

Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS): Depo Kurulumu ve Performans Çalışmaları Üzerine Literatür İncelemesi

¹Mücahit Soyaslan, ²Cemil Közkurt & ²Ahmet Fenercioğlu

¹Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya
²Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Müh. Bölümü, Tokat

Özet

Otomatik depolama ve boşaltma sistemleri (ODBS) firmalardaki ürünlerin depo içerisinde depolanması ve boşaltılması için kullanılan sistemlerdir. ODBS'lerde farklı depo yerleşimlerinde çeşitli otomatik depolama ve boşaltma araçları kullanılmaktadır. Bu sistemlerde yükleme ve ürün toplama işlemi genellikle kullanılan koridor robotları (KR) ve taşıyıcı robotları (TR) ile gerçekleştirilmektedir. Ürünlerin depo içerisindeki raflara yerleştirilmesinde ve toplanmasında operatör müdahalesi minimum seviyededir. Bu çalışmada ODBS'lerin tipleri, uygulanan değişik depo kurulumları ve çözümleri, ürünlerin toplanması ve yüklenmesi esnasında kullanılan optimizasyon çalışmaları hakkında yapılmış yayınlardan bir derleme yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Otomatik depolama ve boşaltma sistemleri, Depo, ODBS, Ürün toplama, Optimizasyon.

Automated Storage and Retrieval Systems (ASRS): Literature Review on Warehouse Configuration and Performance Studies

¹Mücahit Soyaslan, ²Cemil Közkurt & ²Ahmet Fenercioğlu

¹Sakarya University, Faculty of Technology, Mechatronics Engineering, Sakarya
²Gaziosmanpaşa University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechatronics Engineering, Tokat

Abstract

Automated storage and retrieval systems (ASRSs) are used for loading and retrieving products in the companies' warehouses. A variety of automated storage and retrieval vehicles are used in different storage layouts in ASRSs. The loading and retrieving process is usually performed with aisle robots (ARs) and shuttle robots (SRs) at these systems. While the placement and retrieving of products on/from the shelves, the operator intervention is minimized. In this paper, a literature review has been given about ASRSs' types, applied various storage installations and solutions and optimization studies used while loading and retrieving products.

Keywords: Automated storage and retrieval systems, Warehouse, ASRS, Order picking, Optimization.

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde firmaların ayakta kalabilmeleri ve sürekliliği sağlayabilmeleri için rekabet koşullarını iyileştirmeleri gerekmektedir. ODBS'ler bu koşulların iyileştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Depolama ve boşaltma işlemini klasik insan operasyonuna dayalı forkliftler ile yapan firmaların üretim-depolama-sevkiyat işlemlerindeki hızları yavaş olmakta ve bu işlemlerin kontrolü de otomatik sistemlere göre

daha zor yapılmaktadır [37]. Bu işlemlerde stok veri yönetimi ve ürünlerin uygun yerlere sevk edilmesi operasyonu çalışan bazlı bazı hatalara ve sorunlara neden olmaktadır. Bu yüzden büyük firmalar ürünlerin depoya yüklenmesi ve boşaltılması işleminin insan bazlı olmamasını istemektedir. Bilinen sistemlerin yerine ODBS kullanıldığında, forklift için ayrılması gereken koridor alanlarından tasarruf edilmekte ve sistemin kontrolü bilgisayar veri tabanı üzerinden daha kolay yapılabilmektedir. Konu hakkında yapılan

*Sorumlu Yazar: Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Turkey, Tel: +90 264 295 69 12, E-mail: msoyaslan@sakarya.edu.tr

uluslararası çalışmalar incelendiğinde, çeşitli demo çalışmalarının yapılarak otomasyon çözümlerinin ve kontrol yapılarının sunulduğu, zaman optimizasyonu üzerinde sıklıkla çalışıldığı görülmektedir [38]. Ulusal çapta yapılmış proje ve yayınlar incelendiğinde ise çıkan sonuç Ar-Ge ve üretim çalışmalarının ülkemizde yeterli seviyede olmadığıdır [23]. Bu çalışmada, ilgili alanda yapılabilecek akademik araştırmalara ve ticari girişimlere referans olması beklenen literatürdeki bazı çalışmalara değinilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın ilk bölümünde ODBS'ler hakkında bir giriş yapılmış, 2. bölümde depo kurulumları hakkında bilgiler verilmiş, 3. bölümde literatürdeki değişik uygulamalar ve performans çalışmaları incelenmiştir. Son bölümde ise genel bir değerlendirme yapılarak ODBS'lerin ülkemiz sanayi sektörü açısından önemi vurgulanmıştır.

2. ODBS'LERİN KURULUM TIPLERİ (ASRS'S CONFIGURATION TYPES)

ODBS'ler çeşitli özelliklerine ve uygulama tiplerine göre gruplara ayrılabilir. ODBS'lerde ortak özellik olarak bir taşıyıcı sistemin varlığı göze çarpmaktadır. Bu sistem farklı yapılarda da olsa ODBS'lerin birçok tipinde mevcuttur. ODBS'ler çok çeşitli alanlarda kullanılmakta olup kullanım alanına göre güçleri ve yöntemleri değişebilmektedir. ODBS'lerin sıklıkla kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [23]:

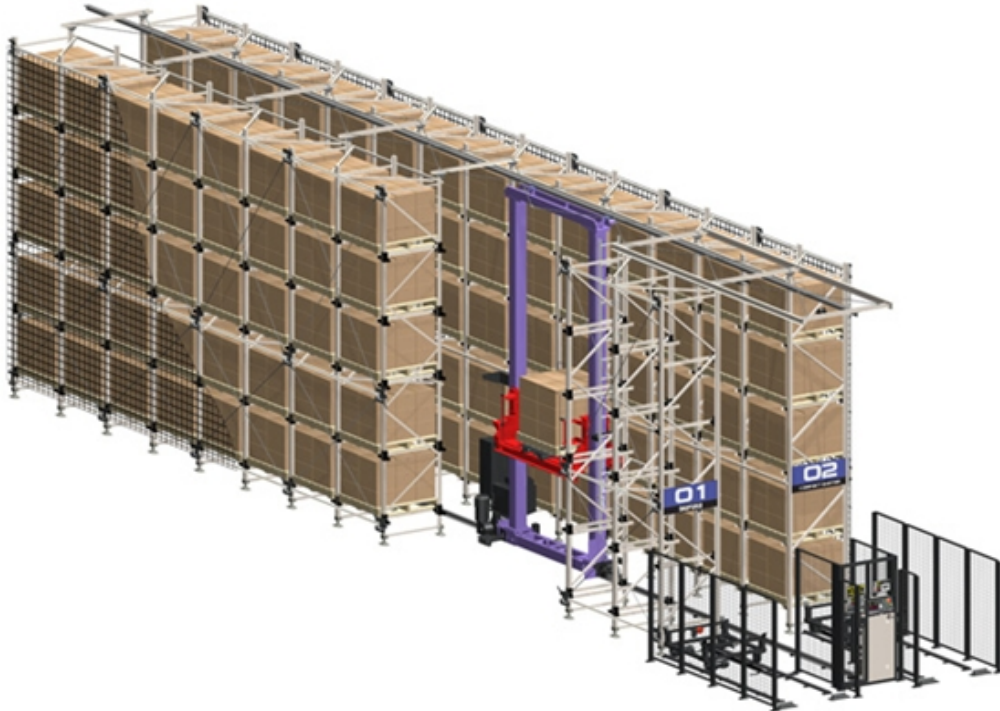
-
-
-

- Gıda
- Otomotiv, Otomotiv Yan Sanayi
- Uçak ve Uzay Sanayi
- Beyaz Eşya Sanayi
- İlaç Sanayi
- İnşaat
- Lojistik, Kargo Şirketleri
- Liman ve Gar İşletmeleri
- Ağaç Endüstrisi ve Mobilya Dekorasyon
- Tekstil Sanayi
- Kütüphaneler
- Otoparklar
- Soğuk hava depoları

ODBS'lerin kurulum tipleri temel olarak birim depolama, mini depolama, çok derinlikli depolama ve operatör kabinli depolama olarak sınıflandırılabilir [1].

a. Birim Depolama ODBS (Unit Load ASRS)

Birim depolama ODBS, standart boyutlardaki paletlenmiş ürünlerin depolanması ve boşaltılması mantığına göre çalışır. Sistem, bilgisayar üzerinden kontrol edilmektedir. Depolama-boşaltma araçları (koridor robotları) otomatiktir ve birim depolamaya uygun olarak tasarlanmaktadır. Ürün paletleri mekanik bir kelepçe, vakum veya mıknatıs tabanlı mekanizmalar ile depolanabilmektedir. Yükler genellikle 200 kg üzerindedir ve ODBS'nin en yaygın kullanılan halidir. Depo sistemi sırt sırta, tek derinlikli veya çift derinlikli olabilmektedir. Şekil 1'de tek derinlikli birim depolama ODBS örneği görülmektedir.



Şekil 1. Tek derinlikli birim depolama ODBS(Single depth unit load ASRS) [2]

b. Mini depolama ODBS (Mini Load ASRS)

Mini depolama ODBS'ler parçalar, kutular, çekmece içinde bulunan malzemeler gibi küçük boyutlu yükler için tasarlanmış sistemlerdir. Depo hacminin kısıtlı olduğu uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Tam ölçekli birim depolama için çok düşük hacme sahip veya manuel sistemler

için çok yüksek hacme sahip yerlerde kullanım alanları mevcuttur. Mini depolama ODBS genellikle birim depolama ODBS'lerden küçüktür ve depolanan ürünlerin güvenliği açısından muhafazalı depolama yapılmaktadır. Şekil 2'de küçük boyuttaki ürünlerin depolanmasında kullanılan bir mini depolama ODBS örneği gösterilmiştir.



