



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİNDE ÇEVRİM SÜRESİNİN YAPAY ZEKA TEKNİKLERİYLE OPTİMİZASYONU

Osman ÖZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİNDE ÇEVRİM SÜRESİNİN YAPAY ZEKA TEKNİKLERİYLE OPTİMİZASYONU

Osman ÖZER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2019, 64 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Doç. Dr. Hasan Erdinç KOÇER
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Kaan BAYKAN

Bu tez çalışmasında, tek ve sabit koridorlu, tek vinçli, ikili mekik sistemine sahip ve birim yük taşıyan bir otomatik depolama ve çekme sistemi (AS/RS) modellenmiştir. Modellenen sistemde hücrelerin boyutları 1 m × 1 m × 1 m olarak seçilmiştir. AS/RS makinesi, ikili mekik sistemi sayesinde iki adet toplama ve iki adet geri çekme istemini içeren dörtlü komut çevrimini işleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. AS/RS'lerin işletilmesinde sıklıkla karşılaşılan, depolanacak ürünlere lokasyon atanması problemi sezgisel algoritmalardan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması yardımıyla çözülmüştür. PSO algoritmasının performansını test etmek amacıyla aynı probleme gerçek kodlu genetik algoritma (RGA) ve ikili kodlu genetik algoritma (BGA) uygulanmıştır. İki farklı boyutta problem tanımlanmış olup her bir boyut için on farklı veri seti sağlanarak problemler çeşitlendirilmiştir. Algoritma performanslarının karşılaştırılmasında, ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) gibi istatistiksel metotlar kullanılmıştır. Ayrıca algoritmaların işlemci süreleri de analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Depo, AS/RS, GA, Optimizasyon, PSO, Yer Atama Problemi

ABSTRACT

MS THESIS

CYCLE TIME OPTIMIZATION OF AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEMS BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Osman ÖZER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2019, 64 Pages

Jury
Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Assoc. Prof. Hasan Erdinç KOÇER
Asst. Prof. Ömer Kaan BAYKAN

In this thesis, single and fixed aisle, single crane, double shuttle system and unit load automatic storage and retrieval system (AS/RS) are modelled. In the modelled system, the dimensions of the cells were chosen as 1 m × 1 m × 1 m. The AS/RS machine is designed to handle a quadruple command cycle including two storage and two retrieval requests thanks to the dual shuttle system. From the frequently encountered planning problems in the operation of AS/RSs, the location assignment to the products to be stored was addressed and was came up with a solution by the particle swarm optimization (PSO) which is one of the heuristic algorithms. In order to verify the accuracy of the application of PSO algorithm, the same problems were solved by real coded genetic algorithm (RGA) and binary coded genetic algorithm (BGA). Two different sizes of problems have been identified and the issues have been diversified by providing ten different data sets for each dimension. Statistical methods such as mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE) and root mean square error (RMSE) were used to compare algorithm performances. Also, the CPU times of the algorithms were analyzed.

Keywords: AS/RS, GA, Location Assignment, Optimisation, PSO, Smart Warehouse,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle desteğini esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ'a ve manevi desteklerinden ötürü aileme teşekkür ederim.

Osman ÖZER
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ŞEKİLLER TABLOSU ..... **ix**

ÇİZELGELER TABLOSU ..... **x**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3. LOJİSTİK KAVRAMI VE FAALİYETLER **10**

3.1. Lojistik Tanımı 10
3.2. Temel Lojistik Faaliyetler 11
3.3. Lojistik Maliyetler 11
3.4. Lojistik Sektörünün Gelişimi 12
3.5. Depo İş Süreçleri 13
3.5.1. Mal kabul 13
3.5.2. Fiziksel depolama 14
3.5.3. Siparişlerin toplanması 15
3.5.4. Paketleme ve ürün birleştirme 16
3.5.5. Yükleme ve sevkiyat 16

4. YÖNETİLEBİLİR RAF SİSTEMLERİ **17**

4.1. Sırt Sırta Raf Sistemleri 17
4.2. Dar Koridorlu Raf Sistemleri 18
4.3. İçine Girilebilir ve İçinden Geçilebilir Raf Sistemleri 19
4.4. Hareketli (Dinamik) Raf Sistemleri 19
4.5. Otomatik Depolama Sistemleri 20
4.5.1. Koridor çeşitlerine göre AS/RS 22
4.5.2. Yük tipine göre AS/RS 23
4.5.3. Vinç sayısına göre AS/RS 23
4.5.4. Mekik sayısına göre AS/RS 24
4.6. Raf Sistemlerinin Karşılaştırılması 25

5. MATERYAL VE YÖNTEM **27**

5.1. Problemin Tanımlanması 27

5.2. Algoritmalar 28
5.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu 29
5.2.2. Genetik algoritma 30
5.3. Yazılım 32
5.4. Performans Kriterleri 32

6. OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMİNDE ÇEVRİM SÜRESİNİN OPTİMİZASYONU 35

6.1. PSO Algoritmasının Yer Atama Problemine Uygulanması 36
6.2. Genetik Algoritmanın Yer Atama Problemine Uygulanması 36
6.3. Benzetim Sonuçları 40
6.3.1. Küçük ölçekli yer atama probleminin sonuçları 40
6.3.2. Büyük ölçekli yer atama probleminin sonuçları 44

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 52

7.1. Sonuçlar 52
7.2. Öneriler 53

KAYNAKLAR 54

EKLER 58

ÖZGEÇMİŞ 64

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 4.1. Sırt sırta raf sistemi (ÜçgeDRS, 2018) 18
Şekil 4.2. Dar koridorlu raf sistemi (AtaRaf, 2018) 18
Şekil 4.3. İçine girilebilir-içinden geçilebilir raf sistemi (Temesist, 2017) 19
Şekil 4.4. Hareketli raf sistemi (ÜçgeDRS, 2009) 20
Şekil 4.5. Otomatik depolama sistemlerine bir örnek (RITM, 2015) 21
Şekil 4.6. Koridorlar arası geçiş yapan AS/RS vinci (Taylor'd, 2008) 22
Şekil 4.7. Küçük yükler taşıyan AS/RS örneği (Ferrotto, 2017) 23
Şekil 4.8. İkili vinç sistemine sahip AS/RS örneği (Daifuku, 2010) 24
Şekil 4.9. İkili mekik sistemine sahip AS/RS örneği (Mecalux, 2019) 25
Şekil 5.1. Birim yük taşıyan, tek vinçli, ikili mekik sistemine sahip, sabit koridorlu AS/RS görünümü 27
Şekil 5.2. Dörtlü komut çevrimi 28
Şekil 6.1. PSO algoritmasının uygulama adımları 37
Şekil 6.2. Genetik algoritmanın uygulama adımları 39
Şekil 6.3. Küçük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre ortalama mutlak hataları (MAE) 42
Şekil 6.4. Küçük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre kök ortalama kare hataları 42
Şekil 6.5. Küçük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre işlemci süreleri 43
Şekil 6.6. Küçük ölçekli problemde algoritmaların yakınsaması 43
Şekil 6.7. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre ortalama mutlak hataları 46
Şekil 6.8. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre kök ortalama kare hataları 46
Şekil 6.9. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre işlemci süreleri (Çaprazlama oranı P_c=0.25) 47
Şekil 6.10. Büyük ölçekli problemde algoritmaların yakınsaması (Çaprazlama oranı P_c=0.25) 48
Şekil 6.11. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre ortalama mutlak hataları 50
Şekil 6.12. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre kök ortalama kare hataları 50
Şekil 6.13. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre işlemci süreleri (Çaprazlama oranı P_c=0.8) 51
Şekil 6.14. Büyük ölçekli problemde algoritmaların yakınsaması (Çaprazlama oranı P_c=0.8) 51

ÇİZELGELER TABLOSU

Çizelge 4.1. Raf sistemlerinin karşılaştırılması (Hopbaoğlu, 2009) 26
Çizelge 6.1. Küçük ölçekli sistem benzetim sonuçlarının hata kriterlerine göre kıyaslanması 41
Çizelge 6.2. Küçük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının işlemci sürelerine göre kıyaslanması 41
Çizelge 6.3. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının hata kriterlerine göre kıyaslanması (Çaprazlama oranı P_c=0.25) 45
Çizelge 6.4. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının işlemci sürelerine göre kıyaslanması (Çaprazlama oranı P_c=0.25) 45
Çizelge 6.5. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının hata kriterlerine göre kıyaslanması (Çaprazlama oranı P_c=0.8) 49
Çizelge 6.6. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının işlemci sürelerine göre kıyaslanması (Çaprazlama oranı P_c=0.8) 49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

c_1 ve c_2	: Öğrenme katsayıları
m	: Metre
P_c	: Çaprazlama oranı
P_m	: Mutasyon oranı
s	: Saniye

Kısaltmalar

ACO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
AS/RS	: Automated Storage/Retrieval Systems (Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri)
BGA	: İkili Kodlu Genetik Algoritma
CO_2	: Karbondioksit
CSCMP	: Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi
FIFO	: İlk Giren İlk Çıkar
FEFO	: İlk Süresi Dolan İlk Çıkar
GA	: Genetik Algoritma
GUI	: Grafik Kullanıcı Arayüzü
LIFO	: Son Giren İlk Çıkar
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MMAS	: Maksimum-Minimum Karınca Sistemi
NSGA II	: Bastırılmamış Sınıflandırmalı Genetik Algoritma II
PSBCSP	: Pozitif Seçim Temelli Klonal Seçim İlkesi
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
RGA	: Gerçek Kodlu Genetik Algoritma
RMSE	: Kök Ortalama Kare Hata

1. GİRİŞ

Ticaretin sınırlarının ortadan kalkmasıyla beraber lojistik terimi son yıllarda birçok kişi tarafından telaffuz edilmeye başlanmıştır. Önceleri sadece nakliye olarak algılanan bu süreç aslında birçok faaliyeti de kapsamaktadır. Bu kavramın önemini ve karmaşıklığını anlamak için bu faaliyetleri ve neleri içerdiklerini de bilmek gerekir. Talep edilen ürünün doğru zamanda ve doğru yere ulaştırılması şeklinde kısaca tanımlayabileceğimiz bu olgunun, yerine getirilmesinde arka planda olan ama fazla görünmeyen bir konu da ürünlerin depolanma ve istiflenme şeklidir.

Kökenleri milattan öncesine kadar uzanan depolama işlemleri, günümüzde tedarik zinciri yönetimi kavramı içinde klasik tanımının genişlemesi ve karmaşıklaşması ile şirketler tarafından yönetilmesi gerekli bir süreç haline gelmiştir. Özellikle tüketicilerin bilinçlenmesi ile eş zamanlı olarak bilgi teknolojilerinin gelişimi, iletişimin web ortamı üzerinden sağlanması tüm iş yapış süreçlerini etkileyerek değişmesine neden olmuştur.

Teknolojinin gelişmesi, ürün çeşitliliği, müşteri taleplerinin değişkenliği, üretim hatlarının devamlı ve sürekli bir gelişim içinde olması, işletme süreçlerinde önemli yer tutan lojistik faaliyetlerini kritik bir noktaya taşımıştır. Lojistik süreçlerinin bu denli önem kazanması ise sektörde yer alan teknolojik sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılması gerekliliğine sebep olmuştur. Rekabet koşullarının devamlı olarak değişiklik ve artış göstermesi düşünüldüğünde depo faaliyetleri, tedarik zincirlerinin performansını önemli ölçüde etkileyen tamamlayıcı parçalardır. Bir lojistik işletmesinin başarılı ya da başarısız oluşu, müşteri memnuniyet düzeyi ve stok yönetimi gibi değerler üzerinden nitelendirilirken depo faaliyetleri bu değerleri doğrudan etkilemektedir. Diğer bir yandan, depo yönetimi faaliyetleri maliyet kalemlerini doğrudan etkilediğinden bu yönetimin çok dikkatli bir şekilde, titizlikle yürütülmesi fazlaca önem arz etmektedir. Rekabet koşullarının oldukça çetin olduğu lojistik sektöründe depoların performansını artırmak zorunluluk haline gelmiştir. Performans artışı sağlayacak temel noktalar ise depoların dizaynı ve işlevselliğidir. Dünya genelinde işçilik maliyetlerinin ve çalışma ücretlerinin artması sonucunda, performans artışı sağlamak için işgücündeki kapasiteyi yükseltme seçeneğinin çok da karlı bir yöntem olmadığı kabul görmektedir. Bu şartlar altında, depolama faaliyetlerinin daha etkili bir şekilde gerçekleşmesi için yapılacak optimizasyon çalışmaları ancak depo yönetim politikalarının modernize edilmesi ile başarıya ulaşacaktır. Optimizasyon çalışmalarının bu denli önem kazanmasının ardındaki

en temel sebep ise bütün sektörlerde olduğu gibi maliyet kalemlerini istenilen seviyeye çekmektir.

Teknolojik gelişmelerin hızlı olması nedeniyle ilgili sektörlerin bu hıza ayak uydurması, ancak sistemlerini ve yöntemlerini devamlı olarak güncellemeleri halinde mümkün olmaktadır. Lojistik sektöründe depolama faaliyetleri ile ilgili sistemlerin insansız olarak çalışır hale getirilmesi, teknolojik gelişmeler göz önüne alındığında, oldukça normal olarak karşılanmaktadır. Depolama süreçlerinin farklı bileşenleri için insansız hale getirmek adına uygulamalar geliştirilmeye başlanmıştır. Ürün paketleme, depolama, transfer aracına yükleme/boşaltma ve stok kontrolü gibi bileşenlerden oluşan bu süreçte insansız sistemler görevlerini başarıyla yerine getirmektedirler.

Aldıkları siparişlerin mümkün olan en kısa sürede temin edilmesi ve müşteriye ulaştırılması gibi temel hedefleri olan lojistik işletmeleri, her geçen gün artan ürün çeşitliliğiyle başa çıkabilmek adına, sonuç odaklı ve verimli lojistik operasyonları gerçekleştirmek zorunda kalmışlardır. Lojistik zincirindeki adımların etkili olarak işletilebilmesi, depo içi süreçlerin performansına doğrudan bağlıdır. Bu zincirin adımları sırası ile; ürün kabul, raflama, sipariş toplama, paketleme ve sevkiyat şeklindedir. Birbirlerini izleyen adımlar şeklinde işleyişe sahip süreçler arasındaki etkileşimin bir hayli fazla olduğu görülmektedir. Etkileşim sonucunda her bir bileşenin performansı toplam sistem performansını oluşturmaktadır. Bu sebeple sistem bir bütün olarak düşünülmeli, optimizasyon yöntemlerinin uygulanması tüm sistem performansını artırıcı yönde olmalıdır.

Lojistik sektöründe önemli bir maliyet öğesi olan depo, yönetim bakımından profesyonel olarak ele alınmalıdır. Depo yönetiminin profesyonel olarak yapılabilmesi için tasarım aşamasının ciddi bir şekilde ele alınması, planlandığı ölçüde inşa edilmesi ve gerekli ekipmanlarla donatılması gerekmektedir. Depo tasarımı, sayılan bu nedenlerden üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmiştir.

