoğunluğunu yönlendiren beş tasarım değişkenine dayanarak sistem performansının anahtar yönlerini tahmin etmede pratik araçlar sağlamıştır. Onlar gerçek sistem kurulumundan adapte edilmiş bir kavramsallaştırma çalışması bağlamında örneklendirilmiştir.

Hale ve arkadaşları [25], gelen hizmet istekleri (depolamalar ve çekmeler) için beklenen cevap zamanını en küçüklemek amacıyla bir otomatik depolama karosel sisteminde optimal bekleme noktası yerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu, otomatik depolama karosel sisteminin bireysel depolama yerlerinin sürekli bir yaklaşım kullanılarak iki-boyutlu mevcut tesislerle bir doğru parçası üzerinde yerleşim problemi olarak modellenmekle başarılabilmektedir. Bu problemi modellemek amacıyla kullanılan iki farklı durum için ilgili bekleme noktası yeri probleminin kapalı form çözümleri önerilmiştir. Bu iki durum otomatik depolama karosel sistemi parametrelerinin (daire çevresi ve yüksekliğindeki seyahat zamanları) iki muhtemel farklı yapılandırmasından ileri gelmektedir.

Yong-jie [26], OD/ÇS'lerdeki D/Ç makinesinin optimal bekleme-noktasını araştırmıştır. Öncelikle M potansiyel ziyaret noktası depolama zamanı politikasına göre bulunmuştur, onların devir oranları ise rasgele depolama politikasına göre bulunmuştur. Bahsedilen M potansiyel ziyaret noktasının Rassmann uzayına ait olduğu ispatlanmıştır. D/Ç makinesinin optimal bekleme-noktası çok-tanecikli barycenter yöntemi kullanarak uzayı afine etmek amacıyla Rassmann uzayından haritalandırma yoluyla elde edilmiştir.

Hale ve arkadaşları [27], tanımlanmış bir bölgedeki keyfi bir hizmet aleti için optimal bekleme noktası yerini belirlemek amacıyla genelleştirilmiş bir prosedür sunar. Bu çalışma keyfi bir malzeme yönetim sistemi için G/Ç yerine benzer özel bir noktaya ilaveten birkaç önceden tanımlanmış hizmet bölgesi üzerine iki-değişkenli rassal vektörle tanımlanan bir alandan hizmet için taleplere yanıt veren genel bir sistemi modeller. Genel bir sistem için optimal bekleme-noktasını belirlemek amacıyla adım-adım bir prosedür tarif edilmiştir. Çok hizmet alanlı sistemlere ilaveten çok G/Ç noktasına sahip sistemler için modele eklentiler de sunulmuştur.

Hale ve arkadaşları [28], beklenen cevap zamanlarını en küçüklemek amacıyla bir asma köprü vinç için optimal bekleme-noktası yerini belirlemek amacıyla bir metodoloji önermişlerdir. Problem hem sıfır-boyutlu hem de iki-boyutlu mevcut taleplerle düzlemsel bir yerleşim problemi olarak modellenmiştir.

Bu talepler üç formda gelmektedir; G/Ç yerinden hizmet alanına (depolama hareketi), hizmet alanından G/Ç yerine (çekme hareketi), ve hizmet alanının karşısına (hizmet alanı içi hareket). Sonuç, vinç boş olduğunda vincin konumlanması gereken yer anlaşılması zor olan bir çözümdür.

Feng ve arkadaşları [29], çok-koridorlu OD/ÇS için rasgele depolama politikasında bir istifleyicinin optimal bekleme-noktası yerini çalışmışlardır.

Meneghetti ve arkadaşları [30] depolama işlemlerinin optimizasyonunu cevap zamanından farklı olarak enerji verimliliği bakımından yorumlamışlardır. Bir OD/ÇS rafındaki her yer vinç tarafından ona ulaşılması amacıyla tüketilen enerjinin değeriyle ilgilidir. Toplama performansı sıkı bir şekilde depolama yeri atamalarına dayandığından zaman-tabanlı tam devir stratejisi enerji-tabanlı olanıyla karşılaştırılmaktadır. Üç enerji tüketim modeli geleneksel ve yeni-nesil vinçler için düşünülmüştür.