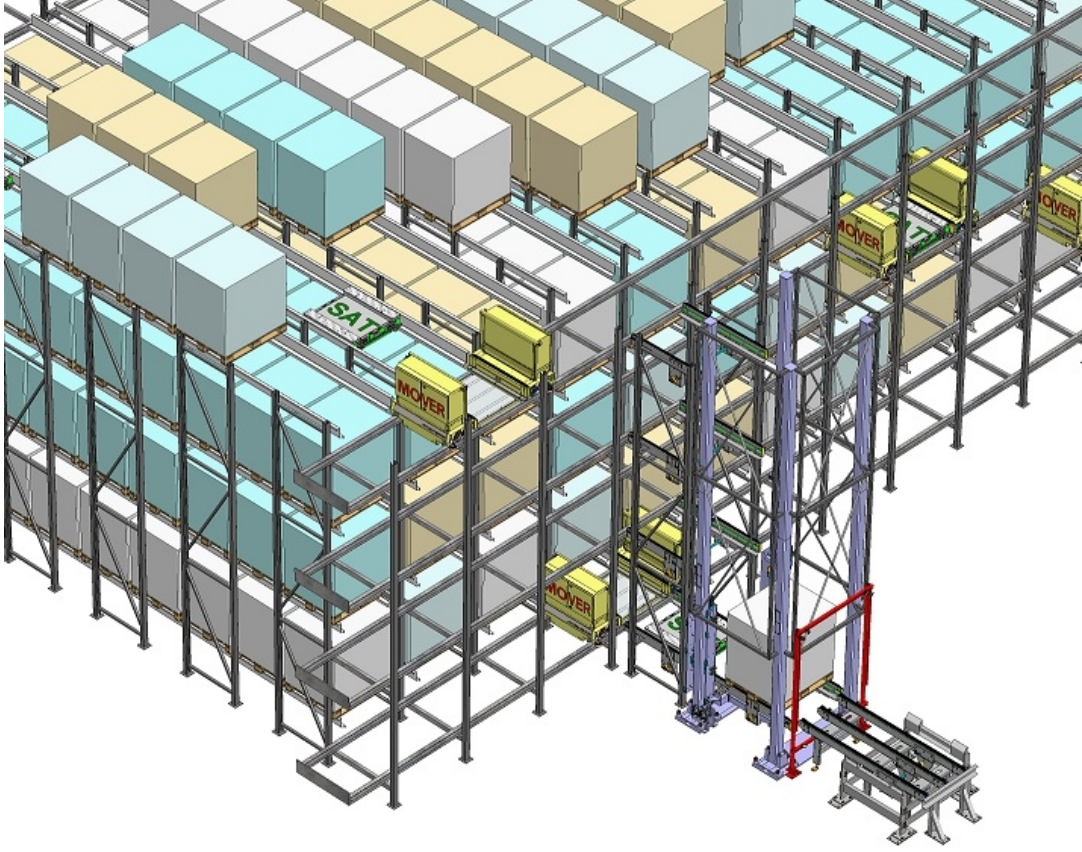
Şekil 2. Mini depolama ODBS (Mini Load ASRS) [3]

c. Çok Derinlikli ODBS (Deep-lane ASRS)

Bu sistemler, büyük miktardaki ürünlerde ve ürün çeşitliliğinin az olduğu durumlarda kullanılan yüksek yoğunluklu depolama sistemleridir. Ürün paletleri aralarda koridor boşlukları olmadan derinlemesine hürelere yerleştirilmektedir. Her raf içerisinde bir TR vasıtasıyla ürünün taşınabileceği şekilde, bir tarafı yükleme diğer tarafı ise boşaltma ünitesi olarak yapılmıştır. İki tarafında da birer koridor robotu bulunmaktadır. Şekil 3'te çok derinlikli ODBS'nin bir simülasyon görüntüsü gösterilmiştir.

d. Operatör Kabinli ODBS (Man-on-board ASRS)

Birim yüklerden daha az sayıdaki ürünlerin depolanması için kullanılan sistemlerdir. Bir insan operatörü, koridor robotu üzerinde robot ile raf girişine giderek ürünü uygun bölmeye yerleştirir. Bu sistem, verimi artırmak için farklı ürünleri aynı anda raflara yerleştirme imkanı da sağlamaktadır. Bu durum sistemin iş hacminin artırılması için bir olanak sağlamaktadır. Şekil 4'te operatör kabinli bir ODBS uygulamasında, operatör kabin üzerinde sipariş toplarken gözükmetedir.



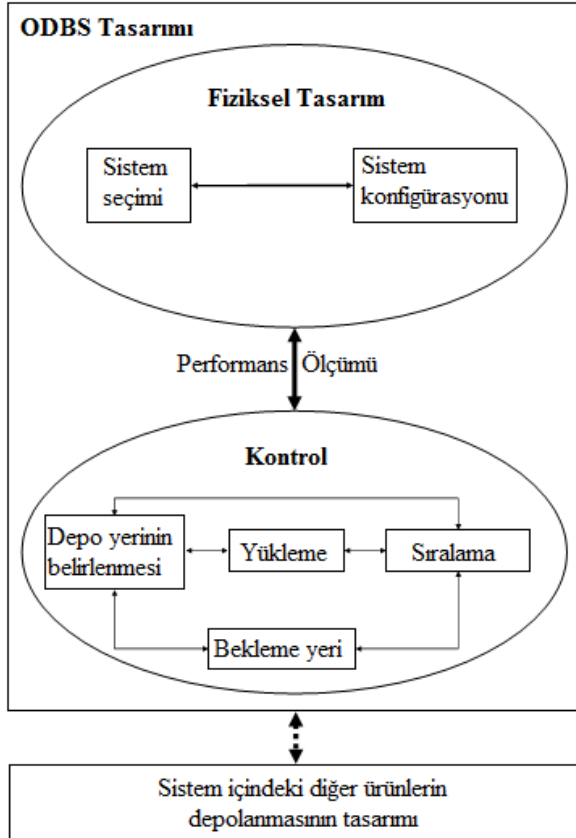
Şekil 3. Çok derinlikli ODBS (Deep-lane ASRS) [4]



Şekil 4. Operatör kabinli ODBS (Man-on-board ASRS) [5]

Yapılan farklı çalışmalarda 4 temel depo kurulumu sınıflandırması haricinde değişik sınıflandırmalar da söz konusu olmuştur. Roodbergen ve Vis [35], son 30 yıldaki ODBS çalışmaları üzerine bir literatür çalışması yapmış ve ODBS seçiminde kullanılan başlıca tasarım ölçütleri, yapılacak sistemin problemleri ve bu problemlere karşı verilen kararları içeren Tablo 1'i oluşturmuşlardır. ODBS konfigürasyonu, seyahat süresi tahmini, depolama yerinin belirlenmesi, bekleme noktası yerinin ve isteğinin belirlenmesi gibi problemleri kapsamlı bir şekilde açıklamışlardır.

İncelenen modellerin ve çözüm yöntemlerinin çoğunun sadece statik çizelgeleme ve tasarım problemleri için uygulanabilir olduğunu tespit etmişlerdir. Zaman kayıpları ve düşük plan performansı sonucu artan rekabet koşullarında yetersiz kalan ODBS'lerin kontrol yapısının ve tasarımlarının nasıl olması gerektiğini açıklamışlardır. Şekil 5'te ODBS'nin fiziksel tasarımı ve kontrolünü gösteren bir şema mevcuttur.



Şekil 5. ODBS'nin fiziksel tasarımı ve kontrolü şeması (The scheme of the physical design and control of ASRS) [35]

Tablo 1. ODBS seçiminde kullanılan tasarım ölçütleri (Design criteria used in the selection of ODBS) [35]

Problem Türü	Karar verilmesi gereken tasarım ölçütleri
Sistem Konfigürasyonu	Koridor sayısı Raf yüksekliği Koridor uzunluğu Eşit uzunluklu veya modüler depolama alanları Giriş-Çıkış istasyonlarının sayısı ve yeri Giriş-Çıkış istasyonlarının kapasitesi Koridor başına düşen Depolama-Boşaltma Aracı (DBA) Koridor başına düşen TR sayısı
Depo Yerinin Belirlenmesi	Depo yerinin belirlenmesi metodu Depo bölümlerinin sayısı Depo bölümlerinin yerlerinin belirlenmesi
Depolama	Depolama tipi (statik veya dinamik) Depolama boyutu (kapasite veya zaman tabanlı) Depolama İsteklerinin sıralanması kuralının seçimi
Sıralama	Sıralama ölçütleri (ör. Tarihler) İşlem tipi (Tek veya çift komutlu) Programlama yaklaşımı (blok veya dinamik) Sıralama metodu
Bekleme Yeri	Yerleşim tipleri (statik veya dinamik) DBA'ların bekleme yerlerinin seçimi

3. LİTERATÜRDEKİ DEĞİŞİK UYGULAMALAR VE PERFORMANS ÇALIŞMALARI (VARIOUS APPLICATIONS AND PERFORMANCE STUDIES IN LITERATURE)

a. Optimizasyon Çalışmaları (Optimization Studies)

Yapılan çalışmalar incelendiğinde; genellikle ODBS'lerin seyahat süresi optimizasyonu üzerinde çalışıldığı, farklı simülasyon programları ile benzetim çalışmaları yapıldığı, çeşitli algoritmalar ve optimizasyon teknikleri kullanılarak tek ve çoklu çevrim komutları için sonuçların kıyaslandığı, depo-raflar sistemi tasarımlarının maksimum verimlilik ve iş hacmine göre tasarlandığı görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların çoğu, sunulan önerilerin yazılımlar ve çeşitli optimizasyon yaklaşımları ile doğrulanması şeklinde olup, çok az çalışmada bulunan sonuçlar gerçek sistemler üzerinde test edilmiştir. Yapılan bazı çalışmalar ve bu çalışmalarda önemli olduğu düşünülen noktalar aşağıda sunulmuştur. Atmaca ve Öztürk [9] sipariş toplama politikaları ve ODBS'ler üzerine literatür araştırması yapmıştır. Sipariş toplama politikaları ve otomatik depolama sistemleri üzerine yapılan araştırmaları inceleyerek, kullanılan yaklaşımların üzerinde durdukları

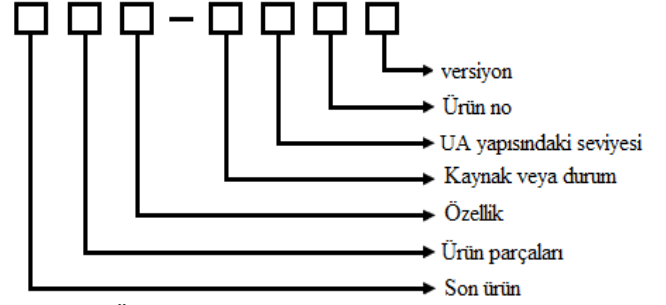
çalışma ulusal çapta yapılmış ilk literatür çalışmalarındandır.

Ashayeri ve ark. [8], bir ODBS raf sistemi için farklı ürünlerin belirlenen uygun yerlere depolanmasını içeren tek ve çift komut döngülü olarak işlemi gerçekleştiren, tahmini çevrim zamanlarını hesaplayan geometrik tabanlı analitik bir model sunmuştur. Sundukları yaklaşım 'L şekilli' gibi herhangi bir kesin yerleşim planı varsaymadığından farklı yapıdaki firmalara uygulanabilirliği yüksektir. Model, Turbo Pascal programlama dili ile yazılmış olup ODBS çevrim zamanlarını tahmin etmek için hızlı bir yerleşim planı konfigürasyonu aracı olarak kullanılabilir. Öngörülen model, Avrupa'daki başlıca üretim yapan firmalarda depolama alanlarının yerleşimlerinin planlanması için başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Fukunari ve Malmborg [18], ODBS'lerde performans ölçütlerini hesaplamak için kuyruk ağları yöntemi yaklaşımını kullanmıştır. Model, bir sistem içerisinde tek ve çift komut döngülerinin oranını tahmin ederek rasgele depolama çevrim zamanlarını çıkarmaktadır. Standart kuyruk modellerine dayanan işlemler ile doğruluk ve hesaplama verimliliğini karşılaştırdıklarında, önerilen tekniğin depolama sisteminde genel malzeme akışında ve sistemlerin modellenmesinde bir esneklik ve avantaj sağladığını gözlemlemişlerdir. Farklı problem senaryolarında işlemleri simule ederek ODBS'nin performansının tahmin edilmesi için sistemin başlıca başlangıç koşullarını temel alan yeni bir analitik model yaklaşımını geliştirmişlerdir.