Kalkınma Bakanlığı tarafından yayınlanan Onuncu Kalkınma Planı (2014 – 2018), verilerine göre Türkiye, Lojistik Performans Endeksine göre 155 ülke arasında 2007 yılında 30. sırada, 2010 yılında 39. sırada ve 2012 yılı itibarıyla 27. sırada konumlanmıştır. Ayrıca, Taşımacılıktan Lojistiğe Dönüşüm Programı kapsamında, imalat sanayii yatırımları için potansiyelin artırılmasının ancak lojistik imkanların artırılmasıyla ve lojistik maliyetlerin dünya ile rekabet edebilecek seviyeye gelmesiyle mümkün olabileceği vurgulanmıştır. Bu programın dönemsel olarak en büyük amacı 2018 yılı itibarıyla Lojistik Performans Endeksinde ilk 15 ülke arasına girmektir. Bu

amaca ulaşmak doğrultusunda belirlenen hedefler ise; sanayi ürünlerinin toplam maliyeti içindeki lojistik maliyetin yükünün azaltılması, nihai ürünlerin tüketim pazarlarına ulaşım süresinin kısaltılması ve lojistik Ar-Ge çalışması yürüten firma sayısı ile yapılan yıllık yenilik sayısının artırılması olarak verilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda, yapılması planlanan çalışmanın ülke vizyonuna uygunluğu görülmektedir.

TÜSİAD'ın 2017 yılında yayınladığı e-ticaret raporlarına göre; 2016 yılında Türkiye'deki internet kullanıcı sayısı %58 ile 46 milyon, 2013 – 2016 yılları arasındaki e-ticaret hacmi ise %34 artış göstererek 17,5 milyar TL'ye ulaşmıştır. İnternet kullanımındaki artış hızına rağmen, e-ticaretin toplam perakende sektöründeki payı %3,5 iken Dünya ortalaması %8,5'dir. Akıllı telefon kullanımı ise 2016 yılında %65'e ulaşarak, %60 olan Dünya ortalamasının üzerine çıkmıştır. Teknolojiye olan bu merakımızın e-ticaret sektöründe ciddi bir potansiyel oluşturduğundan bahsedilmektedir (Kantarcı ve ark., 2017). E-ticaret sektöründeki bu potansiyel de lojistik sistemlerin isteklere daha hızlı cevap vermesi gerekeceği, sistem cevap süresinin en önemli performans ölçütlerinden birisi olacağına işaret etmektedir.

Bütün bu bilgiler dikkate alınacak olursa, lojistik sektöründe otomasyon sistemlerinin entegrasyonu kaçınılmaz hale gelmiştir. Otomasyon sistemlerinde rota hesaplama problemleri geçmişten günümüze karşılaşılan bir problemdir. Problem boyutunun büyümesi analitik yöntemlerin kullanılamaz hale gelmesine neden olmuştur. Bu duruma örnek olarak CPLEX yazılımı ile rota hesaplama problemi çözülmüş fakat, hücre sayısının 1000 olduğu örneklerde analitik yöntem ile çözümün oldukça uzun sürdüğü belirtilmiştir (Yang ve ark., 2015). Bu tez çalışmasında, tek ve sabit koridorlu, tek vinçli, ikili mekik sistemine sahip ve birim yük taşıyan bir otomatik depolama ve çekme sistemi (AS/RS) modellenmiştir. AS/RS makinesinde, ikili mekik sistemi mevcuttur. İki adet toplama ve iki adet geri çekme istemini içeren dörtlü komut çevrimini işleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. AS/RS operasyonlarında karşılaşılan, depo edilecek ürünlerin yerlerinin belirlenmesi problemi parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması yardımıyla çözülmüştür. PSO algoritmasının performansını test etmek amacıyla aynı probleme gerçek kodlu genetik algoritma (RGA) ve ikili kodlu genetik algoritma (BGA) uygulanmıştır. İki farklı boyutta problem tanımlanmış olup her bir boyut için on farklı veri seti sağlanarak problemler çeşitlendirilmiştir. Algoritma performanslarının karşılaştırılmasında, ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) gibi istatistiksel metotlar kullanılmıştır. Ayrıca algoritmaların işlemci süreleri de analiz edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Üretim ve dağıtım süreçlerinde sıklıkla kullanılan AS/RS makineleri hakkında son 30 yılda yapılan çalışmalar derlenmiştir. Bu araştırmada, sistemlerin; konfigürasyonu, seyahat süresi tahmini, lokasyon ataması ve sipariş sıralanması gibi kriterlere göre çeşitlilik gösterdiği belirtilmiştir. En çok karşılaşılan problemin ise sipariş planlama ve depoların dizaynı olduğu açıklanmıştır. Bu alanda yapılacak çalışmaların da daha dinamik modeller kullanılarak hesaplama sürelerini kısaltması gerektiği vurgulanmıştır (Roodbergen ve Vis, 2009).

Yapılan bir diğer çalışmada, genelleştirilmiş gezgin satıcı problemi için özgün bir ayrık PSO metodu sunulmuştur. Genelleştirilmiş tepe noktası, problemi tasvir etmek için kullanılmış olup, belirsiz arama stratejisi ve lokal arama teknikleri ise yakınsama hızını artırmak için faydalı olmuştur. Sayısal örnekler önerilen PSO metodunun geçerliliğini kanıtlamıştır (Zhi ve ark., 2004).

Çift tarafı raflı, birim yük taşıyan AS/RS makineleri için yüklerin yerinin değiştirilmesinin kritik zaman yönetimi açısından fayda sağladığı belirtilmiştir. Ürünlerin talep faktörünün bilindiği durumlarda, yüklerin yerinin değiştirilerek ürünlere daha hızlı ulaşılmasını sağlayan bir öneri sunulmuştur. Karıştırma algoritmasının matematiksel modeli verilmiştir. Farklı boyutlardaki raflar için sayısal örnekler ile önerilen sistemin verimliliği kanıtlanmıştır (Hu ve ark., 2010).

Birim yük taşıyan, giriş-çıkış istasyonu tek olan, tekli ve ikili komut çevrimi işleyebilen ve çoklu koridor yapısında çalışan AS/RS makineleri için analitik seyahat zamanı modellemesi sunulmuştur. Diğer çalışmalarda sabit kabul edilen eksen hareketleri sabit olarak kabul edilmemiştir. Gerçek dünyada eksen hareketi nasılsa, hızlanma, yavaşlama ve sabit hızda ilerleme gibi karakteristikler incelenmiş, çevrim sürelerinin hesaplanmasında bu değişimler dikkate alınmıştır. 3 farklı boyuttaki AS/RS için simülasyon sonuçları ile önerilen model kullanılarak hesaplanan seyahat süreleri karşılaştırılmıştır (Lerher ve ark., 2010).

İkili mekik sistemine sahip, birim yük taşıyan, koridor tipindeki AS/RS makineleri baz alınarak robotun seyahat süresini hesap eden bir algoritma geliştirilmiştir. Monte Carlo simülasyonu ile 500'den fazla sayısal örnekten veri toplanmış ve önerilen modelin hesaplamaları ile kıyaslanmıştır. Daha önce yapılan çevrim süresi hesaplama çalışmalarının motor kalkışları ve duruşlarındaki dinamik karakteristikleri dikkate almadığı ve bu nedenle tahminlerinin yetersiz olduğu belirtilmiştir. Önerilen sistemin

verdiği çözüm, Meller ve Mungwattana modeli sonuçları ve De Puy modeli sonuçları ile kıyaslanarak üstünlüğü sayısal değerlerle ispatlanmıştır (Azzi ve ark., 2011).

Diğer bir çalışmada, AS/RS makineleri için komut çevrim sıralaması farklı bir açıdan ele alınmıştır. Şimdiye kadar incelenen çalışmalarda herhangi bir ürünün yeri kesin olarak bilinmekte ve bir adet lokasyonda bulunurken, bu çalışmada aynı ürünün birden fazla lokasyonda bulunması durumunda komut çevrimlerinin nasıl sıralanması gerektiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada, tek koridorlu, tek mekiğe ve tek noktada giriş-çıkış istasyonuna sahip, birim yük taşıyan ve ikili komut çevrim prensibiyle çalışan AS/RS makineleri için önerme sunulmuştur. Ürün çekme istekleri için dalga sıralama yaklaşımı, lokasyon ataması için ise matematiksel modelleme yapılarak hedef fonksiyonun optimum çözümü CPLEX yazılımı yardımıyla elde edilmiştir (Hachemi ve ark., 2012).

Yüksek hacimli ve geniş kapasiteli depolarda beklentileri karşılamak amacıyla kullanılan AS/RS'lerin performansını etkileyen temel faktörlerden çevrim süresini, en düşük seviyede tutmak amacıyla sipariş sıralama politikası belirleme çalışması yapılmıştır. Tek koridorlu, birim yük taşıyan, 3'lü mekik sistemi sayesinde altılı komut çevrimi prensibiyle çalışabilen ve tek noktadan giriş-çıkış birimine sahip AS/RS için meta sezgisel yaklaşımlarla sipariş sıralaması yapılarak komut çevrim süresi kısaltılmaya çalışılmıştır. Bu yaklaşımlar; en yakın komşuluk yaklaşımı, tersine en yakın komşuluk yaklaşımı, en kısa bacak yaklaşımı ve genetik algoritmadır (GA). Farklı sayıda çevrim komutları açısından uygulamalar çeşitlendirilmiştir. Metotların uygulandığı sayısal örneklerde GA'nın diğer yaklaşımlara göre optimum sonuçlar verdiği gözlemlenerek, çoklu mekik sistemine sahip AS/RS makineleri için GA ile sipariş sıralama yöntemi önerilmiştir (Popović ve ark., 2012).

Mevcut kullanımda olan, çift giriş-çıkış istasyonuna sahip AS/RS makinelerinin sipariş toplama politikası yetersiz bulunmuş, ürünlerin kullanım önceliğine ya da kullanım sıklığına göre depolanmadığı düşünülerek matematiksel model oluşturulmuştur. Küçük ölçekli problemler açısından modelin optimum sonuçlar verdiği gözlenmiş, boyutun artışı ile beraber matematiksel model çözümsüz hale gelmiştir. Bu noktada Tavlama Benzetimi Tekniği kullanılarak NP zor türünden problem optimum çözüme kavuşturulmuştur (Atmaca ve Ozturk, 2013).

Tek koridorlu ve çift vinçli AS/RS makineleri için sipariş planlama metodu önerilmiştir ve sistemlerin genellikle bir koridor üzerinde bir makine ile çalıştığı, eğer aynı koridorda birden fazla makine çalıştırılabilirse verimliliğin oldukça artacağı

bildirilmiştir. Bunun yanında tek koridorda aynı anda çalışan birden fazla makinenin olması durumunda sipariş planlama/sıralama işleminin oldukça zor olduğu, makinelerin çarpışma riskinin bulunduğu da vurgulanmıştır. Sipariş istekleri kümelenerek aynı anda koridor robotlarının çalışması sağlanmıştır. Optimum çözümü bulmak adına dinamik programlama metodu kullanılarak tek koridorda iki robotlu sistem için %95 verimlilik sağlanabileceği belirtilmiştir (Kung ve ark., 2013).

Kübik depolama hacminde, koridor olmayan AS/RS sistemi için depolanan ürünlerin lokasyon atama problemi ele alınmıştır. Sistemde koridor olmadığından ürünlere direkt erişim bulunmamaktadır. Yalnızca en ön sıradaki ürünlere direk erişilebilmektedir. Bu tip depolama sistemlerinde en önemli optimizasyon parametresi alan atama olarak karşımıza çıkmaktadır. 20 farklı tür içeren ürünlerin kübik bir hacme depolandığı varsayılarak, ürünlerin talep faktörlerine ve boyutlarına göre en kısa sürede temin edilebilecek şekilde depolanması ACO algoritmasıyla sağlanmıştır. Sistem dinamik olarak çalışmakta ve depoya yeni bir türde ürün girdiğinde mevcut depolama düzenini değiştirerek ürünlerin daha hızlı erişime sunulmasını sağlamaktadır (Brezovnik ve ark., 2015).

Bir diğer çalışmada, çok koridorlu AS/RS'lerde çevrim süresinin minimizasyonu için sistemin boyutları optimize edilmiştir. Yatay seyahat süresi, dikey seyahat süresi ve koridorlar arası seyahat süresi komut çevrim süresini oluşturduğundan depo sisteminin yatay, dikey ve koridorlar arası boyutları optimize edilmek istenen parametrelerdir. Amaç fonksiyonları modellenmiş ve analitik yöntemler ile optimize edilmiştir. Değişken dönüşümü ile parametre sayısı 2'ye indirilerek Monge Teoremi yardımıyla optimal boyutlara karar verilmiştir (Kouloughli ve Sari, 2015).

AS/RS makinelerinde tanımlanan depo alanı ataması ve depolama/çekme istek listesinin sıralanması problemleri müşterek olarak ele alınmış ve optimize edilmiştir. Çekilen ürünün boşalttığı alanın yeniden kullanılabilir alanlara eklenmesi bu çalışmanın özgün noktalarından bir tanesidir. İncelenen AS/RS makinesi; tek koridorlu, birim yük taşıyan, çoklu mekik sistemine ve tek noktadan giriş-çıkış istasyonuna sahip olarak kabul edilmiştir. Tanımlanan problem IBM CPLEX yazılımıyla optimum çözüme kavuşturulmuş ve daha sonra değişken komşuluk arama (Variable Neighborhood Search) yaklaşımı uygulanarak yeni optimum çözümlere ulaşılmıştır. Küçük ve büyük boyutlu örnek problemler için sayısal denemeler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Küçük ölçekli örneklerde yakın optimum çözümü bulan yöntemler, depolama alan sayısı arttıkça

CPLEX yazılımı yine yakın optimum çözümü sunabilse de hesaplama süresinin kabul edilemez boyutlara ulaştığı bildirilmiştir (Yang ve ark., 2015).

Tek koridorlu ve tek vinçli AS/RS makinelerinde yapılan literatür çalışmaları derlenmiş ve AS/RS'ler karakteristiklerine göre sınıflandırılarak her bir sınıf için en uygun planlama algoritması önerilmiştir. AS/RS makinesinin depolama/çekme istek listesinin planlaması ve çevrim sürelerinin en kısa sürede tamamlanması problemi açısından sistemler sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma parametreleri ise; sistemin giriş/çıkış istasyonunun adedi ve konumu, vinç üzerinde bulunan mekik sayısı, talep tipi, talebin geçerlilik süresi, depolama politikaları ve hedef politikalar olarak verilmiştir (Boysen ve Stephan, 2016).

Son zamanlarda tedarik zincirinin karlılık oranını kritik düzeyde belirleyen depo faaliyetlerinde zaman kavramının önemi vurgulanmıştır. Sipariş toplama işleminin zaman kaybında en büyük etken olduğu belirtilmiştir. Çalışmada önerilen rota planlama algoritması sisteme dinamik olarak müdahale etmekte ve sipariş toplama rotalarını optimize etmektedir. Konvansiyonel sipariş toplamadan farkı, toplayıcı çevrime başlasa bile, çevrimin bitmesini beklemeden listeyi yeniden düzenleyebilir ve toplama rotasını optimize edebilmektedir. Önerilen algoritma endüstriyel bir örnek üzerinde modellenmiş, sonuçları en büyük boşluk yaklaşımı ile kıyaslanarak ortalama sipariş toplama süresinin kısaltıldığı açıklanmıştır (Lu ve ark., 2016).