Atamalar daha sonra verilen bir zaman dilimindeki özel alan şekilleri, zaman ve enerji performansları bakımından karşılaştırılmıştır. Raf ve ürün ABC eğrilerinin farklı şekilleri analiz edilmiştir. Bekleme noktası politikaları da geleneksel toplama zamanı azaltılmasına enerji-tasarrufu performansı ekleyen yeni sürdürülebilir bir perspektiften analiz edilmektedir.

Regattieri ve arkadaşları [31] istifleyici vinçler tarafından seyahat edilen mesafeyi ve seyahat zamanını en küçükleyebilmek amacıyla farklı kurallar arasında optimal bekleme noktası politikasını bulmak için en iyi çözümü araştırmışlardır. Birim yüklerin rastgele ataması için bekleme noktasının konumunu araştırmak amacıyla orijinal ve yenilikçi bir model geliştirilmiştir. Bilgisayar benzetimleriyle önerilen modeli doğrulamak

için bir yazılım platformu geliştirilmiştir. Sistemin performansı parametrik bir yolla analiz edilmiştir.

Roy ve arkadaşları [32], çok-sınıflı yarı-açık kuyruk ağı teorisine dayanan özelleştirilmiş analitik modelleri kullanarak aracın bekleme-noktası ve çapraz-koridorların yeri gibi tasarım kararlarının otonom araç tabanlı depolama ve çekme sistemlerine etkisini araştırmışlardır. Sayısal çalışmalar uygun bekleme-noktasının seçimiyle depolama ve çekme işlemlerindeki ortalama yüzde azalmanın sırasıyla %8 ve %4 civarında olduğunu göstermektedir. Detaylı benzetimler analitik modelin oldukça doğru sonuçlar sağladığını da göstermiştir.

KAYNAKÇA

- [1]. Singh, N., System Approach to Computer Integrated Design and Manufacturing, John Wiley Sons, 1996.
- [2]. Keserla, A., Peters, B.A., Analysis of Dual-Shuttle Automated Storage/Retrieval Systems, *Journal of Manufacturing Systems*, 13(6), 424-434, 1994.
- [3]. Roodbergen, K.J., Vis, I.F.A., A Survey of Literature on Automated Storage and Retrieval Systems, *European Journal of Operational Research*, 194, 343-362, 2009.
- [4]. Meller, R.D., Mungwattana, A., Multi-Shuttle Automated Storage/Retrieval Systems, *IIE Transactions*, 29, 925-938, 1997.
- [5]. Potrč, I., Lerher, T., Kramberger, J., Sraml, M., Simulation Model of Multi shuttle Automated Storage and Retrieval System, *Journal of Materials Processing Technology*, 157-158, 236-244, 2004.
- [6]. Vasili, M.R., Tang, S. H., Vasili, M., Automated storage and retrieval systems: A review on travel time models and control policies, In *Warehousing in the Global Supply Chain*, 159-209, 2012.
- [7]. Chang, S-H., Egbelu, P.J., Relative Pre-Positioning of Storage/Retrieval Machines in Automated Storage/Retrieval Systems to Minimize Maximum System Response Time, *IIE Transactions*, 29, 303-312, 1997
- [8]. Bozer, Y.A., White, J.A., Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems, *IIE Transactions*, 16 (4), 329-338, 1984.
- [9]. Linn, R.J., Wysk, R.A., An Analysis of Control Strategies for an Automated Storage/Retrieval System, *INFOR*, 25, 66-83, 1987.
- [10]. Park, B.C., Analytical models and optimal strategies for automated storage/retrieval system operations, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, 1991.
- [11]. Egbelu, P.J., Framework for Dynamic Positioning of Storage/Retrieval Machines in an Automated Storage/Retrieval System, *International Journal of Production Research*, 29 (1), 17-37, 1991.
- [12]. Hwang, H., Lim, J.M., Deriving an Optimal Dwell Point of the Storage/Retrieval Machine in an Automated Storage/Retrieval System, *International Journal of Production Research*, 31(11), 2591-2602, 1993.
- [13]. Egbelu, P.J., Wu, C.T., A Comparison of Dwell Point Rules in an Automated Storage/Retrieval System, *International Journal of Production Research*, 31 (11), 2515-2530, 1993.
- [14]. Peters, B. A., Smith, J.S., Hale, T.S., Closed Form Models for Determining the Optimal Dwell Point Location in Automated Storage and Retrieval Systems, *International Journal of Production Research*, 34(6), 1757-1771, 1996.
- [15]. Chang, S-H., Egbelu, P.J., Relative Pre-Positioning of Storage/Retrieval Machines in Automated Storage/Retrieval System to Minimize Expected System Response Time, *IIE Transactions*, 29, 313-322, 1997.
- [16]. Egbelu, P.J., Wu, C., Relative Positioning of a Load Extractor for a Storage Carousel, *IIE Transactions*, 30 (4), 301-317, 1998.
- [17]. Park, B.C., Optimal Dwell Point Policies for Automated Storage/Retrieval Systems with Dedicated Storage, *IIE Transactions*, 31, 1011-1013, 1999.
- [18]. Park, B.C., An Optimal Dwell Point Policy for Automated Storage/Retrieval Systems with Uniformly Distributed, Rectangular Racks, *International Journal of Production Research*, 39(7), 1469-1480, 2001.
- [19]. Lee, C., Ventura, J.A., Optimal Dwell Point Location of Automated Guided Vehicles to Minimize Mean Response Time in a Loop Layout, *International Journal of Production Research*, 39 (17), 4013-4031, 2001.
- [20]. Van den Berg, J.P., Analytic Expressions for the Optimal Dwell Point in an Automated Storage/Retrieval System, *International Journal of Production Economics*, 76(1), 13-25, 2002.