Hsieh ve Tsai [21], ürünlerin ODBS'de depolanması için ürün ağacı tabanlı bir sınıflama yöntemi sunmuşlardır. Sunulan çalışma, ürün türlerine göre depolama metoduna sahip olmanın avantajının yanında aynı zamanda bir ODBS'yi bilgisayar destekli üretim (BDÜ) (Computer Integrated Manufacturing-CIM) sistemine de entegre edilebilme imkanına sahiptir. Öngörülen metodun etkilerini açıklamak için bir durum çalışması yapılmıştır. Rasgele bir depolama görevi, açıklayıcı bir örnek olması açısından yürütülmüştür. Sonuçlar öngörülen metod ile kıyaslanmıştır. Bulunan karşılaştırma sonuçlarına göre ürün ağacı tabanlı ODBS belirleme metodunun verimli olduğunu bulmuşlardır. Sunulan depolama metodu ile spesifik malzeme türlerinin ODBS'de uygun yerlere verimli bir şekilde koyulabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Böylelikle ODBS, BDÜ sistemi ile entegre bir şekilde çalışarak birçok iş emrine hızlı ve güvenilir bir şekilde cevap verir duruma gelmektedir. Bundan dolayı ODBS ve BDÜ sisteminin birbiriyle bütünleşmesini uygun

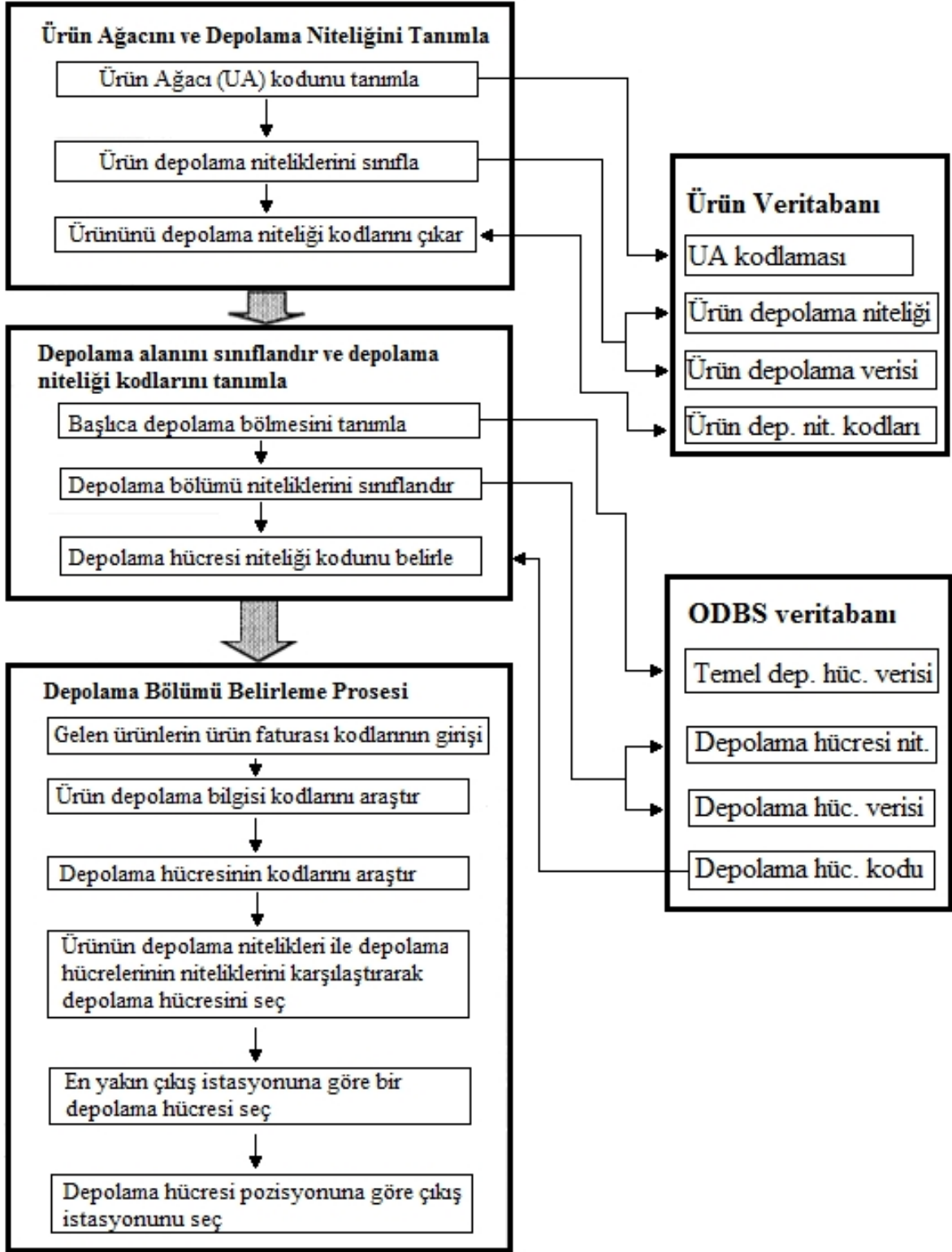
görmüşlerdir. Şekil 6'da ürün ağacının kodlaması, Şekil 7'de ise ürün ağacı tabanlı sınıflama yönteminin depolama görevi görülmektedir.



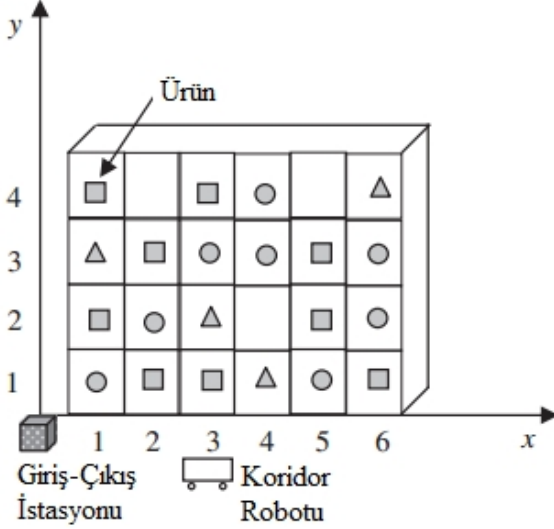
Şekil 6. Ürün ağacı kodlaması (BOM coding)[21]

Dotoli ve Fanti [15], raylı taşıtları ve dar koridor vinçlerini de içeren heterojen ODBS'ler için modüler ve birleşik bir modelleme sistemi önermiştir. Gerçek zamanlı kontrol uygulamaları için uygun olabilecek, sistemin dinamik davranışlarını modellemeye yarayan verimli bir arayüz sunarak bulanık renkli petri ağı kullanmışlardır.

ODBS'lerdeki ürün istek sırası çalışmalarında depodan boşaltılacak ürünlerin yerinin bilindiği varsayılmakta ve bu bilgiye göre en kısa seyahat süresini hesaplayacak bir rota çizilmektedir. Gerçekte ise boşaltma işlemi için bir ürün farklı raflarda bulunabilmekte ve bu ürünün boşaltılması esnasında aynı ürünün yerlerinin bir kümesinden en uygununun seçilmesi söz konusu olmaktadır. Şekil 8'de farklı ürünlerin rafların değişik yerlerinde bulunduğu birim depolamalı ODBS örneğinin şematik çizimi gösterilmiştir. Yapılan çalışmada, Hachemi ve ark. [20] aynı tip ürünlerin farklı raflarda bulunduğu ve boş yerlerin bir kümesinin çıkarıldığı sıralama problemine bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Sonuç olarak boşaltma ve depolama hücreleri önceden bilinmektedir. Çift çevrimlerin minimum zamanda taşınmasına yönelik bir sıralama yapılmıştır. Depolama ve boşaltma isteklerine göre depolanacak ve boşaltılacak ürünün minimum çevrim zamanını bulmak ve her çevrimin yolunu elde etmek için adım adım çalışan bir optimizasyon metodu geliştirilmiştir. Depolama istekleri ilk giren ilk çıkar (İGİÇ) kuralına ve boşaltma isteklerinin sırasına göre hesaplanmaktadır. Sunulan birim depolamalı ODBS, bir koridor robotu ve bir raf sisteminden oluşmaktadır. Ürünler depo-raf sisteminin giriş-çıkış istasyonuna konveyör vasıtasıyla gelmekte ve orada bekletilmektedir. Koridor robotu yatay ve dikey yönlerde eş zamanlı olarak seyahat etmektedir. Her boşaltma isteği için çift çevrimde bir depolama isteği kullanılabilir. Tasarlanan sistemde giriş-çıkış istasyonu depo-raf sisteminin sol köşesinde bulunmaktadır.



Şekil 7. Ürün ağacı tabanlı depolama görevi (Bill of material (BOM) based storage assignment) [21]



Şekil 8. Birim depolamalı ODBS'nin yerleşim düzeni (Unit load ASRS layout) [20]

Berg [11], bir ODBS sisteminde DBA'ların uygun bekleme noktasının seçimine yönelik bir problemi ele almıştır. Bu bekleme pozisyonu, DBA'ların boştayken bekledikleri noktadır. Yapılan çalışmadaki amaç, bir sonraki istenen iş emri için oluşacak seyahat zamanını minimuma indirmektir. Bunun için sınıf tabanlı ve rasgele depolama koşullarına göre analitik çözümler sunmuştur. Sunulan çözümler, sistem performansını tahmin etmek için ve ODBS kontrolünde tasarım aşamalarında kullanılabilir.

Manzini ve ark. [30], sınıf tabanlı ürün depolaması için çeşitli parametreleri baz alan dinamik bir model geliştirmiştir. Sistem performansını, işletim konfigürasyonlarını ve alternatif tasarımları ölçmek için birçok senaryo simüle edilmiş ve sistem cevabını etkileyen en kritik özellikler ve kombinasyonlar çıkarılmıştır. Sınıf tabanlı depolamanın sistem verimini ve depolama çevrim zamanlarını minimize ettiği ortaya konmuştur. Modern şirketlerin hızla değişen çalışma koşullarına uyum sağlaması ve esnek ihtiyaçlara cevap verebilmesi için görsel etkileşimli simülasyon (GES) ve sistem kontrol tasarımı konularında ODBS'lere ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır.