Tek koridorlu, tek yönü raflı, birim yük taşıyan ve çift mekik sistemine sahip bir AS/RS makinesi için çevrim komutlarını sıralayacak bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmanın temel amacı sisteme girilen listeler için öncelik katsayısı yüksek olan siparişleri, geçerlilik süresi dolmadan tamamlamak ve çevrim komutlarının sürelerini kısaltmaktır. Çoklu mekik sistemine sahip sistemler için pek fazla çalışma yapılmadığı belirtilmiş, bu alanda çalışmanın uygun olabileceği vurgulanmıştır. AS/RS'lerde sıklıkla karşılaşılan depo alanı atama ve çevrim komutlarının sıralanması problemleri ele alınmıştır. Ayrıştırma yaklaşımıyla iki problem birbirinden farklı olarak çözüme ulaştırılmaya çalışılmıştır. Matematiksel yöntemler ile lokasyon ataması yapılırken, komut çevrimlerinin sıralanması için dal ve sınır algoritması uygun görülmüştür (Wauters ve ark., 2016).

Sağlık sektöründe de lojistik uygulamaların sıklıkla kullanıldığı belirtilen bu çalışmada, hastane eczanelerine sayıca fazla ilaç ve reçete ulaştığından taleplere kısa sürede yanıt vermenin önemine vurgu yapılmıştır. İhtiyaçlara zamanında cevap verebilmek adına rota optimizasyon algoritması sunulmuştur. Karışık tamsayı

programlama modeli yardımıyla problem modellenmiştir. Bu model kolaylıkla lineer modele de dönüştürülebilmektedir. Optimal çözümü bulmak için ise GA ve özel yaklaşım birlikte sunularak hibrit GA uygulanmıştır. Çözüm kümesi kalitesi ve hesaplama süresi bakımından GA ve gezgin satıcı problemine özgü yaklaşıma göre oldukça üstün olduğu ispatlanmıştır (Beroule ve ark., 2017).

İki tarafı raflı, tek koridorlu, birim yük taşıyan, ikili komut çevrimi (dual command cycle) prensibiyle çalışan ve giriş-çıkış noktası tek olan AS/RS makinelerinde, değişken sipariş adetlerine sahip 20 farklı talep listesine göre sipariş sıralaması yapılmıştır. Yapılan bu 20 sayısal örnek için, optimum sıralamayı bulmak amacıyla sipariş listesi, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) ve GA yöntemleriyle sıralanmıştır. Optimum çözüm sayesinde AS/RS makinesinin komut çevrim süreleri minimize edilmek istenmiştir. Bu minimizasyon işlemi sonucunda AS/RS makinesinin en yüksek verimle çalıştırılabileceği açıklanmıştır. Her bir örnek sipariş listesi için toplam seyahat süresi ve ortalama seyahat süreleri, sipariş başına düşen maliyet ve sera gazı etkileri gibi parametreler karşılaştırılıp, algoritmaların çeşitli şartlarda birbirine kurduğu üstünlükler sunulmuştur (Nia ve ark., 2017).

Çok koridorlu ve her koridorda bir AS/RS makinesi bulunan, birim yük taşıyan ve tek mekikli sistemler üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Literatürde yapılan tarama sonucunda AS/RS makineleri için optimizasyonun genellikle tek bir kriter üzerinden yapılması, bu çalışmanın çok amaçlı optimizasyon üzerine olmasını sağlamıştır. Tasarlanan modelde maliyet, makinelerin seyahat süresi ve CO_2 salınımı açısından optimum çözüm Bastırılmamış Sınıflandırmalı Genetik Algoritma II (NSGA II) ile sunulmuştur (Rajkovic ve ark., 2017).

Konvansiyonel depolarda toplayıcının kat ettiği toplam mesafeyi minimize etmek amacıyla yeni bir meta sezgisel yönlendirme algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma, ACO yaklaşımı üzerine inşa edilmiş olup, Floyd-Warshall (FW) algoritması ile entegre edilmiştir. FW – ACO algoritmasının performansını değerlendirmek için iki analiz gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, algoritmanın toplama problemine etkin çözümler sağlama yeteneği, ACO parametrelerinin ayarlarının bir fonksiyonu olarak analiz edilmiştir. Daha sonra FW- ACO algoritmasının performansı, literatürde bulunan en büyük boşluk stratejisi, S şekilli strateji, Maksimum – Minimum Karınca Sistemi (MMAS) algoritması ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, FW – ACO algoritmasının sezgisel ve meta sezgisel metotlardan daha iyi sonuç verdiği, diğer bir yandan hesaplama süresinin oldukça

kısa olduğu ve gerçek zamanlı sistemlere cevap verebileceği belirtilmiştir (De Santis ve ark., 2018).

AS/RS'lerin çalışması sonucu oluşan sera gazı etkisini minimize etmek adına yapılan bu çalışmada, vergi maliyeti, ceza maliyeti ve AS/RS'nin sera gazı emisyonu gibi değişkenler temel alınarak matematiksel bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin optimum çözümünü bulmak için pozitif seçim temelli klonal seçim ilkesi (PSBCSP) olarak adlandırılan iki katmanlı bir algoritma kullanılmıştır. Birinci aşamada, pozitif seçim ilkesi, bir eşik değeri sabitleyerek en uygun çözümün arama uzayını daraltmak için kullanılmaktadır. Daha sonraki aşamada ise en iyi çözümleri üretmek için klonal seçim prensibi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki GA ve ACO algoritmalarıyla kıyaslanmıştır. Önerilen algoritmanın diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Mahalakshmi ve Murugesan, 2018).

3. LOJİSTİK KAVRAMI VE FAALİYETLER

3.1. Lojistik Tanımı

Lojistik kelimesi militer kökenden türemiştir. Literatürde yapılan bazı tanımlar şöyledir:

Mantık, bilim ve akıl yardımıyla, iş planı yapılmasını ve planın takip edilmesi sürecine lojistik diyebiliriz (Öztürk, 2011).

En çok kabul gören görüşe göre lojistik, Latince "*logistikos*" kökünden evrilmiş hesap kitap yapma bilimi, hesapta becerikli manasına gelmekte olan ifadedir. Lojistik tarih öncesi çağlarda insanoğlunun hayatta kalma mücadelesi ile birlikte ortaya çıkmış ve zaman içinde firmaların sürdürülebilirlik alanında etkisini gösteren, yarış içine sokan önemli noktalardan birisi haline gelmiştir. Webster ve Britannica sözlüklerine göre lojistik; personel, teçhizat, madde ve malzemenin tedariki, depolanması, bakımı ve iletilmesi ile ilgili uygulamaları yürüten askeri bilimdir ve bir eylem ile ilgili tüm detayların üzerinde çalışılmasıdır (Öztürk, 2011).

Lojistik yönetimi, fiziksel tevzi yönetiminden oluşmuş bir ifadedir. Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi (CSCMP), lojistik yönetimi ifadesini şu şekilde tanımlamıştır: Müşteri gereksinimlerini en iyi şekilde karşılamak amacıyla, son kullanıcı ve üretim noktaları arasındaki hizmet, mal ve bilgilerin hem ileri hem de geri yöndeki iletimleri ile birlikte, depolama işlemlerinin verimli ve etkin bir biçimde tasarlanması, gerçeklenmesi ve denetimini içeren tedarik zinciri prosesi evresidir.

Yapılan tanımlamalara göre lojistik, tedarikçi-hizmet alıcısı arasındaki hizmet, mal ve bilgi iletişimini kapsayan bütün eylemlerdir. Üretici ile tedarikçi arasında olan lojistiğe gelen lojistik (inbound logistics), müşteri ile üretici arasında olan lojistiğe giden lojistik (outbound logistics) denilmektedir (Tanyaş, 2007).

Lojistik yönetimi sistemleri, sektöre göre farklı karakteristikler göstermektedir. Ürünlere ait bazı ayırt edici özellikler ebat, hassasiyet, imalat süreçleri ve maddi değerleri olarak sıralanabilir. Türkiye'deki firmaların çoğu kendi lojistik ağlarını oluşturmuştur ve depolama/dağıtım kısmında yoğunlaşmışlardır (Yıldıztekin, 2004).

3.2. Temel Lojistik Faaliyetler

Talep planlaması ve takibi, sipariş işleme, nakliye, tevzi merkezi yönetimi, paketleme, ambalajlama, depolama ve antrepo işlemleri, gümrükleme, müşteri ilişkileri, sigortalama ve stok yönetimi gibi süreçler temel lojistik faaliyetler arasında yer alır. Yeni bilgi ve iletişim sistemleri temelinde, dağıtım sistemleri, tedarik yerine talebe göre yönlendirilmekte ve envanter, nakliye, bilgi sistemleri gibi belirli lojistik fonksiyonları üzerindeki önem artmaktadır.

Çok yönlü lojistik faaliyetleri işletmeler açısından etkinlik ve verimlilik düzeyi üzerinde doğrudan belirleyici olabilmektedir. İşletmeler ana faaliyet alanlarına daha fazla zaman ayırma ve odaklanma, ilgili tedarikçinin verimliliğinden ve yatırım gücünden faydalanma, pazara ve dolayısıyla müşteriye erişim süresini kısaltma, en önemlisi de işini bilen bir uzmanla çalışıp maliyetlerini azaltmaktadır. Lojistik aktiviteler, karakteristiği gereği dış kaynaklardan faydalanmaya müsaade etmektedir (Ofluoğlu ve Özen, 2003).

3.3. Lojistik Maliyetler

Ömür çevrimi yaklaşımı dahilinde, lojistik yönetim tabiri ile belirtilen temel unsurlar, sipariş işlemlerinden başlamak üzere, stok yönetimi, elleçleme ve paketlemeyi de içine alacak biçimde satın alma, ulaştırma, depolama, bilgi yönetimi olarak listelenebilir. Her bir sürecin kendine özgü bir maliyet ifade ettiği ve lojistik sistemlerin planlamalarında ifade edilen bu maliyetlerin dikkate alındığı bilinmektedir (Çancı ve Erdal, 2009).

Lojistik maliyetler ise şöyledir; depolama maliyetleri, navlun, ara taşıma maliyetleri, stok bulundurma maliyetleri, personel maliyetleri, gümrükleme, sigorta, bilgi sistemleri / bilgi iletişim maliyetleri, atıl kapasite (depo, taşıma aracı, vd.) maliyetleri, geç teslimat maliyetleri, bozulma, hasar ve kayıp maliyetleri, ceza hata maliyetleri, optimum olamayan sipariş miktarları maliyetleri, kullanılan araç ve ekipmanın kirası veya amortismanı olarak tanımlanabilir.

Son kullanıcı tarafından iade edilen hatalı ürünün üreticiye olan nakliyesi sırasında meydana gelen maliyet; ürünün, üreticiden son kullanıcıya ulaşana kadar oluşan maliyetin dokuz katına yaklaşır. Çoğunlukla iade ürününün depolanması ve nakliyesi pek kolay olmamakla birlikte yüksek maliyet kalemlerinden sayılabilir (Ülengin ve Karadağ, 2005).

Üretim yapan şirketlerin lojistik faaliyetlerini kalite ve müşteri memnuniyetinden ödün vermeden devam ettirebilmesi için bu etkinlikleri tek bir çatı altında toplayan ve farklı müşterilerin farklı ihtiyaçlarına en kısa sürelerde, rekabetçi maliyet anlayışı ile çözüm üretebilen lojistik şirketleri doğmuştur. Diğer bir yandan müşteri beklentilerinin ve kalite standartlarının artması da lojistik hizmet sektörünün gelişmesine sebep olmaktadır.

İşletmeler, depolama ve taşıma gibi lojistik faaliyetlerinde dış kaynak seçeneğini değerlendirmeye başlamışlardır. Bunun sonucunda temel yetenekleri üzerinde odak noktası oluşturarak tüm enerjilerini ve dikkatlerini ana branşları üzerinde toplayabileceklerdir. Diğer bir yandan alanlarındaki teknolojik gelişmeleri takip edebilmek için yeterli fırsatları olacaktır (Yıldıztekin, 2004).

3.4. Lojistik Sektörünün Gelişimi

Her yeni oluşum gibi lojistiğin gelişimi de ilgili sektörde doğan yeni ihtiyaçlar ve rekabetlerden kaynaklanmıştır. Geçmişten günümüze imalat alanındaki gelişimlerin yanında meydana gelen problemler ve bu sebeplerle artan maliyetlerin istenilen seviyeye çekilmesi, pazarlama stratejilerindeki yeni felsefeler, firmaları çok daha modern ve teknolojik çözümler aramaya yöneltmiştir. Lojistik sektörünü bir bütün olarak ele alacak olursak komplike bir yapıya sahip olduğunu söyleyebiliriz. Bu komplike yapı, birbiriyle alakalı birden çok disiplini işleyiş bakımından adeta bir zincir yapısında barındırmasından kaynaklanır. Komplike yapısı ve bir hizmet sektörü olması gereğiyle istatistiki bilgilerin netliği hakkında bilgi elde edilememektedir.

İyi bir lojistik yönetimi; lojistik altyapısının kuvvetli olması ve lojistik sisteminin etkin ve verimli işlemesi, işletmeler arasında ve çokuluslu bir işletmenin kendi bünyesi içinde gerçekleştirdiği ticareti arttırıcı bir etkiye sahiptir. Yapılan araştırmalar, ABD'li çokuluslu işletmelerin 1980'lerin ortaları 1990'ların başlarında uygulamaya koyduğu "Tam Zamanında Yaklaşımı" doğrultusunda lojistik sistemlerinde yapmış oldukları iyileştirmelerin işletme içi ticaretin arttırılmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır (Öztürk, 2011).

Asya-Pasifik, Doğu Avrupa, Latin Amerika ve Afrika-Orta Doğu bölgeleri lojistik pazarında önümüzdeki süreçte ön plana çıkacak bölgeler olarak dile getirilmektedir. Türkiye ise jeopolitik konumundan dolayı üç kıtanın birleşme noktasında bulunması

sebebiyle gelecekte bu bölgede doğacak pazardan lojistik sektörünün ciddi bir miktarda pay alması da öngörülen fikirler arasındadır.

Lojistik sektörü, Avrupa'da yıllık %7-10, Kuzey Amerika'da %15, Asya ve Türkiye'de ise %20'lik büyüme hızlarına sahiptir. ABD'de lojistik sektörünün gayri safi milli hâsıla içindeki payı %12 iken, bu oran Türkiye'de %1,5 civarındadır. Gelişen dünya koşulları ve Türkiye ekonomisiyle beraber ülkemizdeki lojistik sektörünün her geçen gün daha da iyiye gittiğini söyleyebiliriz (Orhan, 2003).

3.5. Depo İş Süreçleri

Bir depo analiz edilirken üç ayrı perspektiften ele alınabilir: iş süreçleri, kaynaklar ve organizasyon. İş süreçleri olarak adlandırılan adımlar, ürünler depoya ilk geldiği andan itibaren başlar ve ürünler depodan çıkana kadar devam eder. Kaynaklar ise depo sistemini sorunsuz bir şekilde işletmek için gerekli olan personeli ve donanımı ifade etmektedir. Kaynakları kullanarak, depo iş süreçlerini yürütmeye yarayan kontrol politikaları ve bütün planlamalar ise organizasyon başlığı altında toplanabilir (Rouwenhorst ve ark., 2000).