- [21]. Fukunari, M., Bennett, K.P., Malmborg, C.J., Decision-tree Learning in Dwell Point Policies in Autonomous Vehicle Storage and Retrieval Systems AVSRS, IEEE, 81-84, 2004.
- [22]. Meller, R.D., Mungwattana, A., AS/RS Dwell-Point Strategy Selection at High System Utilization: A Simulation Study to Investigate the Magnitude of the Benefit, *International Journal of Production Research*, 43(24), 5217-5227, 2005.
- [23]. Vasili, M.R., Tang, S.H., Homayouni, S.M., Ismail, N., Comparison of Different Dwell Point Policies for Split-Platform Automated Storage and Retrieval System, *International Journal of Engineering and Technology*, 3 (1), 91-106, 2006.
- [24]. Kuo., P-H., Krishnamurthy, A., Malmborg, C.J., Design Models for Unit Load Storage and Retrieval Systems Using Autonomous Vehicle Technology and Resource Conserving Storage and Dwell Point Policies, *Applied Mathematical Modelling*, 31(10), 2332-2346, 2007.
- [25]. Hale, T.S., Huq, F., Pujari, N.A., Closed Form Models for Dwell Point Locations in Automated Storage Carousel Systems, *International Journal of Production Research*, 46 (4), 1089-1098, 2008.
- [26]. Yong- jie, MA, Control to Optimum Dwell Point in an Automated Storage/Retrieval System, Hoisting and Conveying Machinery, 2008.
- [27]. Hale, T. S., Hanna, M. E., Huq, F., The Generalized Dwell Point Location Problem, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 4 (4), 446-454, 2009a.
- [28]. Hale, T. S., Huq, F., Blackhurst, J. V., Cutright, K., Closed Form Models for Dwell Point Locations for Overhead Bridge Cranes, *International Journal of Operational Research*, 4 (4), 412-421, 2009b.
- [29]. Feng, A., Chen, Y., Ding, W., Research on the optimal dwell point location of single stacker in multiple aisles automated storage and retrieval systems, International Conference of Logistics Engineering and Management, 513-518, 2012.
- [30]. Meneghetti, A., Monti, L., Sustainable Storage Assignment and Dwell-Point Policies for Automated Storage and Retrieval Systems, *Production Planning & Control*, 24 (6), 511-520, 2013.
- [31]. Regattieri, A., Santarelli, G., Manzini, R., Pareschi, A., The Impact of Dwell Point Policy in an Automated Storage/Retrieval System, *International Journal of Production Research*, 51(14), 4336-4348, 2013.
- [32]. Roy, D., Krishnamurthy, A., Heragu, S., Malmborg, C., Queuing Models to Analyze Dwell-Point and Cross-Aisle Location in Autonomous Vehicle-Based Warehouse Systems, *European Journal of Operational Research*, 242 (1), 72-87, 2015.