Yin ve Rau [42], sınıf tabanlı birim depolama ODBS'leri üzerinde dinamik olarak sıralama seçimi kuralları üzerine çalışmışlardır. Çok geçişli genetik bir algoritma simülasyon sistemini geliştirmişlerdir. Bu sistem depolama ve boşaltma isteklerini veya ikili komutları bloklara bölmektedir ve her bloğu ayrı ayrı inceleyerek en uygun sıralama kuralını tespit etmektedir. Bu kurallar İGİÇ, en kısa toplam seyahat süresi ve en kısa son kullanma tarihi gibi değişkenlerdir. Bunlara bağlı olarak sistem içerisindeki herhangi bir hücre dinamik olarak

seçilebilmektedir. Yapılan deney çalışması ile sunulan dinamik kuralların diğer tek kural kullanılan sistem yaklaşımlarından daha üstün olduğu kanıtlanmış ve bu yaklaşımın ODBS operasyonlarının kontrolü için çok yararlı bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

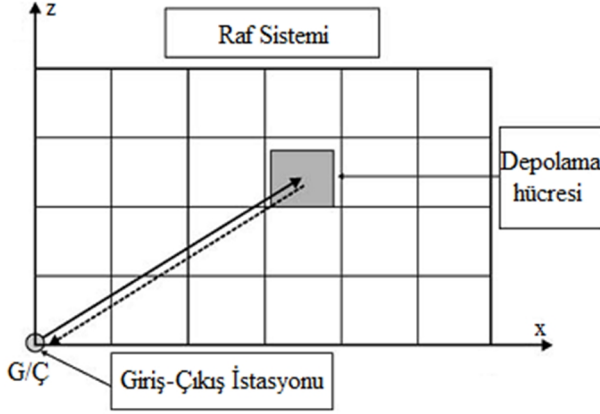
Bessenouci ve ark. [12], akış yönlü ODBS için tabu arama algoritması ve benzetilmiş tavlama algoritması olarak iki metasezgisel algoritma sunmuşlardır. Bu metasezgisel algoritmalar ODBS'nin boşaltma çevrim zamanlarını minimize etmek için geliştirilmiştir. Metasezgisel algoritma sonuçları klasik sezgisel ve analitik modellerle kıyaslanmıştır. Sezgisel olan algoritmanın ODBS'nin depolama ve boşaltma işlemlerinde kullanıldığı, analitik modellerin ise farklı tekniklere temel oluşturduğu gözlenmiştir. Bu karşılaştırma çalışması için, geniş kapsamlı sistem konfigürasyonları simüle edilmiştir. Metasezgisel sonuçları doğrulamak için, parametreler üzerine hassas bir çalışma yapılmış ve karşılaştırma için en iyi parametreler seçilmiştir.

Peng [33], ODBS'de FLEXIM® yazılımında simülasyon ve analiz çalışmaları yaparak ürünleri optimum yerlere depolamayı, kargo devir hızını ve fayda maliyet oranlarını artırmayı amaçlamıştır. Simülasyon sonuçlarının, ODBS'deki tıkanıklıkları geleneksel simülasyon metotlarına göre hızlı ve etkin bir biçimde çözdüğü gözlenmiş ve yazılımın bir çok avantaja sahip olduğu tespit edilmiştir.

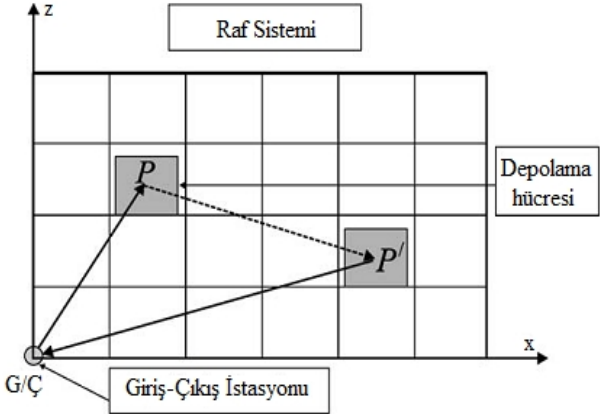
Ekren ve Heragu [17], ODBS'lerin simülasyon tabanlı performans analizleri üzerine çalışmıştır. ODBS, otomatik araç (OA) teknolojisine dayanan birim depolama sistemleri için oldukça yeni bir sistemdir. Bu yeni sistem OA'lar, asansörler ve depolama raflarından oluşmaktadır. Yapılan çalışmada daha önce tanımlanmış senaryolar için OA'ların ve asansörlerin en yüksek performansı verecek şekilde optimum sayılarını tespit etmek amaçlanmıştır. Sistemin depolama rafları koridor sayıları, koridor bölümleri ve katları cinsinden tanımlanmıştır. Alan başına on ve dokuz araçlı, ikili hedefli, 450 ve 500 paletli yedi raf konfigürasyonu senaryosu düşünülmüştür. Ortalama çevrim zamanları ve boşaltma işlemleri, OA'nın ve asansörlerin ortalama kullanımlarının performansları ölçülmüştür. ARENA® yazılımı kullanılarak sistemin simülasyon modeli geliştirilmiştir. Asansör sayısının çok sayıda olduğu ve iz düşüm alanının geniş olduğu sistemlerin performansının daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Potrc ve ark. [34], ambar ve dağıtım merkezlerindeki ODBS'lerin verimli çalışması için, hızlı cevap sürelerine sahip olacak şekilde

tasarlanmaları gerektiğini tespit etmiştir. Yapılan çalışmada, ODBS için tek ve çoklu TR kullanılarak eşit hücre boyutlarında sezgisel seyahat zamanı modelleri sunulmuştur. Önerilen modelin ana düşüncesi, farklı türdeki raf sistemleri ve depolama ve boşaltma makinelerinde seyahat süresinin kapasitesini belirlemektir. Şekil 9 ve Şekil 10'da tek ve çift çevrim komutları gösterilmiştir.



Şekil 9. Tek çevrim komutu (One cycle command) [34]



Şekil 10. Çift çevrim komutu (Double cycle command) [34]

Accorsi ve ark. [6] depo sisteminin tasarımı, yönetimi ve kontrolü üzerine yeni bir karar destek sistemi (KDS) geliştirmiştir. Önerilen KDS, hem depo tasarımını hem de yönetim operasyonlarını dikkate alan bir yapıya sahiptir. Sistem sayesinde aynı anda lojistik ve malzeme yüklenmesi işlemleri simüle edilebilmektedir.

Pan ve ark. [32] yüksek yoğunluklu depolarda sınıflandırılmış depolama yöntemlerini ve çeşitli rota politikalarını dikkate alarak seyahat süresi tahmini modeli geliştirmiştir. Simülasyon modeli sonuçları ile tasarladıkları ölçüm modelinin performansını doğrulamışlardır. Tasarlanan analitik modelin seyahat sürelerini düşürerek en uygun depo

yerleşimini seçtiğini kanıtlamışlardır. Lu ve ark. [27] depolama sistemlerinin verimli kullanılmasında kilit role sahip ürünlerin toplanması işlemine odaklanmış ve dinamik ürün toplama rotalarında müdahale edilebilir rota algoritmalarını tanıtmışlardır. Endüstriyel bir uygulama örneğinde algoritmayı test etmişler ve önerdikleri müdahale edilebilir rota algoritmasının hem statik hem de sezgisel dinamik ürün toplama işlemlerinde uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Dotoli ve ark. [16] verimliliği artırmak için depo sistemlerinin analizi ve optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Önerdikleri yaklaşım üç üretim aracını birleştirmektedir. Bunlar; tümleşik modelleme dili (Unified Modeling Language), değer akış haritalaması (Value Stream Mapping) ve Shikumi felsefesi olarak adlandırılan matematiksel formülasyondur. Yöntemi bir üreticiye uyguladıktan sonra yaklaşımın sistematik ve dinamik olarak depo yönetimini geliştirdiğini, depo yönetimi ve optimizasyonu için önemli bir yaklaşım olduğunu tespit etmişlerdir.

Ghomri ve Sari [19] akış yönlü ODBS'lerde ortalama boşaltma süreleri için bir matematik model geliştirmiştir. Bu tip sistemlerde çok yoğunluklu tek bir raf ve iki tarafta da bir robot bulunmaktadır. Ön taraftaki robot ürünlerin yüklenmesi için diğeri ise ürünlerin raflardan boşaltılması için kullanılmaktadır. Ortalama boşaltma süresini hesaplamak için iki aşamalı bir problem oluşturmuşlardır. İlk önce rafın boşaltma bölümünü dikdörtgen olarak düşünmüşler ardından boşaltma istasyonu ile dikdörtgendeki ürünlerin bulunduğu noktaların arasındaki uzaklığı hesaplayarak boşaltma sürelerini elde etmişlerdir.

Bortolini ve ark. [13] seyahat sürelerini azaltarak yükleme performansını artırmayı amaçlayan, geleneksel olmayan kolay uygulanabilir birim depolama kurulumları üzerine çalışmıştır. Optimum kurulum gerçekleştirildiğinde seyahat sürelerinde %7'den %17'ye kadar azalmalar gözlenmiştir. Ma ve ark. [29] dinamik çift katlı depo sistemlerinde mobil robotlar için rota planlaması problemlerinde en verimli yolları bulmaya yönelik bir araştırma yapmıştır. Yapılan simülasyonlar, çift katlı depo sistemlerinde çoklu mobil robotların hesaplanan rota bilgileri ile başarılı bir şekilde deponun doldurulmasını gerçekleştirdiğini göstermiştir.

b. Depo Yerleşimi ve Depo Araçları (Warehouse Configuration and Warehouse Vehicles)

Depo yerleşimleri incelendiğinde birçok farklı kurulum tipinin ve depoda işlemleri yürüten birçok araç çeşidinin olduğu bilinmektedir. Ürünlerin

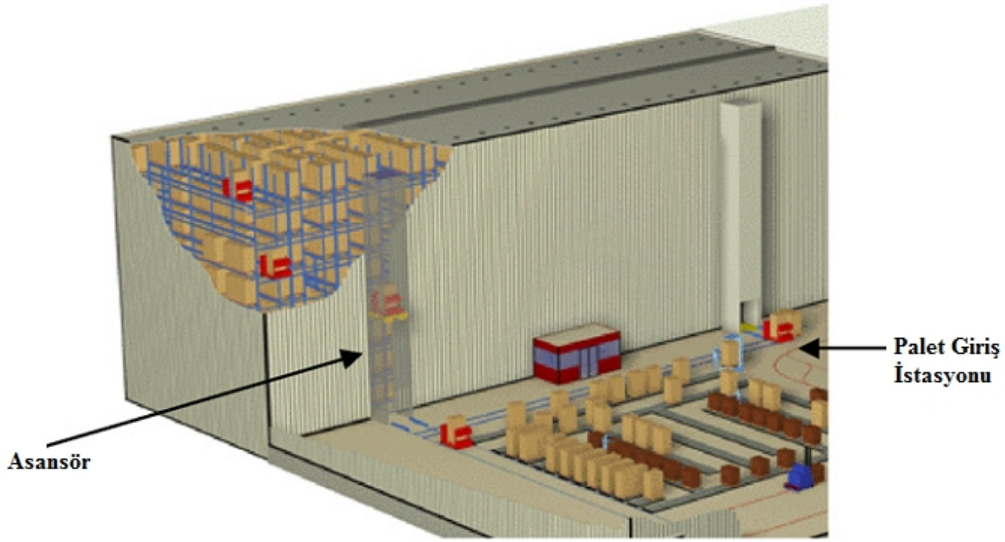
depoya yüklenmesi ve toplanması işlemlerinin her firmada farklılık göstermesi her firma için değişik yapılarda depo kurulumlarının gerekliliğini doğurmuştur. Günümüzde depo yerleşiminde kullanılan en teknolojik sistemler akıllı depolama sistemleridir (ADS). Bu sistemler dinamik karar verme yapıları sayesinde çeşitli kısıtlara göre anlık işlem gerçekleştirebilmektedir.