Depo iş süreçlerinin zincir şeklinde birbirini takip etmesi performans açısından süreçlerin birbirleriyle etkileşimde olduğunu göstermektedir. Süreçlerden birinde oluşabilecek herhangi bir aksaklık diğer süreçlerin işlemesini etkileyecek ve depo içerisindeki ürünlerin hareketlerinde sorunlar oluşmasına neden olabilecektir. Oluşan her sorun depo yönetimi kalite katsayısını olumsuz olarak etkilemekte ve tüm sistem çıktıları baz alındığında performansın düşmekte olduğu gözlemlenmektedir. Depo yönetiminin kaliteli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi adına süreçlerin entegrasyonu, işletmeye zaman, depo alanı, insan kaynağı ve maliyet olarak fayda sağlaması söz konusudur. Depo iş süreçleri işletmeye göre farklılık gösterebileceği gibi, genel olarak mal kabul, fiziksel depolama, siparişlerin alınması, paketleme ve sevkiyat olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.5.1. Mal kabul

Mal kabul, ürünlerin depoya ulaştıklarında karşılaştıkları ilk süreçtir. Belli başlı kısımları bulunan mal kabul, gelen ürünlerin kalite kontrolünün yapılması ve envanter kayıtlarına girmesi için sayılarının ve niteliklerinin belirlenmesi gibi adımları içermektedir (Rouwenhorst ve ark., 2000). Depoya kamyonlarla veya benzer araçlarla

ulaşan ürünler, oluşturulan sipariş referans alınarak belgeleriyle birlikte kontrol edilerek mal kabul standartları doğrultusunda teslim alınmaktadır. Mal kabul sürecinin önemli olmasındaki sebeplerden bir tanesi hasarlı ürünlerin tespitidir. Yapılan kontrol işlemleri sonucunda eksik veya hasarlı ürün bulunuyorsa gerekli prosedürler uygulanarak ilgili birimlere bilgi verilmektedir. Kabul aşamasında göz kontrolünün yapılması maddi kayıpların önüne geçilmesine sebep olduğu gibi, ürüne verilen sigorta ve sorumluluklar açısından yerine getirilmesi gereken görevlerdendir. Mal kabul sürecinde uygulanan standartlar ise şu şekildedir;

- Fiziksel hasar kontrolü,
- Ambalaj yeterliliği,
- Kod, barkod kontrolü,
- Önceki partilerle uyumluluk kontrolü,
- Miktarsal kontrol (sipariş ile gelen ürün, gelen ürün ile irsaliye faturadaki miktarsal tutarlılıklar) (Dalgıç, 2017).

Mal kabul sisteminin temel amaçları şu şekildedir:

- Taşıyıcıları emniyetli ve verimli bir şekilde boşaltma,
- Kabulleri zamanında ve hatasız olarak işleme,
- Faaliyetleri ve kayıtları doğru bir şekilde sürdürme,
- Kabullerin sonraki kullanımı için uygun yerlere hızlı dağıtımı,
- Siparişleri alır almaz materyallere mümkün olan en kısa zamanda ulaşma (Dalgıç, 2017).

3.5.2. Fiziksel depolama

Mal kabul sürecinden sonra uygun olan ürünlerin fiziksel olarak kontrol altında tutulması süreci fiziksel depolama olarak adlandırılmaktadır. Depo iş süreçlerinin bu adımında ürünlerin depo alanına yerleştirilmesi yapılmaktadır. Ürünler depolanırken bölge ayrımı yapılıyor ise sınıflandırma işlemi gerekmektedir. Depolama alanları, ileri bölge ve rezerv alanı adı verilen iki kısımdan oluşmaktadır. Daha fazla miktarlarda ve yığın şeklinde depolamanın yapıldığı bölüm rezerv alanı, sipariş toplama işleminin yapıldığı ve ürünlere kolay erişimimin olduğu bölüm ise ileri bölge olarak tanımlanmaktadır (Rouwenhorst ve ark., 2000).

Depolama iş sürecinin planlanması sırasında dikkate alınması gereken bazı faktörler bulunmaktadır. Ürünle alakalı bu değişkenler; ürün miktarı, ağırlığı, boyutları ve cinsidir. Farklı cinste ürünler depolanan bir süreçte ürünler gruplandırılmalıdır. Her grup uygun alana depo edilmelidir. Böylelikle yan yana gelmemesi gereken ürünlerin, örneğin; kimyasal maddelerin ve gıda maddelerinin, birbirlerinden ayrı alanlara depolanması sağlanmaktadır. Cins ve özelliklere göre gruplandırma yapıldığı gibi, ürün boyutları da ürünlerin gruplandırılmasında kullanılan faktörlerdendir.

Fiziksel depolama süreci esnasında envanter kayıtları da güncellenmektedir. Talebe uygun olarak envanter yönetimi sunulabilir (FIFO, LIFO, FEFO vb.). Envanter yönetimi yapılırken ürünlerin üretim tarihleri, son kullanma tarihleri ve sirkülasyon hızları dikkate alınmaktadır. Stok kontrolü, yazılım yardımıyla yapılıyorsa envanter yönetim politikasına göre depolanacak adres tayin edilebilir.

Fiziksel depolama sürecinde dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise, ağır ve büyük hacimli ürünlerin depo içerisinde hareket mesafelerini en aza indirecek şekilde yer planlamasının yapılmasıdır. Daha ağır parçaları alçak konumlara atamak toplamda kaldırılan ağırlığı azaltarak enerji tasarrufu sağlamaktadır (Öztürk, 2011). Bütün şartlar değerlendirildikten sonra ürünlere atanan adreslere fiziksel depolama işlemi gerçekleştirilir. Fiziksel depolama işlemleri insan gücüyle yapılabileceği gibi otomatik sistemler ve karma sistemler ile de yapılabilmektedir.

3.5.3. Siparişlerin toplanması

Talep edilen sipariş doğrultusunda, depolananmış ürünlerden belirli miktarlarda toplanması süreci olarak tanımlanmaktadır. Müşteri odaklı bir süreç olarak kabul edilmektedir. Sipariş toplama politikasının algoritmalar ile belirlenmesi, deponun cevap verme süresini kısaltacağından sipariş bekleyen müşteri sayısının azalmasını sağlamaktadır. Toplanan siparişlerin içeriğine göre, ayıklama ve konsolidasyon süreçlerine ihtiyaç duyulabilmektedir. Sipariş toplama süreçleri depolardaki toplam işletim maliyetlerinin %63'ünü oluşturmaktadır (Öztürk, 2011). Toplanan siparişler paketleme ve konsolidasyon gibi işlemler için bir sonraki adıma geçmektedir.

3.5.4. Paketleme ve ürün birleştirme

Bir önceki adımda toplanan siparişler, kalite kontrol sürecinden geçtikten sonra paketleme sürecine geçirilmektedir. Paketlenen ürünler farklı müşterilere gidecek şekilde konsolide edilerek sevkiyata hazır hale getirilmektedir. Konsolidasyon, aynı müşteriye gidecek ürünlerin gruplandırılmasıdır (Öztürk, 2011).

3.5.5. Yükleme ve sevkiyat

Talep edilen siparişlerin toplanması, ardından da paketlendikten sonra yüklenmesi ve sevk edilmesi şeklinde devam eden sürecin son adımı olarak bilinmektedir. Yükleme iş süreci paketlenmiş ürünlerin kamyonlara, trenlere vb. araçlara yüklenmesi şeklindedir. Bu süreçte ürünler, palet, mukavva kutu ve varil gibi taşıma üniteleri yardımıyla yerleştirilmektedir.

4. YÖNETİLEBİLİR RAF SİSTEMLERİ

Depo yönetiminde dikkate alınması gereken en önemli bileşenlerden birisi raf sistemlerinin kullanım stratejisidir. Etkin bir raf yönetim stratejisi ile depolama hacminin aktif olarak kullanılan yüzdesi yükseltilebilmektedir. Raflı depolama sistemlerinin en önemli avantajı talep edilen malın hangi sırada olduğunun bir önemi olmaması ve doğrudan alınabilmesidir (Chow ve ark., 2006). Böylelikle çok çeşitli mallar aynı depoda stoklanabilmektedir. En yüksek düzeyde yer tasarrufu sağlamasa da ürüne hızlı erişim sunduğu için tercih sebebi olmaktadır. Raflı sistemler, alandan optimum tasarruf, yükseklikten olabildiğince faydalanma ve otomasyon sistemlerinin entegrasyonu gibi bazı gelişimlere zemin hazırlamıştır. Depoların kurulu olduğu alanlar arttıkça alan içinde yeni taşıma ihtiyaçları doğmuş ve yeni sistemlerin eklenmesi gereksinim haline gelmiştir. Yüksek yapılı raflar ilk kullanıma girdiğinde kumanda kontrollü raf taşıyıcıları kullanılmış, günümüzde otomasyon sistemleri ve bilgisayar tabanlı yönetim ile insansız depo sistemleri geliştirilmiştir (Chiang ve ark., 2011).

4.1. Sırt Sırta Raf Sistemleri

Sırt sırta raflar, depolama sistemleri içerisinde en yaygın, aynı zamanda ekonomik ve en geniş kullanım alanı olan sistemlerdir. İşletmelere geniş depo alanları sunmakta ve hacimsel verimliliğin artırılması amaçlanmaktadır. Şekil 4.1.'de sırt sırta raf sistemi görülmektedir. Travers uzunluğu ve ayak yüksekliği gibi boyutlar sistemin modüler yapıda olması sebebiyle işletmenin ihtiyaçlarına uygun şekilde tasarlanmaktadır. Sırt sırta raf sistemleri deponun büyüklüğüne bakılmaksızın bütün ölçekteki depolarda oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Sırt sırta raf sistemlerinin en önemli avantajı depodaki bütün ürün çeşitlerine doğrudan erişim sağlamasıdır. İstifleme makinelerinin sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi bu sistemlerin tercih edilmesinde rol oynamaktadır. Genellikle ilk giren ilk çıkar ilkesinin gerçekleştirileceği uygulamalarda tercih edilmektedir. Ayrıca güvenlik traversleri yardımıyla gereksinim duyulduğunda enine depolama gibi seçenekler de sunulmaktadır (Hopbaoğlu, 2009).



Şekil 4.1. Sırt sırta raf sistemi (ÜçgeDRS, 2018)

4.2. Dar Koridorlu Raf Sistemleri

Birim alandaki hacimsel verimliliği yüksek olan, koridorlarına insanların bile zor girebileceği, genellikle otomatik depolama sistemleri ile kullanılan dar koridorlu raf sistemleri, ürün sirkülasyon hızının yüksek ve ürün çeşitliliğinin fazla olduğu uygulamalarda karşımıza sıklıkla çıkmaktadır. Şekil 4.2.'de dar koridorlu raf sistemi görülmektedir. Bu sistemlerde, depolama faaliyetleri ancak istif makineleri yardımıyla yürütüldüğünden, sistemde oluşacak bir sorun, depolama işleminde önemli aksamalara sebep olabilmektedir. Diğer bir yandan bu makinelerin, sıradan istifleme makinelerine göre değerleri daha yüksek olması kurulum maliyetinin göreceli olarak yüksek olmasına ve bazı finansman problemlerine neden olmaktadır (Yılmaz, 2011).



Şekil 4.2. Dar koridorlu raf sistemi (AtaRaf, 2018)

4.3. İçine Girilebilir ve İçinden Geçilebilir Raf Sistemleri

Paletli ürünlerin derinlemesine istiflenmesini sağlayan içine girilebilir ve içinden geçilebilir raf sistemleri "drive-in/through" sistemler olarak da adlandırılmaktadır. Yükleme kanalları koridor gibi kullanıldığından istifleme araçlarının rahatça hareket edebileceği raylar ile donatılmışlardır. Depo hacminin maksimum verimle kullanıldığı bu raf sistemlerinde istifleme arkadan öne doğru yapılmaktadır. Şekil 4.3.'te içine girilebilir-içinden geçilebilir raf sistemlerine bir örnek görülmektedir. İçine girilebilir raf sistemlerinde (drive-in systems) giriş-çıkış yönü tek olduğundan son giren ilk çıkar (LIFO) ilkesine göre depolamaya el vermektedir. Yirmi veya daha fazla palet olarak depolanan, yavaş veya orta sirkülasyon hızına sahip malların stoklanması için uygun olan sistemlerdir (Hopbaoğlu, 2009).



Şekil 4.3. İçine girilebilir-içinden geçilebilir raf sistemi (Temesist, 2017)

4.4. Hareketli (Dinamik) Raf Sistemleri

Ürünlerin devamlı ya da ara sıra hareket halinde olduğu sistemler, mobil raflı depolama sistemleri olarak ifade edilmektedir. Raf sistemi raylar üzerinde bir bütün olarak hareket etmektedir. Koridorun sabit olmayıp değişkenlik göstermesi ilk giren ilk çıkar (FIFO) ilkesini uygulamak için oldukça elverişlidir. Şekil 4.4.'te hareketli raf sistemi görülmektedir. Mobil raf sistemleri, ürün çeşitliliği açısından kullanıcıya herhangi bir sınır koymamaktadır. Ürün çeşitliliğinin fazla olduğu durumlarda odaklanılması

gereken nokta, ürünlerin en az miktarda hareket ettirilmesidir. Az çeşitte ve normal sevkiyat hızındaki ürünler için uygulanabilir sistemlerdir. Mobil raf sistemlerinde ürüne erişim kısıtlı olabileceğinden, bu sistemler sirkülasyon hızı yüksek ürünler için önerilmemektedir (Yılmaz, 2011).



Şekil 4.4. Hareketli raf sistemi (ÜçgeDRS, 2009)

4.5. Otomatik Depolama Sistemleri

Depolama, sipariş toplama ve fabrika içi dağıtım gibi görevlerde kullanılan otomasyon sistemleri genel olarak Otomatik Depolama ve Geri Çekme Sistemleri (AS/RS) olarak adlandırılırlar. AS/RS'ler koli, palet ve fıçı gibi parça mal olarak nitelendirilen ürünlerin fazla miktarda ve yüksek yoğunlukta depolanması için uygundur (Hopbaoğlu, 2009). AS/RS'ler eş zamanlı olarak yatay ve dikey yönde hareket edebilen vinçler ile depolama ve geri çekme görevlerini yerine getirmektedirler (Smith, 1998).

AS/RS'ler, üretim alanındaki bütün faaliyetlerde, dağıtım, sipariş toplama ve depolama gibi süreçlere kolayca uygulanabilmektedir. Büyük hacimli yükler için kullanılan birim yük AS/RS'ler işletmelerin çok katlı raflarda depolama yapabilmesini sağlayarak minimum alanda maksimum ürün depolama yaklaşımı için ideal bir seçenek olmuşlardır. Birim yük AS/RS'ler ahşap veya plastik palet, ya da tel kafesli sandık gibi yardımcı istifleme ekipmanlarıyla birlikte çalışmaya uygun olarak tasarlanmışlardır. Daha küçük parçalı ürünler için ise küçük yük AS/RS'ler kullanılmaktadır. Genellikle çok çeşitli malzeme bulunan depolarda veya üretim esnasında parça devir hızının yüksek olduğu sistemlerde karşımıza çıkmaktadır. Küçük yük AS/RS'lerde ürünler karton veya

plastik kutu, tabla gibi düzenleyici istifleme elemanları yardımıyla depolanmaktadırlar. Şekil 4.5.'te otomatik depolama sistemi görülmektedir.