ADS'ler insan müdahalesi olmadan çalışan ve hem kendi içindeki birimlerle hem de üretim, paletleme, muhasebe, satış, lojistik gibi diğer sistemlerle ve birimlerle haberleşebilen, optimizasyon için ileri yöntem karar verme algoritmalarını kullanan bir depolama sistemidir. İleri yöntem karar verme algoritmalarını kullanan ADS'yi klasik bir ODBS'den ayıran en önemli özellik akıllı olması, depo akışını etkileyen bütün veri kaynaklarıyla etkileşimli çalışması ve boyut, güç ve işlev olarak

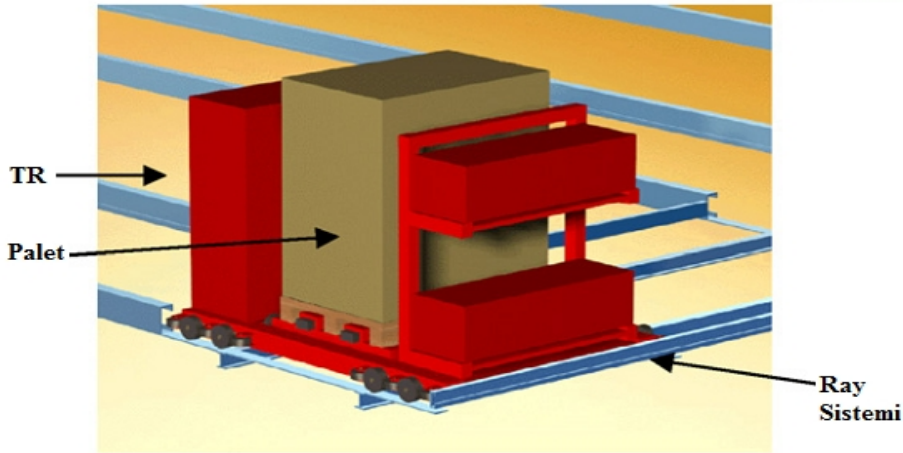
üretim tesisinin ihtiyaçlarına yönelik tasarlanmış olmasıdır [23].

Malmberg [28], TR'si olmayan bir ODBS'nin aksine depolama-boşaltma araçları (DBA) sayesinde depo sistemindeki tüm hücrelerin ulaşılabilir olduğunu belirtmiştir. Dikey hareket, depo rafları boyunca asansör yani KR vasıtasıyla kaldırılarak yapılırken yatay hareket için TR tüp boyunca doğrusal hareket yapmaktadır. Temel bir ODBS tasarımı elemanları Şekil 11'de detaylı olarak gösterilmektedir.

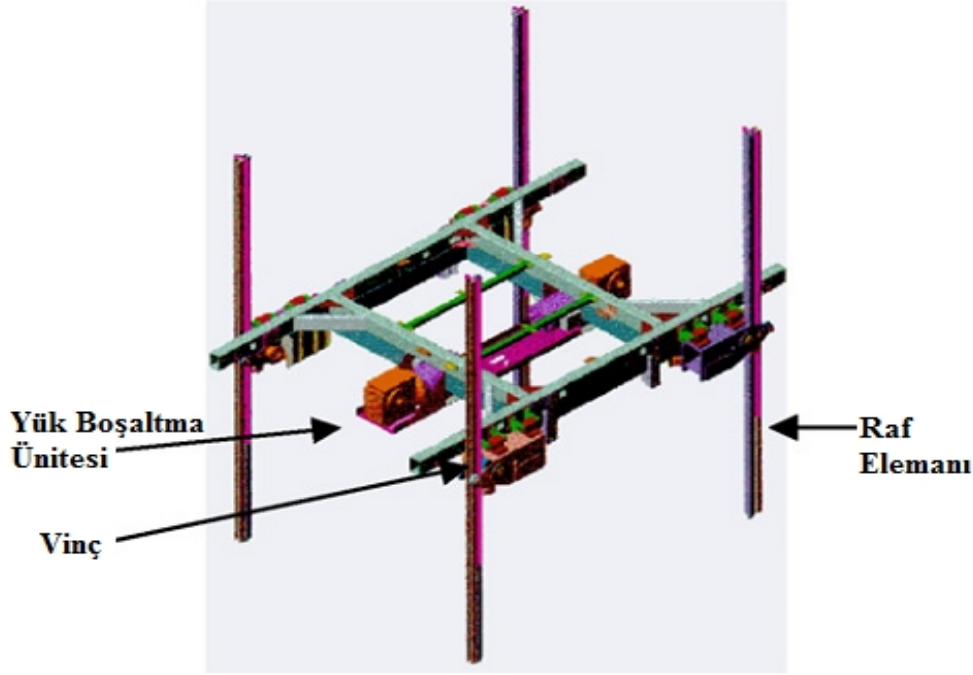
Chen ve ark. [14] toplayıcının iş yükü yoğunluğunu kontrol etmek için bir rota çıkarma metodu geliştirmiştir. İki toplayıcı için karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) tabanlı yeni bir rotalama algoritması kullanmışlardır. Yaptıkları simülasyon çalışmalarına göre KKO birçok örnekte en kısa toplama sürelerini vermiştir.



a) ODBS'nin genel sistem görünümü (The overall system view of ASRS)



b) ODBS'deki TR görünümü (SR view in the ASRS)



c) Dikey yönde taşıma için kaldırma mekanizması (Lifting mechanism for moving in the vertical direction) Şekil 11. a), b), c). Temel ODBS tasarımı ve elemanları (Basic design and components of ASRS) [28]

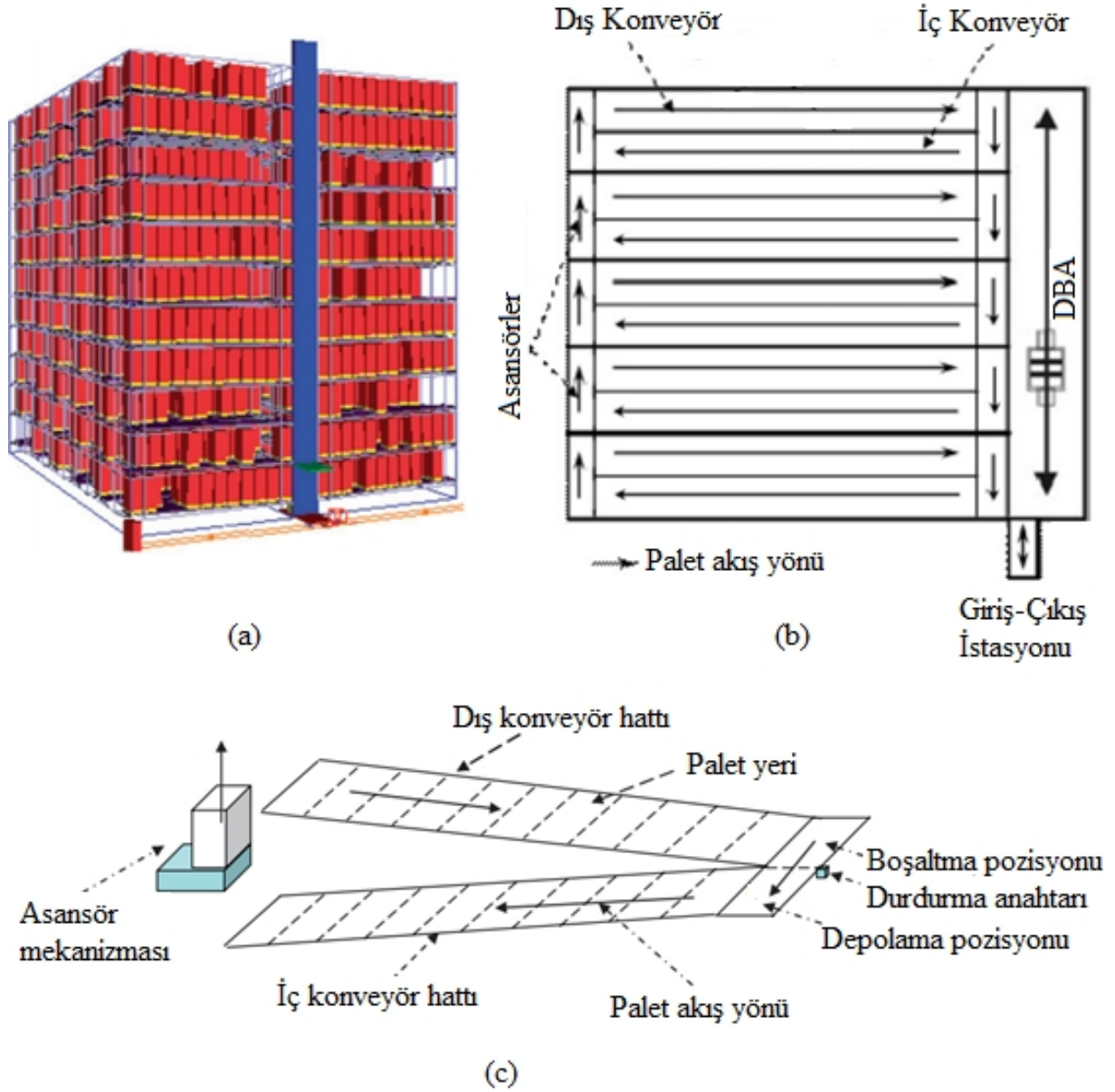
Közkurt ve ark. [24] depo sistemlerindeki rafların yapısal analizini sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirmiş ve maksimum gerilmenin civataların yuvalarında olduğunu tespit etmiştir. Bir firmada kurulacak olan raf sisteminin taşınacak yüklere göre analizinin yapılmasının gerektiğini, aksi halde tasarımlardaki zayıf noktaların raf sisteminde veya taşıyıcı robotlarda kalıcı hasarlara yol açabileceğini vurgulamışlardır.

Yu ve Koster [43], DBA'nın raflar arasında dikey ve yatay yönlerde hareket ettiği ve TR'nin de derinlikte hareket ettiği 3 boyutlu bir ODBS sistemi üzerinde çalışmıştır. Yapılan çalışmanın amacı, farklı depolama koşulları altında sistemin tahmini seyahat çevrim zamanlarını minimize etmektir. Tam çevrim seyahat sürelerinde, depolama koşullarını düşünerek optimum raf boyutlarını belirlemek için yeni bir model önerilmiştir. Model sadeleştirilmiş, ve verilen herhangi bir raf kapasitesi için analitik olarak optimum raf boyutları elde edilmiştir. Çevrim sürelerinde rasgele depolama şartlarına göre önemli derecede azalma gözlenmiştir. Bulunan sonuçlar bir örnek üzerinde uygulanarak bulgular incelenmiştir. Sunulan çalışma en az iki tipteki derinlik modelini incelemektedir. Bunlardan birincisi yerçekimi konveyörleri, diğeri ise elektrikli konveyörlerdir.

Yerçekimi konveyörlerinin çalışma mantığı Şekil 12'de gösterilmiştir.

Mowrey ve Parikh [31] hem dar hem de geniş koridorların bulunduğu bir depo tasarımı önermiş ve en uygun koridor tasarımı kurallarını tanımlamıştır. Karışık koridor düzenlerini analiz etmek için boşlukları ve seyahat sürelerini de hesaba katarak analitik modeller geliştirmişlerdir. Tasarladıkları sistem ile yıllık 48 bin dolara kadar bir tasarruf sağlanabileceğini test sonuçları ile elde etmişlerdir.

Depo sistemleri depolanan ürün adedi, palet başına ortalama ürün miktarı, üretilen iş ve hammadde ihtiyacı, talep miktarı vb. birçok farklı yolla karakterize edilebilir. Dolayısıyla her durum için yüzlerce farklı depo kurulumu ortaya çıkmaktadır. Bir depo tipi ne kadar iyi olursa olsun farklı taleplere göre uygun olmayabilir. Bu yüzden kurulacak depo sistemi için iyi bir analiz yapılması şarttır. Thomas ve Meller [39], durum odaklı ürün toplamada depo yerleşimi için kullanılabilecek yönergeler üzerine bir araştırma yapmıştır. Karar verme sürecinde bazı parametreleri kullanıp analitik modelleme yöntemiyle her tasarım için iş sürelerini hesaplamışlardır. Sonuçta en önemli parametrenin ileri bölgeler olduğunu ve önerilen yönergelerin iş sürelerinde azalma sağladığını tespit etmişlerdir.



Şekil 12. Yerçekimi ODBS konveyör sistemleri (a) Genel bakış, (b) Birim depolama yönlerinin üstten görünümü, (c) Yerçekimi konveyörün yandan görünümü(ASRS with gravity conveyors (a) Overall sketch (b) Top view of unit-load flow directions (c) Side view of gravity conveyor) [43]

c. Kontrol ve Haberleşme Çalışmaları (Control and Communication Studies)

Bargiotas ve ark. [10], çalışmalarında düşük maliyetli, küçük ve orta birimli işletmeler için ODBS tasarımı ve geliştirilmesini önermiştir. Sistemde kullanılan AC motorları invertörlerle sürmüşler ve PLC ile kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Kontrol yazılımı ve kullanıcı arayüzünü mevcut ERP (Kurumsal Kaynak Planlaması) sistemine uyacak bir şekilde tasarlamışlardır. Raf sisteminin bir prototipini yaparak önerilen ODBS'nin demo versiyonunu kurmuşlardır.

Amato ve ark. [7] otomatik bir depo sistemi yönetimi için kontrol algoritmaları geliştirmişler. Bir kontrol algoritmasının genel olarak üç adımdan oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Bu adımlar güvenilir bir modelin geliştirilmesi, bazı optimum ölçütlere göre kontrol yöntemlerinin tasarımı ve bu tasarımların uygulanmasıdır. Kontrol mimarisinde genel performansı artıran, kontrolü basitleştiren optimum sistem adında bir model geliştirmişlerdir. Tüm depolama sisteminin detaylı modelini irdelemişler ve renkli petri ağı kullanarak bir model oluşturmuşlardır. Kontrol olarak iki algoritma sunmuşlardır. Birincisi raflardaki konumların

basitleştirilmesine dayanan koridorda hareket eden koridor robotlarının ve vinçlerin; ikincisi ise koridor ile tüp içerisinde çalışan taşıyıcı robotun algoritmalarıdır. Önerilen kontrol algoritmasının performansını değerlendirmek için üç farklı maliyet endeksi tanımlanmıştır. Kontrol algoritmalarının etkinliğini kanıtlamak için model üzerinde doğrulama amaçlı kapsamlı simülasyonlar yapılmıştır. Son olarak da önerilen kontrol algoritmalarını ve yapısını gerçek bir sisteme uygulamıştır.

Liu ve ark. [26] dört farklı otomatik depolama ambarı konseptini tasarlamış, analiz etmiş ve değerlendirmiştir. Yapılan konseptler otomatik depolama aracı tabanlı otomatik depolama terminallerini, doğrusal motorlu iletim sistemlerini, raylı sistemleri ve yüksek katlı ODBS'leri içermektedir. Her terminalin konfigürasyonu, ekipmanını ve operasyonlarını tasarlamak için gelecekteki talep senaryoları kullanılmıştır. Küçük bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve bu simülasyonda her terminal sisteminin aynı senaryoya göre nasıl bir performans göstereceği izlenmiştir. Her terminalin maliyetini hesaplamak için bir maliyet modeli kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar, otomasyonun geleneksel ambarların performansını büyük ölçüde artırdığını ve maliyeti düşürdüğünü göstermiştir. Sunulan dört modelden otomatik depolama aracı tabanlı olanının en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

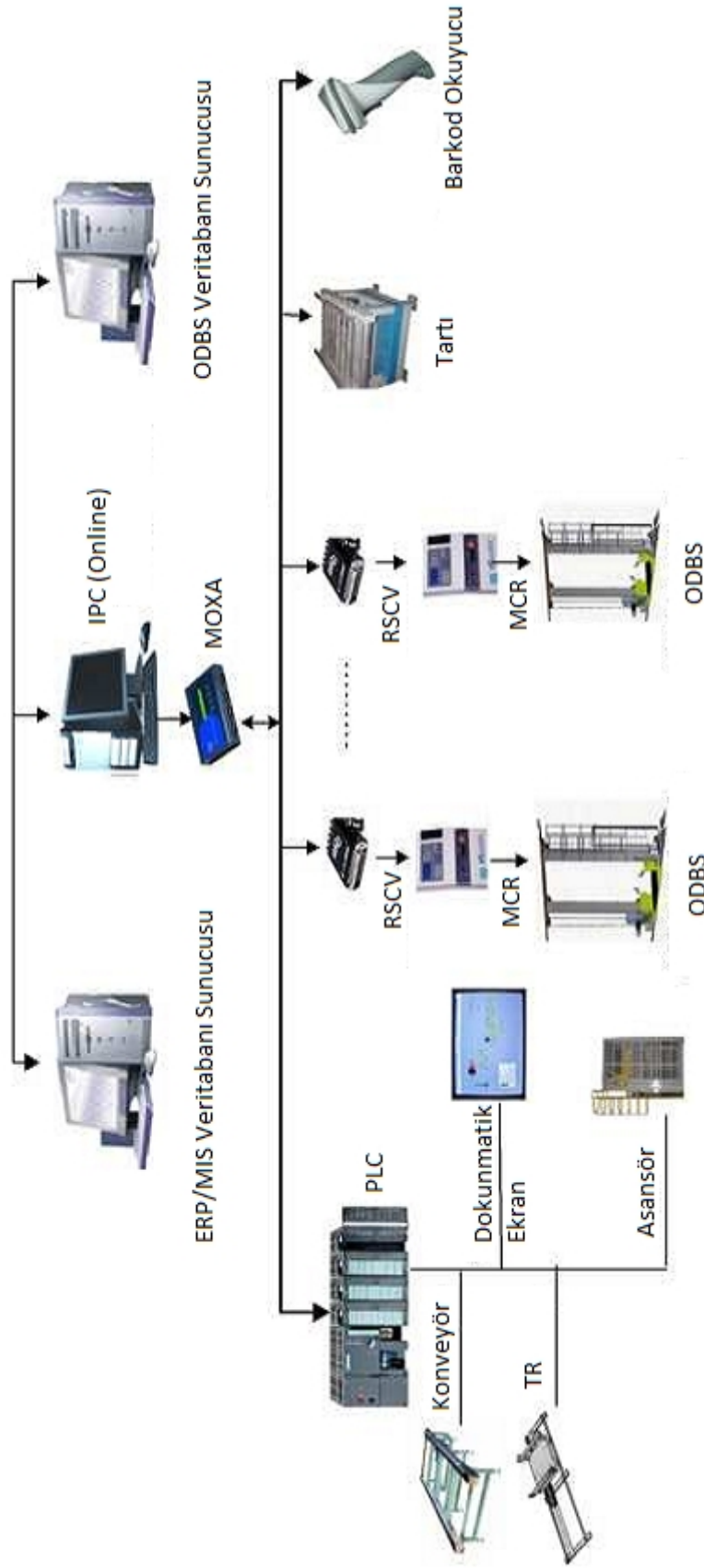
Xusong ve Hongbin [41], simülasyon ve kontrol sistemlerinin genellikle ayrı olduğu günümüzde, gerçek zamanlı ODBS simülasyonu ve entegre edilmiş kontrol sistemi için bir yöntem geliştirmiştir. Bu bütünlük sistemi C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiş, ODBS simülasyonu ve kontrol sistemi birleştirilmiştir. Gerçek zamanlı yaklaşım kullanılarak belirli yöntemler ve sistemin temel özellikleri çıkarılmıştır (Ana kontrol modülü, ODBS araç modeli, konveyör modeli, TR modeli, akış yönü tanımlanması, ürün varış/çıkış zamanı modeli vb.). Bir otomobil parçası fabrikası için ODBS projesi çalışması yapılmış, FLEXIM® yazılımı ile 10 aylık operasyon verileri de kullanılarak sistem simülasyon sonuçları kıyaslanmıştır. Sonuç olarak gerçek zamanlı ODBS simülasyonları ile tümleşik kontrol sisteminin uygulanabilir, esnek ve çok amaçlı olduğu bulunmuştur. Gerçek sistemin kurulumundan önce sistemin performansını ve kontrolünü test etmek ve artırmak için yeni bit metot sunulmuştur. Şekil 13'da geliştirilen kontrol sisteminin yapısı şematik olarak gösterilmiştir.

Lin ve Tsao [25], ODBS'nin doldurulması isteğinin zaman minimizasyonu için dinamik durum uygunluğu kontrolörü (DDUK) geliştirmişlerdir. Bilgisayar destekli üretim sisteminin (BDÜS) üç farklı dinamik parametresi dikkate alındığında, ODBS ve makinelerin uygunlukları, ürün proses planı uygunluğu, ve üretim planı uygunluğu göz önüne alınarak DDUK'nın DBA'nın düzenleme sırasını optimum olarak seçebildiği ve dinamik olarak ODBS depolamasını gerçekleştirdiği görülmüştür. Simülasyon sonuçları da DDUK'nın DBA kontrol performansını başarılı bir şekilde artırdığını ve geleneksel sınıf tabanlı metotlara göre BDÜS konfigürasyon yaklaşımlarının önemli ölçüde geride kaldığını göstermiştir. BDÜS'li tek koridorlu ODBS ve DBA konfigürasyonu Şekil 14'te gösterilmiştir.