Dağıtım merkezlerinin modernleşmesi, otomatik sipariş hazırlama sistemleri ile mümkün olabilecektir. Söz konusu sistem, depo faaliyetlerini karmaşıklıktan kurtarmak, süreçleri basit ve pratik bir hale getirmekle yükümlüdür. İşletmelerin AS/RS kullanmasını gerektiren en önemli nedenlerin başında çok çeşitli ürün stokuna ve ürünlerin yüksek devir hızına sahip olması gelmektedir (Atmaca ve Öztürk, 2014).



Şekil 4.5. Otomatik depolama sistemlerine bir örnek (RITM, 2015)

Otomatik depolama sistemlerinin üstünlükleri şunlardır:

• Ürünlere ilişkin sayım bilgileri tutarlılığının sağlanması

• Doğrudan ve dolaylı işçilik tasarrufunun sağlanması

• Esnek üretim sistemleri ile bütünleşik çalışabilmesi; üretim ve kontrol sistemlerindeki geçici stok alanlarının elimine edilmesine yardımcı olması

• Yanlış ürün çekişlerinin ve yinelemelerin ortadan kaldırılması

• Depolama alanı tasarrufunun sağlanması

• Aydınlatma ve ısıtma gereksinimlerini ortadan kaldırması

• Yeni üretim teknolojilerini desteklemesi

• Stok devir hızını arttırması

• Taşıma sırasındaki zedelenme ve yıpranmalarda azalmalar sağlaması

• Ürünlerin tam olarak nerede olduğunun bilinmesi sayesinde, ürünlerin aranması ve benzeri katma değerli olmayan faaliyetlerin elimine edilmesi, yükleme ve çekme zamanlarının azalması

• İrsaliye basımı gibi zaman alan işlemlerin otomatik duruma getirilmesi, bu işlemler için işgücü gereksiniminin azaltılması

• İrsaliye ve çıkış bilgilerinin daha sağlıklı duruma gelmesi (Tezcan, 2007)

Otomatik depolama sistemlerinin sakıncaları şunlardır:

• Yüksek maliyet gerektirmesi

• Kurulumların uzun zaman alması

• Bakım ve ekipman gibi pahalı giderlere neden olması

• Güçlü bir bilgisayar sistemi ile çalışıldığından, bunun bakımı ve geliştirilmesi için ayrı bir bilgi işlem biriminin kurulma gerekliliğinin bulunması (Tezcan, 2007)

4.5.1. Koridor çeşitlerine göre AS/RS

AS/RS sistemlerinin sınıflandırılmasında temel faktörlerden birisi koridor yapısıdır. En sık kullanılan yöntem olarak sabit koridorlu sistemler karşımıza çıkmaktadır. Sabit koridorlu sistemler hacim verimi açısından ilk sırada olmasa da kurulum maliyeti açısından avantajlıdır. Sabit koridorlu sistemlerde her koridora bir AS/RS makinesi yerleştirilmektedir. Şekil 4.6.'da koridorlar arasında geçiş yapan AS/RS vinci görülmektedir.



Şekil 4.6. Koridorlar arası geçiş yapan AS/RS vinci (Taylor'd, 2008)

Diğer bir yöntem olarak sabit olmayan koridora sahip mobil raf sistemleri karşımıza çıkmaktadır. Adından da anlaşılacağı üzere hareket edebilir biçimde tasarlanan bu sistemler hacim kullanımı açısından en verimli sistemlerdir. Tüm depodaki rafların tamamına bir koridordan ulaşıldığı için sadece bir AS/RS makinesi yerleştirilebilir (Roodbergen ve Vis, 2009).

4.5.2. Yük tipine göre AS/RS

AS/RS makineleri taşıdıkları yük çeşidine göre sınıflandırıldığında birim yük taşıyanlar ve ürüne özel olarak tasarlanan tutucuya sahip sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Birim yük taşıyan sistemler, genellikle paletli yüklere yönelik tasarlandığından daha yaygındır. Parça toplayıcı sistemler ise daha küçük malları sipariş sepetine ekleyip bir müşteriye ait tüm siparişleri toplamak amacıyla tasarlanmaktadır. Şekil 4.7.'de küçük yüklerden oluşan siparişleri toplayan bir AS/RS görülmektedir.

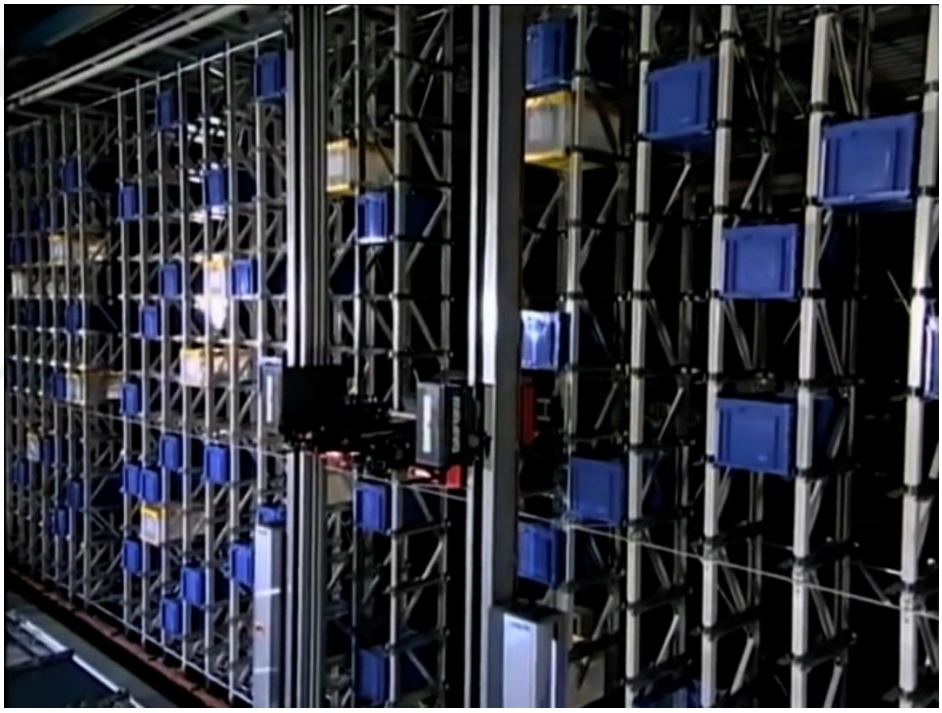


Şekil 4.7. Küçük yükler taşıyan AS/RS örneği (Ferrotto, 2017)

4.5.3. Vinç sayısına göre AS/RS

Sabit koridorlu sistemlerde bir koridorda bulunan vinç sayısı da AS/RS'lerin sınıflandırılmasında etkili olan faktörlerdendir. Yaygın kullanım, her koridora bir vinç sistemi tasarlanmasıdır. Bu yöntemin tercih edilmesindeki temel sebep kurulum maliyetlerinin düşük olmasıdır. Fakat daha fazla ürüne daha kısa sürede ulaşılmak

istendiğinde, tercih edilmesi gereken yöntem bir koridora birden fazla vinç sistemi eklenmesidir. Şekil 4.8.'de bir koridorda iki vinç ile çalışan AS/RS'lere bir örnek verilmiştir. Bu yöntemde, raf sisteminde bulunan giriş çıkış istasyonlarının sayısı artırıldığında daha etkili bir çözüm sunulmaktadır. Bir koridorda birden fazla vinç sisteminin çalışması, kontrol yöntemlerinin geliştirilmesini ve senkronize şekilde çalışmalarını gerektirmektedir. Bu sistemlerin olumsuz yönleri de dikkate alınmalıdır. Aynı ray üzerinde hareket edecek birden fazla vincin çarpışma ihtimali olduğundan güvenlik önlemleri dikkatlice alınmalıdır. Kurulum maliyetlerinin daha yüksek olması, planlamasının daha karmaşık olması ve çarpışmanın önlenmesi adına boşta çalışma durumlarının meydana gelmesi istenmeyen yönler olarak karşımıza çıkmaktadır.

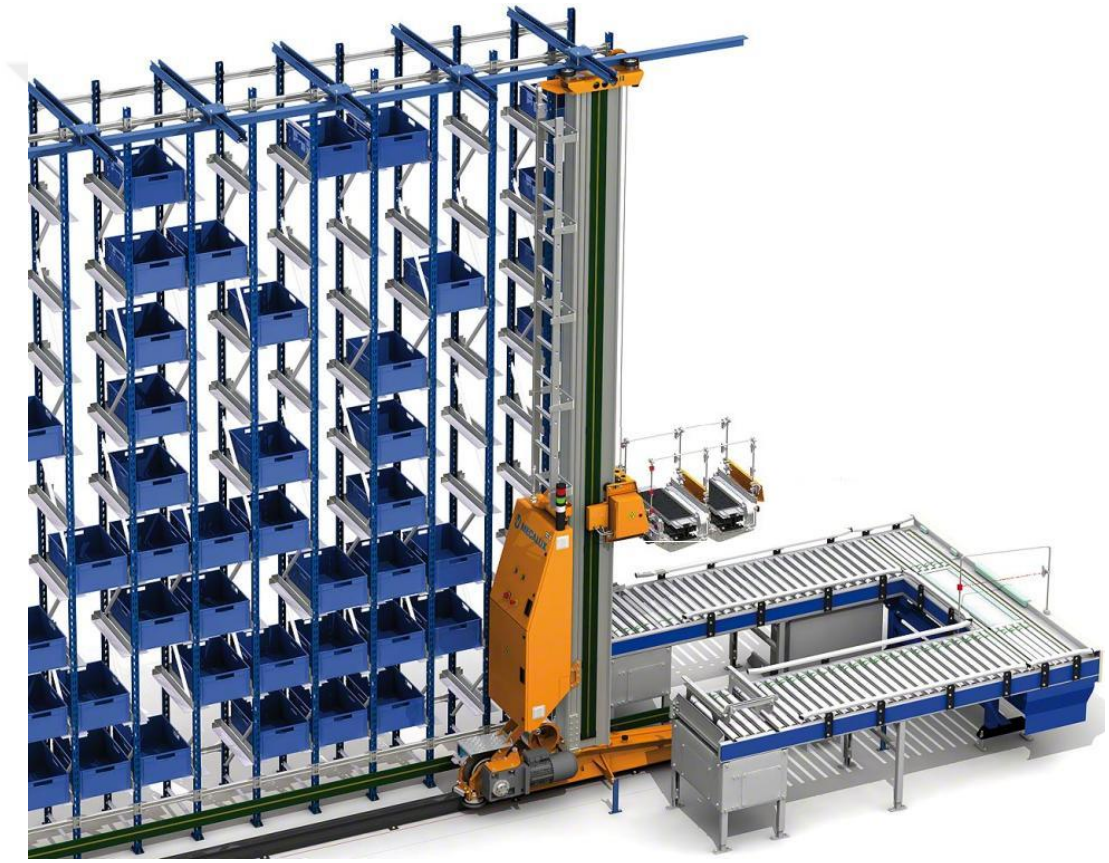


Şekil 4.8. İkili vinç sistemine sahip AS/RS örneği (Daifuku, 2010)

4.5.4. Mekik sayısına göre AS/RS

AS/RS makinelerinin yükü taşıdıkları, hücrelere bırakıp, hücrelerden aldıkları, genellikle hareketli sistemlere mekik adı verilmektedir. AS/RS makinelerinin ilk tasarımlarında vinç üzerinde bir mekik yerleştirilirken, sistem performansını artırmak ve rekabet koşulları içerisinde öne geçebilmek adına çoklu mekik sistemine sahip AS/RS makineleri tasarlanmıştır. Mekik sayısındaki artışın arkasındaki temel hedef, bir seferde birden fazla yük taşıyarak birim zamanda daha çok depolama ve geri çekme komutunu

yerine getirmektir. Şekil 4.9.'da ikili mekik sistemine sahip AS/RS görülmektedir. Sırada bekleyen ürünlerin bekleme sürelerini azaltmak depoların işleyişini hızlandıracak ve siparişlere daha kısa sürede cevap vermelerini sağlayacaktır. Mekik sayılarının artışı, AS/RS'lerin performansını kayda değer ölçüde artırmıştır. İki mekikli sistemlerin tasarlanmasından sonra bu sayının daha da artabileceği düşünülmüş ve üç mekikli sistemlerin pratik uygulamalarda yerini alması çok uzun sürmemiştir. Mekik sayılarındaki artış, daha kapsamlı planlama gerektirdiğinden kontrol politikalarının geliştirilmesini sağlamıştır. Ürünlerin depolanması ve geri çekilmesi işlemlerinde, sıralama ve yer atama gibi problemler ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.9. İkili mekik sistemine sahip AS/RS örneği (Mecalux, 2019)

4.6. Raf Sistemlerinin Karşılaştırılması

Depolama alanının tasarımında hacimsel verimlilik, hacim yüksekliğinin verimli şekilde kullanılması, sipariş toplama işleminin kolaylığı, ürün güvenliği ve stok kontrolünün yapılabilmesi gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmalı, sistemlerin sunduğu avantajlar ve dezavantajlar değerlendirildikten sonra işletme ihtiyacına en uygun

depo tipi seçilmelidir. Çizelge 4.1.'de depolama sistemlerine bağlı karşılaştırma tablosu verilmiştir. Tablodaki verileri ele alacak olursak, ürüne erişim kolaylığı sırt sırta, dar koridor ve otomatik depolama sistemlerinde en üst düzeyde iken, blok istifleme modelinde %10 gibi düşük bir düzeydedir. Diğer bir açıdan, stok çevrim hızı yüksek olan ürünlerin depolanmasında dinamik ve otomatik depolama sistemleri uygun iken, zemin üzerinde blok şeklinde istifleme yapılması, yeğlenmemesi gereken bir depolama sistemidir (Tezcan, 2007; Hopbaoğlu, 2009).