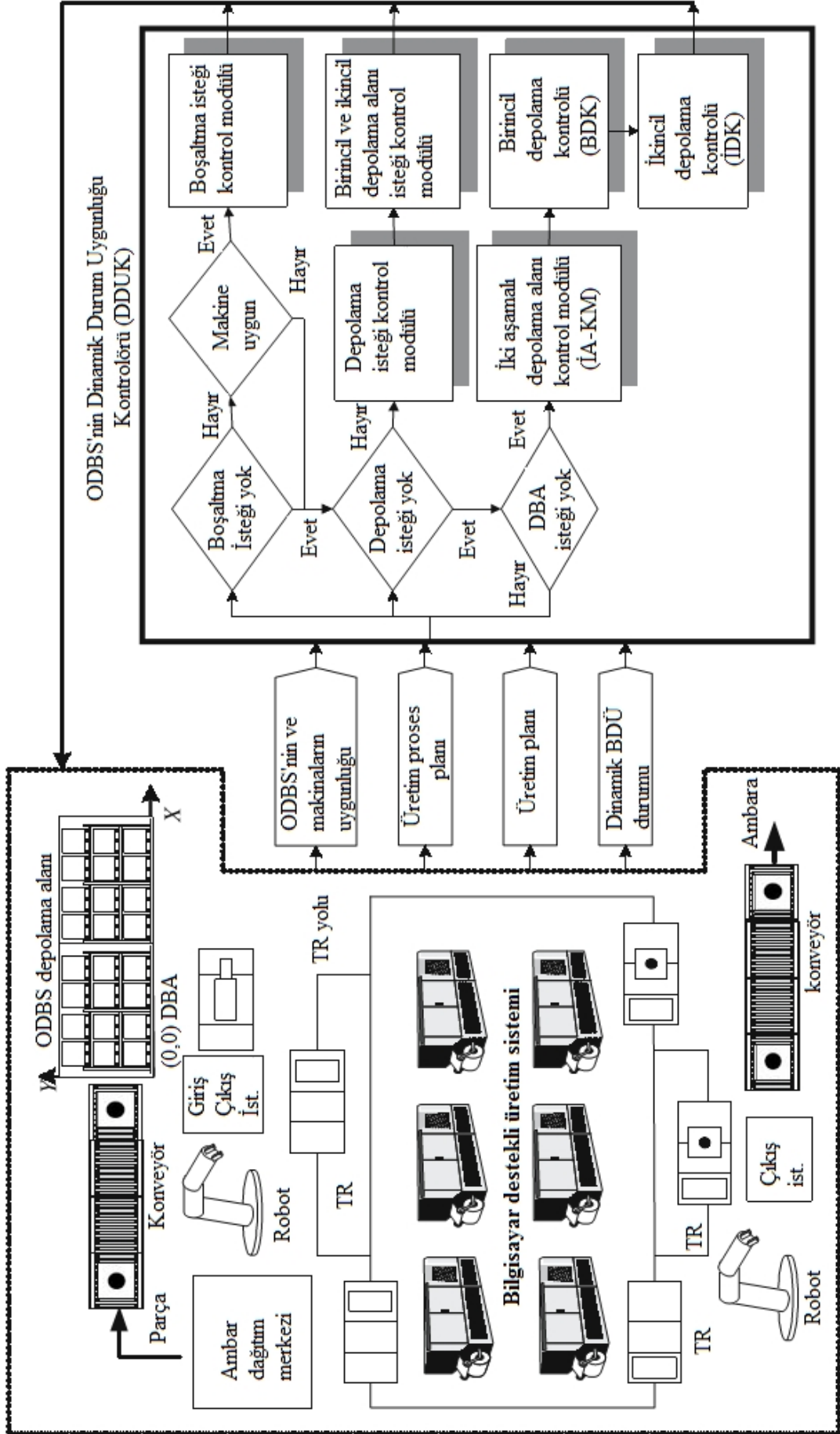
Son ve ark. [36] depo kontrol sistemlerinin (DKS) depo yönetim sistemlerinden (DYS) farklı olduğunu, DKS'nin tesisin kontrolünü sağlarken DYS'nin siparişleri yönettiğini vurgulamışlardır. Var olan DKS'lerin fonksiyonlarını ve sınırlarını analiz ederek işlemleri gerçek zamanlı yöneten bir DKS mimarisi önermişlerdir. Araç kontrol sisteminin (AKS) farklı makineleri kontrol ettiği sistemde depodaki hareketler ve ürünlerin toplanması gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.

Xue ve Liu [40], otomatik ambarların depolama ve boşaltma işlemlerindeki verimliliğini artırmak için robot teknolojisi üzerinde durmuştur. Hedef hücrelerin yerinin tayininde ilk başlarda RFID sistemlerinden yararlanılmıştır. Ardından robot üzerine yerleştirilen sensörler vasıtasıyla ürünlerin yerleştirilecekleri yerler ve adresler tespit edilmiştir. Son olarak da esnek bir sistem oluşturulması için öğrenme ve uzaktan kontrol modları kullanılmıştır. Bu iki modun birleşimine ek olarak görüntü işleme sonuçlarının da kullanılması ile sistemden tam verim alındığını tespit etmişlerdir.

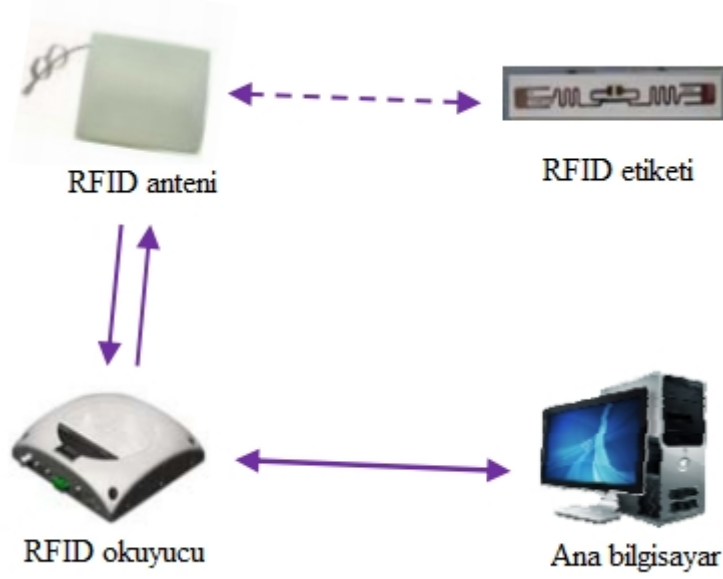
RFID sistemi temel olarak üç parçadan oluşmaktadır. Şekil 15'te de gösterilen okuyucu, anten ve RFID etiketi bu elemanlardır. RFID etiketinin benzersizliğinden dolayı okuyucu, ürünü eklendiği RFID etiketine göre yerleştirebilmekte ve takip edebilmektedir. Ucuz, uzun ömürlü, hafif ve küçük olmalarından dolayı ürünlerde genellikle pasif etiketler kullanılmaktadır. Okuyucu ana bilgisayar ile RS232 üzerinden haberleşmektedir. CCD kamerası robot kolunun ucuna yerleştirilmiştir ve ürünü renk ve şeklinden algılamaktadır.



Şekil 13. ODBS kontrol sisteminin yapısı (The structure of the ASRS control system) [41]



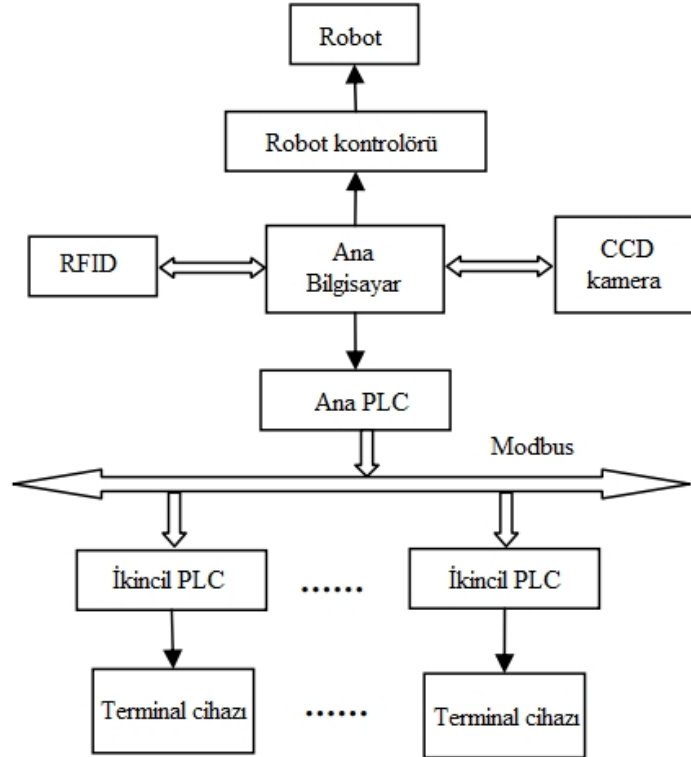
Şekil 14. ODBS için BDÜS içerisindeki DDUK tasarımı (Design framework of DAOC for an ASRS in the CIMS environment) [25]



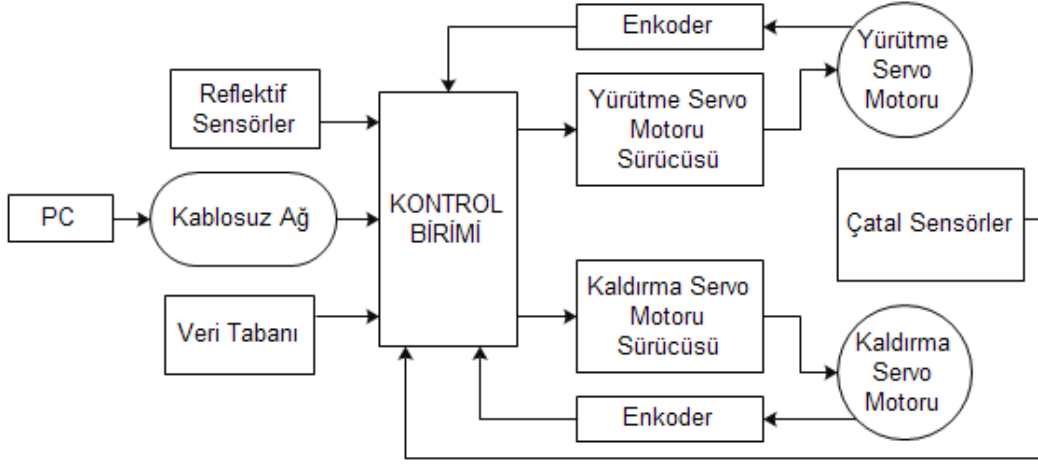
Şekil 15. RFID sistem elemanları (RFID system components) [40]

Otomatik ambar yönetiminde kontrol sistemi Şekil 16'da gösterildiği gibi yönetim ve görüntüleme bilgisayarı, Modbus ve wireless ağı üzerinden haberleşen ana PLC, ikincil PLC ve çoklu bir görüntüleme sisteminden oluşmaktadır. Tüm otomatik ambar sistemi kargo, boşaltma, dağıtım ve ulaşım sistemleri ile koordineli çalışmaktadır ve herhangi bir manuel operasyona gerek kalmadan çalışan akıllı bir sistemdir.