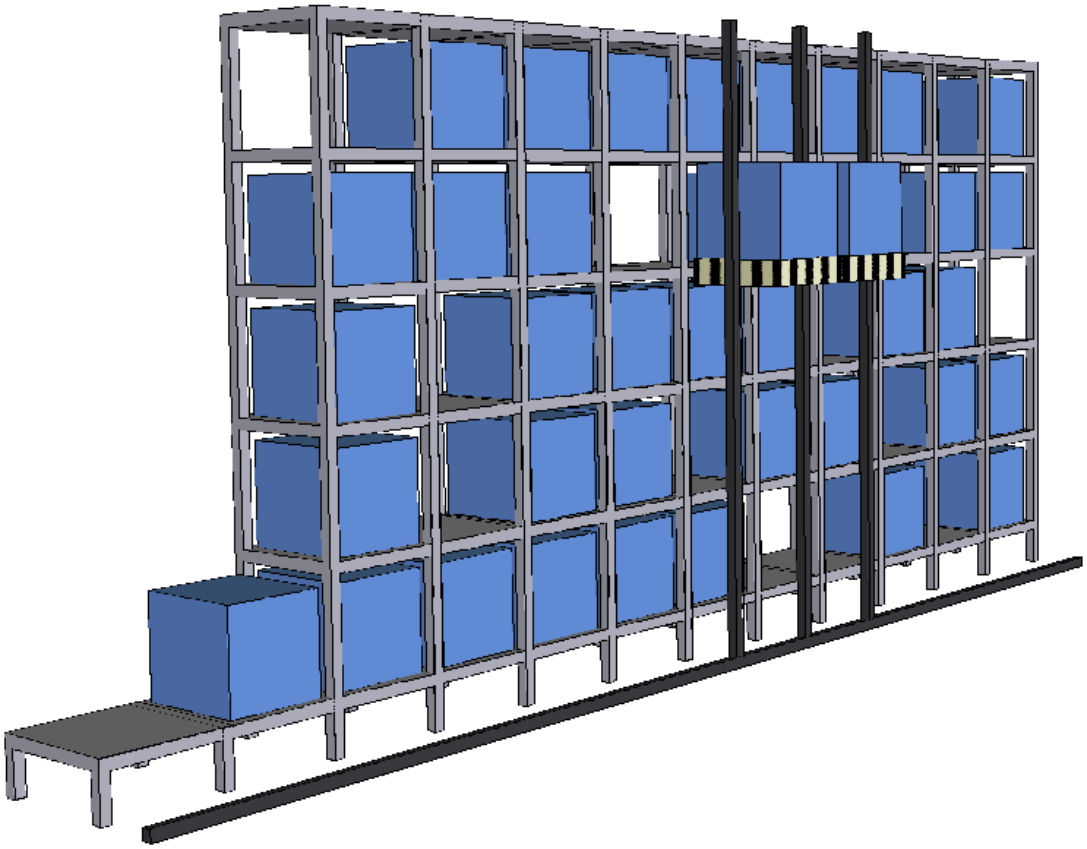
Çizelge 4.1. Raf sistemlerinin karşılaştırılması (Hopbaoğlu, 2009)

Özellikler	Zemin	Sırt Sırta	Çift Sıra Sırt Sırta	Dar Koridor	İçine Girilebilir	Dinamik	AS/RS
Hacim verimi	%65	%45	%55	%57	%65	%80	%62
Yükseklik verimi	%75	%100	%80	%100	%75	%70	%95
Yüke ulaşılabilirlik	%10	%100	%50	%100	%30	%50	%100
Sipariş toplama	%5	%100	%40	%100	%30	%30	%100
Fiziksel zarar riski	%3	%0,2	%0,3	%0,2	%1	%0,5	%0,1
Yük dengesi	%90	%100	%100	%100	%99	%95	%100
Stok kontrol	%0	%95	%70	%95	%70	%70	%100
Stok çevrim hızı	%0	%60	%40	%70	%40	%100	%95

5. MATERYAL VE YÖNTEM

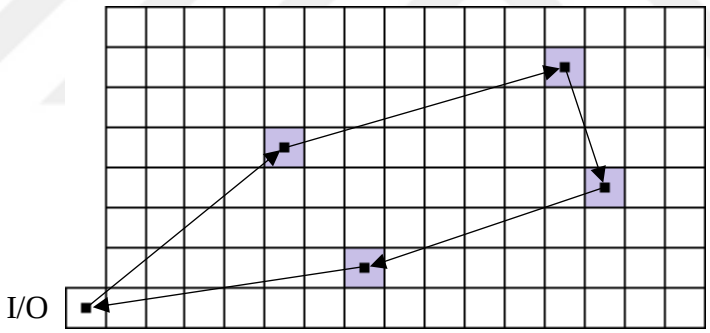
5.1. Problemin Tanımlanması

Bu tez çalışmasında; tek ve sabit koridorlu, tek vinçli, ikili mekik sistemine sahip ve birim yük taşıyan bir otomatik depolama ve çekme makinesi modellenmiş olup, bir döngüde en kısa yolu kat etmesini sağlamak amacıyla PSO algoritması kullanılarak rota planlanması yapılmıştır. Modellenen sistemin genel görünümü Şekil 5.1.'de verilmiştir. Son zamanlarda AS/RS makinelerinin performansını artırmak amacıyla mekik sayıları artırılarak, bir seferde daha fazla yük taşıması ve daha fazla noktaya uğraması sağlanmıştır. Uğranan noktaların artması ise rota hesaplama problemlerinin oluşmasına neden olmuştur. Modellenen sistemde hücrelerin boyutları 1 m × 1 m × 1 m olarak seçilmiştir. Bütün hücrelerin boyutları eşit olduğundan yüklerin depolanmasında herhangi bir lokasyon kısıtlaması bulunmamaktadır. Depo sisteminin giriş-çıkış istasyonu karşıdan bakıldığında sol alt köşeye yerleştirilmiştir. AS/RS makinesi ikili mekik sistemi sayesinde iki adet depolama ve iki adet geri çekme istemini içeren dörtlü komut çevrimini



Şekil 5.1. Birim yük taşıyan, tek vinçli, ikili mekik sistemine sahip, sabit koridorlu AS/RS görünümü

işleyebilecek şekilde modellenmiştir. Şekil 5.2.'de dörtlü komut çevrimini işleyecek rotanın hangi yolu izleyeceği görülmektedir. AS/RS makinesinin mekikleri giriş/çıkış istasyonundan dolu olarak çıkacağı için öncelikle depolama görevlerini daha sonra geri çekme görevlerini yerine getirecek şekilde modellenmiştir. Depodan çekilmesi gereken yüklerin yerleri sistem tarafından önceden bilinmektedir ve her yükün sadece bir lokasyonda olduğu varsayılmıştır. AS/RS makinesindeki vinç iki boyutta hareket etmektedir. Yatay eksendeki (X) ve dikey eksendeki (Y) hareketler bağımsız sürücü sistemleri tarafından sağlandığı düşünülmüştür. Vincin eksenlerdeki hızlanma ivmeleri ve frenleme ivmeleri ihmal edilmiş ve eksen hızları 1 m/s olarak sabit kabul edilmiştir. Raflardaki boş ve dolu hücrelerin koordinatları da sistem tarafından bilinmektedir. Depo boyutunun performansa etkisini araştırmak adına küçük boyutlu (1000 hücreli) ve büyük boyutlu (3000 hücreli) iki raf sistemi tasarlanmıştır. Küçük ölçekli depoda 10 satır ve 100 sütundan oluşan bir raf sisteminin olduğu, büyük ölçekli depoda ise 30 satır ve 100 sütundan oluşan bir raf sisteminin olduğu var sayılmış ve Matlab Grafik Kullanıcı Arayüzü'nde (GUI) bu depolara uygun olarak görseller hazırlanmıştır.



Şekil 5.2. Dörtlü komut çevrimi

5.2. Algoritmalar

Bütün AS/RS sistemlerinde rota planlaması tipik olarak iki çeşit problemden meydana gelmektedir. Bunlardan birincisi talep edilen isteklerin hangi sırayla gerçekleştirileceği, yani sıralama problemi, diğeri ise depolanacak malların hangi boş hücreye yerleştirileceğini belirleme problemidir. Sıralama problemi, araştırmacılar tarafından gezgin satıcı problemine benzer bulunmuştur ve gezgin satıcı problemi için etkili çözümleri sıralama problemine de uygulayarak geçerli sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında ise depolanacak mallara uygun yerin belirlenmesi için yer atama problemi ele alınacak olup sezgisel algoritmalar AS/RS makinesine uyarlanarak en iyi çözüm bulunmaya çalışılacaktır. Algoritmaların performansını kıyaslamak amacıyla aynı veri tabanına sahip problemlerde istatistiksel yöntemler kullanılacaktır. Yakınsama hızları, algoritmaların koşma süreleri ve toplam hata kriterleri göz önüne alınarak önerilen algoritmanın geçerliliğinin doğrulanması planlanmıştır.

5.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu

PSO algoritması, 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından lineer olmayan sürekli fonksiyonlar için geliştirilen bir metottur. Temeli sürü zekası esasına dayanmaktadır. Algoritmanın çalışma şekli ise sürülerde bulunan sosyal zeka anlayışından esinlenmektedir (Kennedy ve Eberhart, 1995). Kuş ve balık sürülerinin birlikte hareket ederek senkronizasyonu sağlamaları sosyal zeka yapısına sahip olduklarını kanıtlamaktadır. Sürülerin sosyal davranışları, besin kaynakları bulmada, avcılardan kaçabilmede kısaca hayatta kalabilme yeteneğinde önemli rol oynamaktadır. Birbirleri arasında bilgi alışverişinin sağlanması ise doğruya ulaşma ihtimallerini ve hızlarını önemli ölçüde artırmaktadır (Özsağlam ve Çunkaş, 2008).

PSO algoritması popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Popülasyonu oluşturan bireyler parçacık olarak adlandırılmaktadır. Parçacıkların çözüm kümesinde hareket ettiği düşünülür. Bu hareketten elde edilen hız ve konum bilgileri parçacıklar tarafından bilinmekte ve her bir parçacık potansiyel bir çözümü temsil etmektedir. Bütün parçacıklar sürüdeki en iyi bireye göre hızlarını güncellemekte ve bir sonraki nesilde en iyi parçacığa yaklaşmaktadırlar. Hız vektörünün hesaplanmasında rastgele değişkenler olduğundan çözüm uzayında bir önceki neslin en iyi bireyinden daha iyi sonuç verme ihtimalleri de bulunmaktadır. PSO algoritması diğer popülasyon tabanlı algoritmalar ile kıyaslandığında yakınsama hızları yüksek olduğundan en iyi çözüme daha çabuk ulaşmaktadır (Poli ve ark., 2007; Kennedy, 2010).

PSO algoritmasında her bir parçacığın hız bilgisi Denklem 5.1 ile hesaplanarak güncellenir. Hız vektörünün hesaplanmasında en iyi birey, önceki nesillerde parçacığın en iyi çözümü ve mevcut konum bilgisi kullanılmaktadır. Hız vektörü hesaplandıktan sonra parçacığın konum bilgisi güncellenerek optimum sonuca doğru hareket etmesi sağlanmaktadır. Algoritmanın adımları ise şu şekildedir;

1. Popülasyonun oluşturulması: Çözüm kümesi sınırları içerisinde parçacıkların başlangıç pozisyonları rastgele üretilir. İlk nesil için hız vektörleri sıfır olarak kabul edilir.
2. Uygunluk değerlerinin hesaplanması: Amaç fonksiyonu kullanılarak parçacıkların uygunluk değeri hesaplanır.
3. En iyi parçacığın bulunması: Her bir parçacığın önceki nesillerdeki en iyi uygunluk değerine (pbest) sahip parçacıkla kıyaslanması ve daha iyi olması durumunda pbest güncellenir.
4. Global en iyinin bulunması: Jenerasyondaki en iyi değer global en iyi (gbest) ile karşılaştırılır ve daha iyi bir parçacık oluşmuşsa gbest güncellenir.
5. Hız vektörlerinin hesaplanması ve pozisyon bilgilerinin güncellenmesi: Denklem 5.1 ile hız vektörleri hesaplanır ve Denklem 5.2 ile pozisyonlara eklenir.

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1.rand_1^k.(pbest_i^k - x_i^k) + c_2.rand_2^k.(gbest_i^k - x_i^k) \quad (5.1)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (5.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde v_i değerleri hız vektörlerini, x_i değerleri ise pozisyon bilgilerini temsil etmektedir. c_1 ve c_2 öğrenme katsayıları ise sabit değerlerdir. PSO uygulamalarına bakıldığında genellikle 2'ye yakın değerler aldığı görülmektedir. $rand_1$ ve $rand_2$ değerleri 0 ile 1 arasında rastgele üretilen sayılardır.

6. Durdurma kriteri: Önceden belirlenen iterasyon sayısına veya hata toleransına ulaşılıncaya kadar algoritmanın 2. adımına dönülerek yeni nesil ile iterasyona devam edilir.

5.2.2. Genetik algoritma

Genetik algoritmalar, evrimsel hesaplama ailesine mensup, evrim teorisindeki doğal seçilimden ilham alan bir hesaplama metodudur. GA ilk olarak Holland tarafından 1975 yılında eniyileme problemleri için kullanılmıştır. Amacı çok boyutlu çözüm kümesinde en iyinin hayatta kalması mantığıyla optimum çözümü bulmaktır. Popülasyon tabanlı bir algoritma olduğundan en iyi çözümü tek bir nokta yerine birçok çözümden oluşan bir çözüm kümesi üretir (Çunkaş, 2004). Bu yöntemin amacı çözüm uzayında aynı anda farklı noktalarda arama yapmak ve optimum çözüme ulaşmak olduğu gibi, aynı zamanda doğal seçim yaklaşımından faydalanarak güçlü bireylerin sonraki nesillere

genetik mirasını aktarmaktır. Popülasyonu oluşturan bireyler rastgele üretilen çözümlerden, diğer bir deyişle kromozomlardan oluşmaktadır. Öncelikle problemin çözümünün uygun bir şekilde kromozomlara aktarılması gerekmektedir. Burada önemli olan faktörler çözüm kümesinin kaç değişkenden oluştuğu ve çözüm kümesindeki parametrelerin sınırlarıdır. Algoritma ilk olarak her bireyin uygunluğunu amaç fonksiyonu ile hesaplayarak en iyi bireylerin bir sonraki nesle aktarılmasını sağlar. Doğal seçilim işleminden sonra ise genetik işlemciler devreye girer. İlk olarak çaprazlama operatörü seçilen ebeveynleri çaprazlayarak çocuk bireyleri meydana getirmektedir. Oluşan bu yeni bireyler tamamen ebeveynlerin genetik özelliklerini taşımaktadır. İyi bireylerin seçilme ihtimali daha yüksek olduğundan nesiller ilerledikçe zayıf bireylerin genetik özellikleri popülasyon içerisinde bulunmayacaktır (Baker ve Ayechew, 2003).

GA'da yakınsamanın kontrollü bir şekilde gerçekleşmesi için mutasyon operatörü yardımıyla araştırma uzayında yeni çözümler elde edilmektedir. Mutasyona girecek parametre sayısı belirlenir ve kromozomlarda mutasyon gerçekleştirilir (Hassan ve ark., 2005).

GA uygulamalarında kromozomların kodlanması gerçek kodlu ve ikili kodlu olarak gerçekleşmektedir. BGA'da kromozomlar oluşturulurken çözüm kümesindeki değerler ikili koda çevrilerek uç uca eklenir. İstenen çözünürlüğe göre çözüm kümesindeki bir değerin kaç bit ile ifade edileceğine karar verilmelidir. Bulunacak çözümdeki hassasiyetin ne kadar yüksek olması isteniyorsa kullanılacak bit sayısı da aynı derecede artırılmalıdır. RGA ise çözüm kümesindeki değerleri ikili koda çevirmeden genetik işlemcilere aktarmaktadır. RGA, BGA'ya göre daha hassas sonuçlar vermekle beraber bilgisayar belleğinde daha az yer kapladığından daha kısa sürede sonuca ulaşmaktadır (Çunkaş ve Akkaya, 2002). Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda RGA'nın kullanılması avantajlı olacaktır. Algoritmanın işleyişindeki adımlar ise şu şekildedir;

1. Popülasyonun oluşturulması: Çözüm kümesi sınırları içerisinde kromozomların rastgele oluşturulur ve parametrelerin tanımlanır.
2. Parametrelerin GA'ya uyarlanması: Ölçekleme, ikili koda dönüştürme gibi işlemler bu basamakta gerçekleşir.
3. Uygunluk değerinin hesaplanması: Amaç fonksiyonu kullanılarak kromozomların uygunluk değerleri hesaplanır.

4. Çaprazlanacak kromozomların seçilmesi: Turnuva seçimi, rulet tekerleği seçimi gibi yöntemler kullanılarak çaprazlanacak kromozomlar seçilir.
5. Çaprazlama ve Mutasyon: Eşleşme havuzundaki bireyler çaprazlanarak yeni nesil bireyler oluşturulur ve yerel minimumdan kurtulmak için mutasyon operatörü ile değişim uygulanır.
6. Yer değiştirme: Yeni nesil bireyler ebeveynlerin yerine geçer.
7. Geri dönüşüm: Algoritma ikili kod ile çalışıyorsa kromozomlar gerçek koda dönüştürülür. Eğer gerçek kodlu GA ile çözüm yapılıyorsa bu adım uygulanmadan bir sonraki adıma geçilir.
8. Uygunluk değerinin hesaplanması: Amaç fonksiyonu kullanılarak yenilenen neslin uygunluk değerleri hesaplanır.
9. Durdurma kriteri: Önceden belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldıysa algoritma durdurulur ve tüm nesiller içerisinde en iyi sonuç veren birey optimum çözüm olarak kabul edilir. Durdurma kriteri sağlanmadı ise 4. adıma dönülür.

5.3. Yazılım

Bu tez çalışmasında belirtilen algoritmalar ve veri tabanlarının tamamı MATLAB 2017B ortamında işlenmiştir İşlemci hızını etkilememesi amacıyla hücreler arası mesafeler hesaplanarak veri dosyası formatında kayıt edilmiştir. Benzetimlerin yapıldığı bilgisayar Intel i7 2.40 GHz işlemcili ve 8 GB belleğe sahiptir. Algoritmalar ise m-file dosya tipinde yazılmıştır. Algoritmaların sorunsuz ve hızlı bir şekilde çalışabilmesi için kodların sade bir şekilde yazılmasına özen gösterilmiştir. Sistemleri görselleştirmek adına MATLAB GUI'de grafik arayüzleri hazırlanmıştır. Dolu ve boş hücreler ile algoritmaların koşması sonucu bulunan optimum rotanın sistem üzerinde gösterilmesi iki boyutta tasarlanmıştır. Bu tasarımla, bulunan çözümün görselleştirilmesi ve daha net bir şekilde anlaşılması sağlanmıştır. Ancak, algoritmaların koşma süreleri kıyaslandığından, bulunan sonuçların grafik ortamına aktarılması işlemleri süre hesaplamalarına dahil edilmemiştir.

5.4. Performans Kriterleri

Bu tez çalışmasında bulunan sonuçların istatistiksel olarak kıyaslanması literatürde mevcut olan ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata

(MAPE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) gibi performans kriterleri kullanılarak yapılmıştır. Aşağıda bu kriterler kısaca açıklanmıştır.

Ortalama mutlak hata

Mutlak hata, gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkın ölçüsüdür. Ortalama mutlak hata (MAE) ise, her gerçek değer ile veriye en iyi uyan değer arasındaki ortalama uzaklıktır. MAE değeri kolay yorumlanabilir olduğu için regresyon ve zaman serisi problemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Bu kriter, hatanın yönlerini önemsemeden, hesaplanan optimum çözüm kümesindeki hataların ortalama büyüklüğünü ölçen, tüm tekil hataların ortalamada eşit olarak ağırlıklandırıldığı doğrusal bir skordur. Daha düşük değerlere sahip sonuçlar daha iyi performans göstermiş demektir. MAE, metotların tutarlılığını teyit etmek için kullanıldığında, sonuçları çok düşük olan bir metodu sistematik olarak seçmesi nedeniyle önyargılı olarak tanımlanmaktadır. Bu kriter yalnız başına değerlendirilmemeli, hata değerinin gerçek değere oranını hesaplayan diğer metotlarla birlikte dikkate alınmalıdır. *n;* örnek sayısı, H; hesaplanan değer ve G; gerçek değer olmak üzere, Denklem 5.3'te MAE'yi hesaplama yöntemi verilmiştir (Anonim, 2019).

$$Ortalama\ Mutlak\ Hata\ (MAE) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} |\mathrm{H} - \mathrm{G}| \tag{5.3}$$

Ortalama mutlak yüzde hata

Regresyon ve zaman serileri modellerinde sonuçların doğruluğunu ölçmek için ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) sıklıkla kullanılmaktadır. Doğruluğu yüzde olarak ölçmektedir. Gerçek değerler arasında sıfır içerenler varsa, sıfır ile bölünme olacağı için MAPE hesaplanamaz. MAPE kriterine göre düşük değerli sonuçlar, daha iyi performans göstermiş demektir. *n;* örnek sayısı, H; hesaplanan değer ve G; gerçek değer olmak üzere, Denklem 5.4'te MAPE'yi hesaplama yöntemi verilmiştir (Anonim, 2019).

$$Ortalama\ Mutlak\ Yüzde\ Hata\ (MAPE) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{|H-G|}{G} \quad (5.4)$$

Kök ortalama kare hata

Kök ortalama kare hata (RMSE), bir modelde hesaplanan değerler ile gerçek değerler arasındaki mesafenin bulunmasında sıkça kullanılan, hatanın büyüklüğünü ölçen kuadratik bir metriktir. RMSE hesaplama hatalarının standart sapması anlamına gelmektedir. Hesaplama hataları, regresyon doğrusunun veri noktalarına olan mesafesidir. RMSE ise bu hataların yayılımının bir ölçüsüdür. Diğer bir ifade ile, verilere en iyi uyan çizgi etrafında o verilerin ne kadar yoğun olduğunu belirtmektedir. RMSE'nin sıfır olması yöntemin hiç hata yapmadığı anlamına gelmektedir. Bu metot büyük hataları daha fazla cezalandırmaktadır. *n;* örnek sayısı, H; hesaplanan değer ve G; gerçek değer olmak üzere, Denklem 5.5'te RMSE'yi hesaplama yöntemi verilmiştir (Anonim, 2019).

$$Kök\ Ortalama\ Kare\ Hata\ (RMSE) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(H-G)^2} \quad (5.5)$$

6. OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMİNDE ÇEVRİM SÜRESİNİN OPTİMİZASYONU

Akıllı teknolojiler hayatımızın her alanını etkilediği gibi lojistik alanını da etkileyerek endüstri de devrim niteliğinde gelişmelere yol açmıştır. Endüstri 4.0 devrimi gelişirken, akıllı ve dijital esnek üretim tesislerinin meydana çıkmasıyla oluşan değişimler, lojistik sektörünün temel yapısını değiştirerek bilişim sistemleri ile entegre bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Bu sektörde; insansız hava araçlarının kullanımı, sürücüsüz araçların kullanımı, sistemlerin ihtiyacı olan enerjinin yenilenebilir kaynaklar ile sağlanabilmesi ve nihayetinde bilişim sistemlerinin sıkça kullanılması, bileşenleri daha az maliyetle çalışır ve sektör paydaşlarını daha rekabetçi bir ortamda buluşturmaktadır. AS/RS makineleri de sistemleri insansız çalıştırmaya yönelik etkili yatırımlardan olmaya başlamıştır. Bu bölümde, lojistik sektöründe son zamanlarda büyük ölçüde yer alan AS/RS makinelerinin, işletilmesi esnasında rol oynayan planlama problemi ele alınmıştır. Ele alınan bu problemde PSO, RGA ve BGA metotları kullanılarak optimum çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Sonuçlar ayrıntılı bir şekilde açıklanmış, algoritmalar istatistiksel yöntemler kullanılarak kıyaslanmıştır.

Problem boyutunun algoritma çözümlerine etkisini araştırmak adına iki farklı boyutta sistem hazırlanmıştır. Küçük ölçekli sistem 10 satır 100 sütundan oluşan 1000 hücreli bir raf sistemi olarak tasarlanırken, büyük ölçekli sistem ise 30 satır 100 sütundan oluşan 3000 hücreli bir raf sistemi olarak tasarlanmıştır. İki adet noktanın art arda seçimi probleminde; küçük ölçekli sistemde $1000 \times 1000 = 1000000$ ihtimal, büyük ölçekli sistemde $3000 \times 3000 = 9000000$ ihtimal bulunmaktadır. Çözüm kümesinin büyüklüğü, raf sistemindeki hücre sayısının karesiyle doğru orantılı olduğundan boyutlardaki artış problemi daha karmaşık hale getirmekte, çözüme ulaşmak için daha fazla işlem gücü ve süre gerektirmektedir.

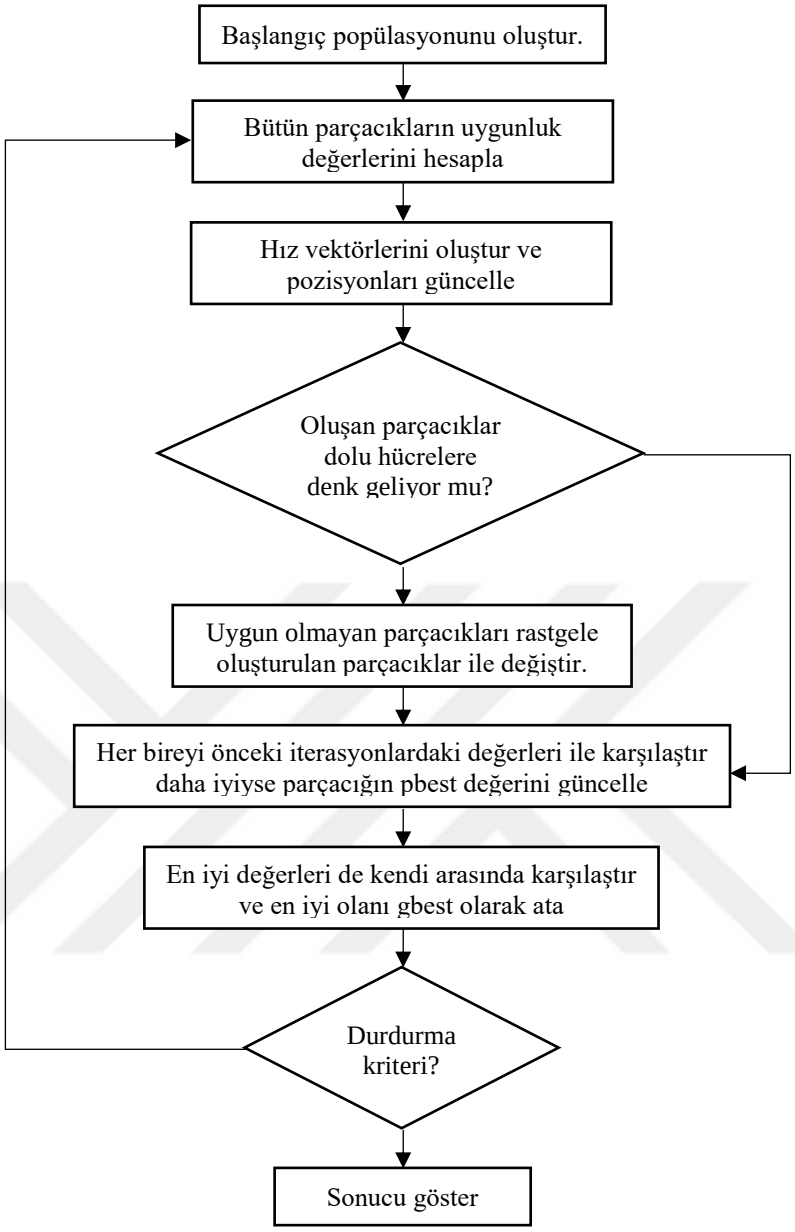
Raflardaki doluluk oranının algoritma çözümlerine etkisini araştırmak için her iki raf sisteminde 10 farklı veri tipi oluşturulmuştur. Doluluk oranı, küçük ölçekli sistemde %30 ile %50 arasında değişirken, büyük ölçekli sistemde %25 ile %70 arasında değişmektedir. Dolu hücrelerin konumları rastgele fonksiyon kullanılarak belirlenmiş olup, her algoritma aynı verilerle koşturulmuştur.

6.1. PSO Algoritmasının Yer Atama Problemine Uygulanması

İkili mekik sistemine sahip AS/RS makinesi 2 adet depolama, 2 adet de geri çekme işlemini yapabilecek kapasitede olduğundan bir döngüde başlama ve bitiş noktası hariç toplam 4 noktaya uğramaktadır. Depodan geri çekme işlemlerinde lokasyon bilgisi sabit olduğundan optimizasyon faktörü rotanın bu kısmında etkili olmayacaktır. Yani diğer bir deyişle geri çekme noktaları sabit olacak ve herhangi bir müdahale söz konusu olmayacaktır. Algoritmanın uygulandığı kısım ise depolanacak ürünlerin yerinin belirlenmesi olacaktır. Boş hücrelerden herhangi ikisini belirleyecek ve toplamda dört noktaya uğrayarak en kısa rotayı oluşturması sağlanacaktır. Raf düzlemi Kartezyen düzlem olarak düşünülmüştür. Parçacıkların oluşumunda, iki adet depolama yerinin koordinatları art arda eklenecektir. Bu noktaları (X_{S1}, Y_{S1}) ve (X_{S2}, Y_{S2}) olarak tanımlarsak, parçacık vektörü [X_{S1} Y_{S1} X_{S2} Y_{S2}] şeklinde oluşacaktır. Algoritma hem x ekseninde (yatay eksen) hem de y ekseninde (dikey eksen) arama yapacaktır. Bulunan optimum çözüm dolu hücrelere denk geliyorsa o parçacık popülasyondan çıkarılarak yeniden bir birey oluşturulmaktadır. Böylelikle dolu hücrelere depolama yapılmasının engellenmesi amaçlanmıştır. Hız vektörlerinin maksimum değerleri raf sistemindeki hücre sayıları ile sınırlandırılarak parçacıkların çözüm uzayı dışına çıkmaması sağlanmıştır. Hücreler arası uzaklıklar algoritmanın içinde hesaplandığında koşma süresinin uzayacağı ön görülmüş ve bütün hücrelerin birbiri arasındaki uzaklıklar önceden hesaplanarak bir tablo oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu kullanılarak uygunluk değerlerinin hesaplamasında hücreler arası uzaklık bu tablodan doğrudan alındığından iterasyonların tamamlanma sürelerinin oldukça düşük olması sağlanmıştır. PSO algoritmasının AS/RS makinesinin yer atama problemine uyarlanması için uygulanan adımlar Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.