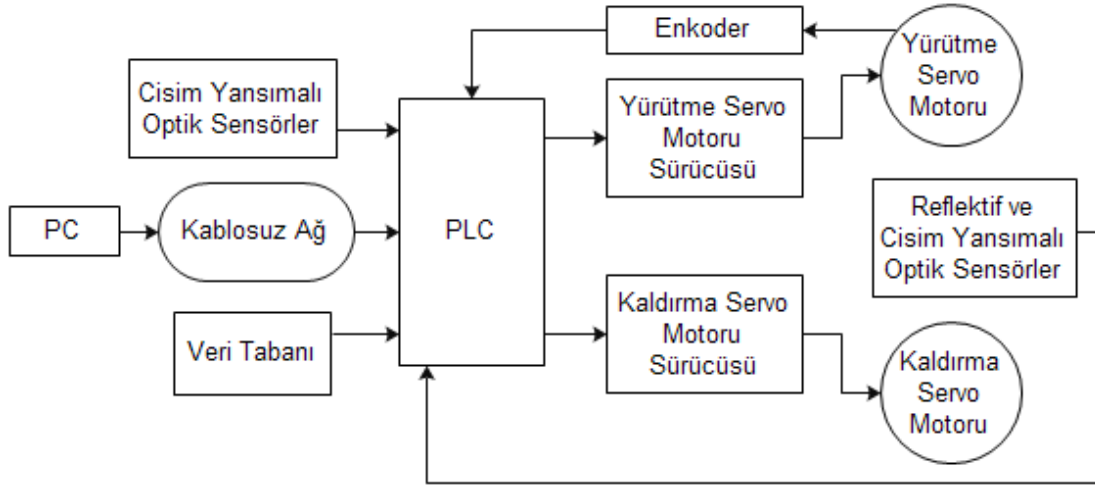
ODBS'lerde 3 temel eleman bulunmaktadır. Bunlar raf sistemi, taşıyıcı robot ve koridor robotudur. Bu elemanların bütünleşmesi ile otomatik olarak yükleme ve boşaltma yapan veri tabanı ile entegre bir sistem oluşmaktadır. KR'lerin ve TR'lerin kontrol yapılarının blok diyagramları Şekil 17'de ve Şekil 18'de gösterildiği gibidir. Motorlardan alınan enkoder konum bilgisi TR ve KR üzerindeki ilgili sensörler ile doğrulanmaktadır [37].



Şekil 16. Otomatik ambar kontrol sistemi (Automatic warehouse control system) [40]



Şekil 17. Koridor Robotu blok diyagramı (Aisle Robot Block Diagram) [37]



Şekil 18. TR blok diyagramı (Shuttle Robot Block Diagram) [37]

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmalar incelendiğinde akademik araştırmaların çoğunun ürünlerin depoya yüklenmesi ve depodan çekilmesi esnasındaki optimizasyon çalışmalarına yönelik olduğu gözükmemektedir. Firmaların üretim yapılarına göre değişik tiplerde depo kurulumları bulunmakta ve bu yerleşimlere göre farklı optimizasyon algoritmaları uygulanmaktadır. Örneğin küçük çaplı kutuların depolandığı bir firmada aynı anda birden fazla sipariş isteği toplanabilmekte ve bu esnada gezgin satıcı problemi gibi optimizasyon yöntemleri kullanılabilir. Fakat büyük çaplı ürün paletlerinin olduğu işletmelerde tek çevrim yapılarak sadece bir adet sipariş isteği toplanabilmekte ve bunun toplanması da genellikle analitik optimizasyon teknikleri kullanılarak yapılmaktadır. Ülkemizde, hakkında yeterli sayıda araştırma ve firma tespit edilemeyen ODBS'ler, dünya geneline bakıldığında birçok firmanın depolama sistemlerinde kullanılmakta ve hakkında

detaylı literatür çalışmaları yapılmaktadır. Ülkemizdeki firmaların da bu konuya olan ilgisi gün geçtikçe artmakta ve bu firmalar stoklama ve sipariş hazırlama işlemlerini ODBS'ler ile gerçekleştirerek depo verimliliğini yükseltmeyi planlamaktadırlar. Bu yayının amacı ülkemizdeki ODBS çalışmalarına bir kaynak oluşturmak ve ODBS'ler hakkında yapılmış literatür çalışmalarının hangi konularda gerçekleştiğini sunmaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma DİMES ve Gaziosmanpaşa Üniversitesi işbirliği ile gerçekleştirilen SAN-TEZ projesi ile tamamlanan yüksek lisans tezinden derleme yapılarak oluşturulmuştur. İlgili proje Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve DİMES firması tarafından desteklenmiştir (SAN-TEZ Proje No:00889.STZ.2011-1). Bu çalışma Bakanlığın resmi görüşü değildir.

KAYNAKLAR

- [1] www.ignou.ac.in/upload/Unit4-55.pdf.
- [2] <http://www.daifukuamerica.com/products/3/12/29/Manufacturing-Distribution/Automated-Storage-Retrieval-System-AS-RS/Unit-Load>.
- [3] <http://www.wynright.com/products/by-product-family/picking-solutions/mini-load-as-rs>.
- [4] <http://automhausa.com/automated-storage-and-retrieval-system/models>.
- [5] <http://www.hyster.com/Americas/enUS/Products/ElectricNarrowAisle/OrderPickers.htm>.
- [6] Accorsi, R., Manzini, R., & Maranesi, F. (2014). A decision-support system for the design and management of warehousing systems. *Computers in Industry*, 65(1), 175-186.
- [7] Amato, F., Basile, F., Carbone, C., Chiacchio, P., (2005). An approach to control automated warehouse systems. *Control Engineering Practice*, 13,1223–1241.
- [8] Ashayeri, J., Heuts, R. M., Valkenburg, M.W.T., Veraart, H.C. & Wilhelm M.R., (2002). A geometrical approach to computing expected cycle times for zone based storage layouts in AS/RS, *Int. Journal of Production Research*, 40:17, 4467-4483.
- [9] Atmaca, E., & Öztürk, A. (2014). Literatür Araştırması: Sipariş Toplama Politikaları ve Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (AS/RS). *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2).
- [10] Bargiotas, D., Ktena, A., Manasis C. & Ladoukakis, O., (2009). A Scalable Low-cost Automated Storage & Retrieval System. *16th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP*.
- [11] Berg, J. P., (2002). Analytic expressions for the optimal dwell point in an automated storage/retrieval system. *Int. J. Production Economics*, 76, 13–25.
- [12] Bessenouci, H. N., Sari, Z., & Ghomri, L. (2012). Metaheuristic based control of a flow rack automated storage retrieval system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(4), 1157-1166.
- [13] Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M., & Manzini, R. (2015). Diagonal cross-aisles in unit load warehouses to increase handling performance. *International Journal of Production Economics*.
- [14] Chen, F., Wang, H., Qi, C., & Xie, Y. (2013). An ant colony optimization routing algorithm for two order pickers with congestion consideration. *Computers & Industrial Engineering*, 66(1), 77-85.
- [15] Dotoli, M. & Fanti, M. P.,(2005). A coloured Petri net model for automated storage and retrieval systems serviced by rail-guided vehicles. A control perspective, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18:2-3, 122-136.
- [16] Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., Costantino, N., & Turchiano, B. (2015). An integrated approach for warehouse analysis and optimization: A case study. *Computers in Industry*, 70, 56-69.
- [17] Ekren, B.Y. & Heragu, S.S.,(2011). Simulation based performance analysis of an autonomous vehicle storage and retrieval system. *Journal of Simulation Modeling Practice and Theory*, 19, 1640–1650.
- [18] Fukunari, M. and Malmborg, C.J., (2009). A network queuing approach for evaluation of performance measures in autonomous vehicle storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 193, 152–167.
- [19] Ghomri, L., & Sari, Z. (2015). Mathematical modeling of retrieval travel time for flow-rack automated storage and retrieval systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1906-1911.
- [20] Hachemi, K., Sari, Z., Ghouali, N., (2012). A step-by-step dual cycle sequencing method for unit-load automated storage and retrieval systems. *Computers & Industrial Engineering*, (63), 4, 980-984.
- [21] Hsieh, S. & Tsai, K.-C., (2001). A BOM Oriented Class-Based Storage Assignment in an Automated Storage/Retrieval System. *Int Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17: 683–691.
- [22] Koster, M.B.M., Le-Anh, T. & Yu, Y., 2006. Optimal storage rack design for a 3-dimensional compact AS/RS. *Int. journal of production research*. 1495-1514.
- [23] Közkurt, C. (2012). “Sıvı Gıda Üretim Sektörü İçin Akıllı Depolama Sistemlerinde Kullanılan Kartezyen Robotun Mekatronik Tasarımı” *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- [24] Közkurt, C., Fenercioğlu, A., & Soyaslan, M. (2012). Structural Analysis of Warehouse Rack Construction for Heavy Loads. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6.
- [25] Lin, C. W. R. & Tsao, Y. Z.,(2006). Dynamic availability-oriented control of the automated storage/retrieval system, A computer integrated manufacturing perspective. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 29: 948–961.
- [26] Liu, C. I., Jula, H., Ioannou, P. A., (2002). Design, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminals. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 3: 1, 12-26.
- [27] Lu, W., McFarlane, D., Giannikas, V., & Zhang, Q. (2016). An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations. *European Journal of Operational Research*, 248(1), 107-122.
- [28] Malmborg, C.J.,(2002). Conceptualizing tools for autonomous vehicle storage and retrieval systems. *Int. Journal of Production Research* 40 (8), 1807–1822.

- [29] Ma, Y., Wang, H., Xie, Y., & Guo, M. (2014). Path planning for multiple mobile robots under double-warehouse. *Information Sciences*, 278, 357-379.
- [30] Manzini, R., Gamberi, M., Regattieri, A., (2006). Design and control of an AS/RS. *Int J. Adv. Manuf. Technol.*, 28: 766–774.
- [31] Mowrey, C. H., & Parikh, P. J. (2014). Mixed-width aisle configurations for order picking in distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 232(1), 87-97.
- [32] Pan, J. C. H., Wu, M. H., & Chang, W. L. (2014). A travel time estimation model for a high-level picker-to-part system with class-based storage policies. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 1054-1066.
- [33] Peng, J. (2010). Optimal Allocation in Automatic Storage & Retrieval System Based on Flexsim Simulation. In *2010 International Conference on Internet Technology and Applications* (pp. 1-5).
- [34] Potrc, I., Lerher, T., Kramberger, J. & Sraml, M., (2004). Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems. *Journal of Materials Processing Technology*, 157–158, 236–244.
- [35] Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European journal of operational research*, 194(2), 343-362.
- [36] Son, D. W., Chang, Y. S., & Kim, W. R. (2015). Design of Warehouse Control System for Real Time Management. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1434-1438.
- [37] Soyaslan, M. (2012). “Sıvı Gıda Üretim Sektörü için Robotik Tabanlı Akıllı Depolama Sistemlerinin Otomasyonu” *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- [38] Soyaslan, M., Fenercioğlu, A. & Közkurt, C. (2012) “An Approach of Control System for Automated Storage and Retrieval System (AS/RS).” *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*. No. 69. World Academy of Science, Engineering and Technology.
- [39] Thomas, L. M., & Meller, R. D. (2015). Developing design guidelines for a case-picking warehouse. *International Journal of Production Economics*.
- [40] Xue, Y. & Liu, H., (2011). RFID-Based Intelligent Storage and Retrieval Systems in Automated Warehouse. *Journal of Software*, (6), 9, 1844-1850.
- [41] Xusong, X., Hongbin, X., (2006). AS/RS Real Time Simulation and Control Integrated System Research. *International Conference on Management of Logistics and Supply Chain*, 685-693.
- [42] Yin, Y. L., & Rau, H. (2006). Dynamic selection of sequencing rules for a class-based unit-load automated storage and retrieval system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(11-12), 1259-1266.
- Yu, Y. and Koster, M.B.M., (2009). Designing an optimal turnover-based storage rack for a 3D compact automated storage and retrieval system. *International Journal of Production Research*, 47:6, 1551-1571