6.2. Genetik Algoritmanın Yer Atama Problemine Uygulanması

GA'nın probleme uyarlanması, PSO algoritmasının uygulamasıyla benzerlik göstermektedir. Uygulamayı kısaca özetleyecek olursak; iki adet depolama konumunun belirlenmesi GA uygulamasıyla yapılacaktır. Koordinatların (X_{S1}, Y_{S1}) ve (X_{S2}, Y_{S2}) olduğunu varsayarsak, her bir koordinatın bileşenleri genleri, genlerin art arda eklenmesi de kromozomları oluşturacaktır. Bu durumda [X_{S1} Y_{S1} X_{S1} Y_{S1}] vektörü bir kromozomu temsil etmektedir. İkili kodlu GA uygulamasında çözünürlüğün 14 bit olmasına karar



Şekil 6.1. PSO algoritmasının uygulama adımları

verilmiştir ve bir kromozom 56 bitten oluşacaktır. Popülasyonun rastgele oluşturulmasıyla döngü başlayarak, parametrelerin GA'ya uyarlanması, kromozomların uygunluk değerlerinin hesaplanması, Roulette tekerleği seçimi, çaprazlanacak bireylerin seçimi, çaprazlama, çaprazlama sonucu oluşan bireylerin dolu hücrelere denk gelip gelmediğinin kontrolü, mutasyon, mutasyon sonucu oluşan bireylerin dolu hücrelere denk gelip gelmediğinin kontrolü, durdurma kriterinin sağlanması adımlarını takip ederek tamamlanır. Her bir genetik işlemciden sonra popülasyonu oluşturan bireylerin raf sisteminde dolu hücreye denk gelip gelmediği kontrol edilecektir. Böyle bir çakışma durumunda dolu hücreye denk gelen birey popülasyondan çıkarılacak ve yerine rastgele

uygun bir birey eklenecektir. Hücreler arasındaki mesafeler, PSO algoritmasında olduğu gibi önceden hesaplanıp oluşturulan tablodan alınacağından amaç fonksiyonu bu mesafelerin toplamı olacaktır. Koordinatlar arasındaki mesafenin hipotenüs teoremi ile hesaplanması yerine tablodan alınmasıyla algoritmanın koşma süresi kısaltılmış olacaktır.

Gerçek kodlu GA ile ikili kodlu GA'nın uygulama adımları arasında bazı farklar bulunmaktadır. İkili kodlu GA'nın çaprazlama işleminde 56 bitlik uzunlukta olan kromozomlar rastgele belirlenen bir yerinden koparılarak çaprazlama yapılırken, Haupt'a göre gerçek kodlu GA'da heuristik çaprazlama metoduyla ekstrapolasyon metodunun kombinasyonundan oluşan metot en sık kullanılanıdır (Çunkaş, 2004). Rastgele belirlenen çaprazlama noktasındaki genler, Denklem 6.1 ve Denklem 6.2'de verilen kromozomlardan alınarak yeni nesil genler elde edilmektedir.

$$\text{Kromozom}_1=[X_{S1.1}\ Y_{S1.1}\ X_{S2.1}\ Y_{S2.1}] \quad (6.1)$$

$$\text{Kromozom}_2=[X_{S1.2}\ Y_{S1.2}\ X_{S2.2}\ Y_{S2.2}] \quad (6.2)$$

Yukarıda verilen kromozomların çaprazlama noktasını 3 olarak kabul edecek olursak, yeni nesil genler Denklem 6.3 ve Denklem 6.4 ile hesaplanacaktır.

$$X_{yeni1}= X_{S2.1}-\beta(X_{S2.1-}\ X_{S2.2}) \quad (6.3)$$

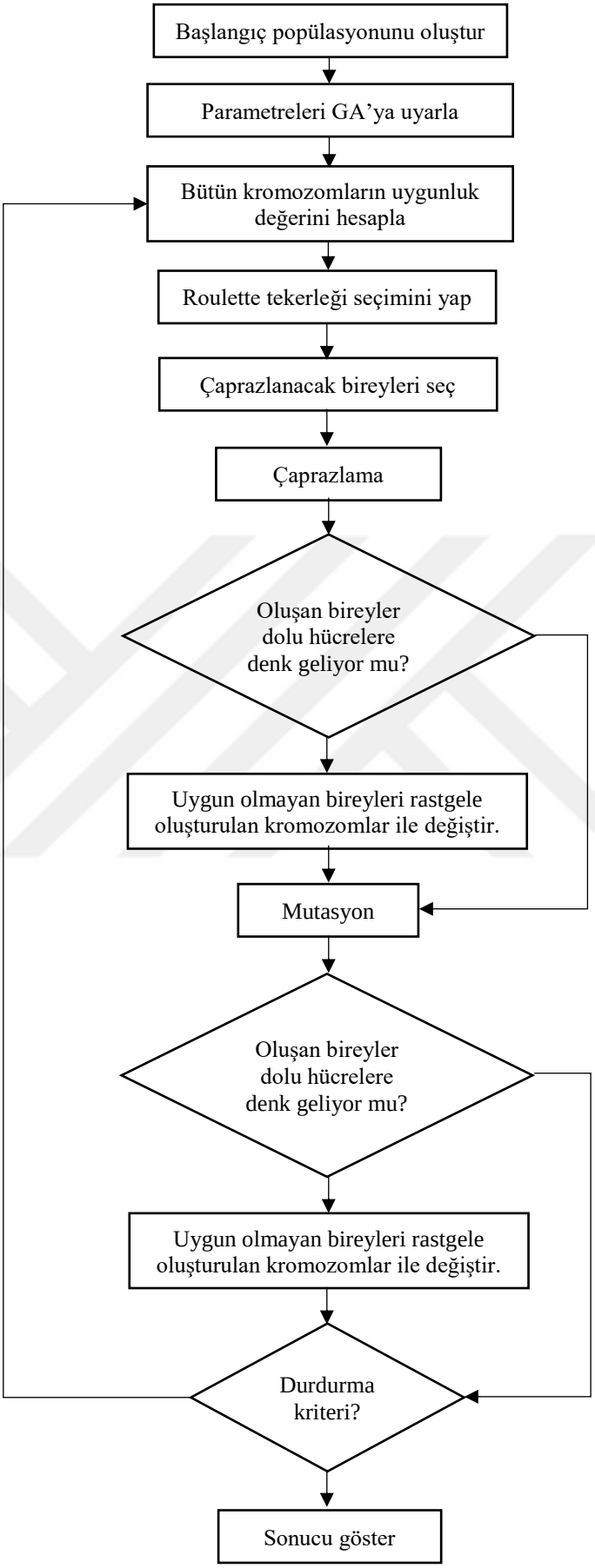
$$X_{yeni2}= X_{S2.2}-\beta(X_{S2.1-}\ X_{S2.2}) \quad (6.4)$$

Üretilen bu yeni nesil genler kromozomda yerlerine konularak çaprazlama işleminin tamamlanması sağlanır. Burada β, 0-1 arasında rastgele üretilen bir sayıdır. Çaprazlama sonucu oluşan yeni nesil bireyler ise Denklem 6.5 ve Denklem 6.6'daki gibi olacaktır.

$$\text{Yeni nesil}_1=[X_{S1.1}\ Y_{S1.1}\ X_{yeni1}\ Y_{S2.1}] \quad (6.5)$$

$$\text{Yeni nesil}_2=[X_{S1.1}\ Y_{S1.1}\ X_{yeni2}\ Y_{S2.1}] \quad (6.6)$$

Mutasyon operatörü ise ikili kodlu GA'da seçilen bitin 0 ise 1, 1 ise 0 olarak değiştirilmesi şeklinde yapılırken, gerçek kodlu GA'da seçilen gen silinmekte, parametre sınırları doğrultusunda rastgele bir sayı üretilerek yerine yazılmaktadır. GA'nın AS/RS makinesinin yer atama problemine uyarlanması için uygulanan adımlar Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Genetik algoritmanın uygulama adımları

6.3. Benzetim Sonuçları

6.3.1. Küçük ölçekli yer atama probleminin sonuçları

Bu bölümde 1000 hücreli sistemin benzetim sonuçları verilmiştir. Her bir algoritma 40 defa çalıştırılarak elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Bölüm 5.4.'te verilen hata kriterleri ve algoritmaların koşma süreleri, algoritmaların performansını kıyaslamak üzere incelenen değerlerdir. PSO algoritması için parametreler; popülasyon sayısı 100, c_1 ve c_2 öğrenme katsayıları 1 ve jenerasyon sayısı 1000 olarak ayarlanmıştır. Küçük ölçekli yer atama probleminin PSO algoritmasıyla çözümüne bir örnek EK-1'de verilmiştir. RGA için; popülasyon sayısı 100, çaprazlama oranı P_c=0.25, mutasyon oranı P_m=0.05 ve jenerasyon sayısı 1000 olarak ayarlanmıştır. Küçük ölçekli yer atama probleminin RGA ile çözümüne bir örnek EK-2'de verilmiştir. BGA'da ise RGA'dan farklı olarak sadece mutasyon oranı P_m=0.01 olarak ayarlanmıştır. Diğer parametrelerde değişiklik yapılmamıştır. Küçük ölçekli yer atama probleminin BGA ile çözümüne bir örnek EK-3'te verilmiştir.

Depodan geri çekilecek yüklerin koordinatları belirli ve sabit olduğundan, gerçek en kısa mesafe, AS/RS makinesinin giriş-çıkış istasyonundan başlayıp, depodan geri çekilecek ürünlerin koordinatlarına uğrayıp, tekrar giriş çıkış istasyonuna dönmesi şeklinde aldığı yolun toplamı olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, optimizasyon işlemi sonucunda depolanacak ürünlere boş hücrelerin atanması, rota üzerinde uğranacak noktaları artırmasına karşın, toplam seyahat mesafesini en az şekilde etkilediği Çizelge 6.1.'e bakıldığında açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.2.'de, küçük ölçekli problemde işlemci sürelerinin karşılaştırılması verilmiştir. Çizelgedeki sonuçlar incelendiğinde, BGA'nın oldukça fazla sürede sonuca ulaştığı görülmektedir. Bunun sebebi BGA'nın ikili kod ile çalışmasıdır. Bütün değerlerin ikili koda dönüştürülmesi ve algoritma adımları arasında hesaplanan sonucun dolu hücreye gelip gelmediğinin kontrolünü yapmak için gerçek koda dönüştürülme süreçleridir. Dolayısıyla işlemci gücü fazla kullanılmakta, aynı zamanda iterasyonları tamamlamak için daha fazla süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 6.5.'te görüldüğü gibi, optimum sonuca en hızlı ulaşan algoritmanın RGA olduğu anlaşılmaktadır. Deponun doluluk oranının artışı ise işlemci sürelerini az da olsa olumsuz olarak etkilemiştir.

Çizelge 6.1. Küçük ölçekli sistem benzetim sonuçlarının hata kriterlerine göre kıyaslanması

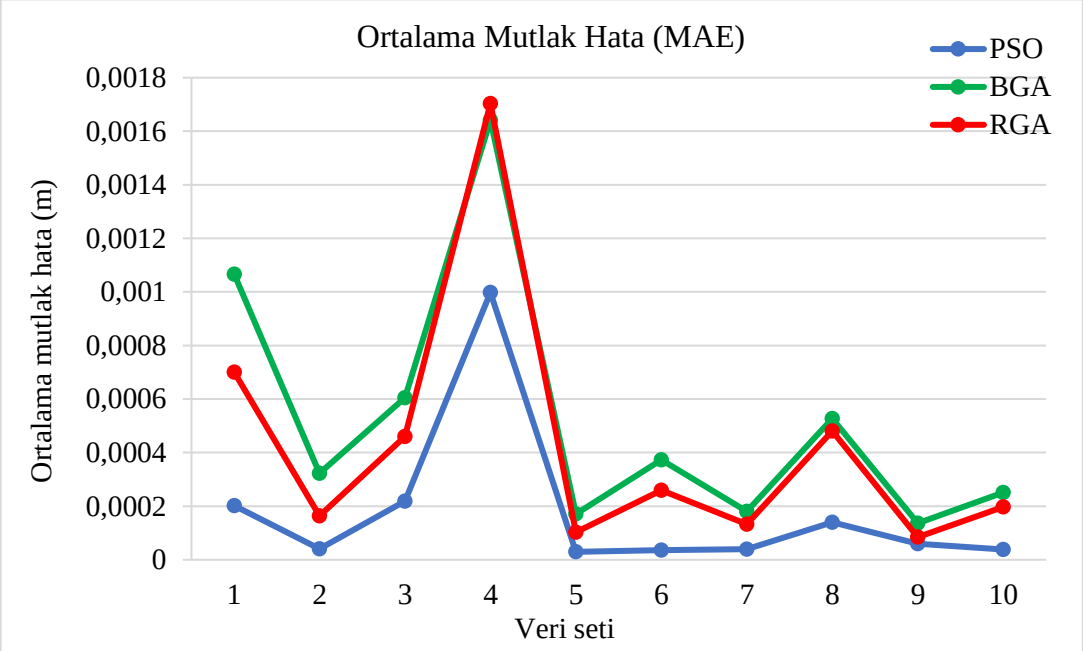
Veri seti	Doluluk	En kısa mesafe (m)	Metot	MAE (m)	MAPE (m)	RMSE (m)
1	30%	123.670273	**PSO**	**0.000201**	**0.000163**	**0.000440**
			RGA	0.000701	0.000566	0.000941
			BGA	0.001051	0.000850	0.001385
2	30%	174.598092	**PSO**	**0.000040**	**0.000023**	**0.000054**
			RGA	0.000163	0.000093	0.000219
			BGA	0.000259	0.000148	0.000354
3	35%	125.596879	**PSO**	**0.000218**	**0.000174**	**0.000244**
			RGA	0.000459	0.000366	0.000530
			BGA	0.000605	0.000481	0.000771
4	35%	110.064475	**PSO**	**0.000997**	**0.000906**	**0.001065**
			RGA	0.001703	0.001547	0.001795
			BGA	0.001642	0.001491	0.001764
5	40%	152.858943	**PSO**	**0.000030**	**0.000019**	**0.000031**
			RGA	0.000103	0.000067	0.000188
			BGA	0.000171	0.000112	0.000286
6	40%	160.480914	**PSO**	**0.000036**	**0.000023**	**0.000068**
			RGA	0.000260	0.000162	0.000392
			BGA	0.000373	0.000233	0.000527
7	45%	189.999108	**PSO**	**0.000040**	**0.000021**	**0.000066**
			RGA	0.000133	0.000070	0.000177
			BGA	0.000181	0.000095	0.000220
8	45%	160.395484	**PSO**	**0.000140**	**0.000087**	**0.000226**
			RGA	0.000480	0.000299	0.000584
			BGA	0.000528	0.000329	0.000635
9	50%	184.398624	**PSO**	**0.000060**	**0.000032**	**0.000077**
			RGA	0.000084	0.000046	0.000110
			BGA	0.000136	0.000074	0.000164
10	50%	166.313125	**PSO**	**0.000038**	**0.000023**	**0.000042**
			RGA	0.000197	0.000119	0.000304
			BGA	0.000251	0.000151	0.000364

Çizelge 6.2. Küçük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının işlemci sürelerine göre kıyaslanması

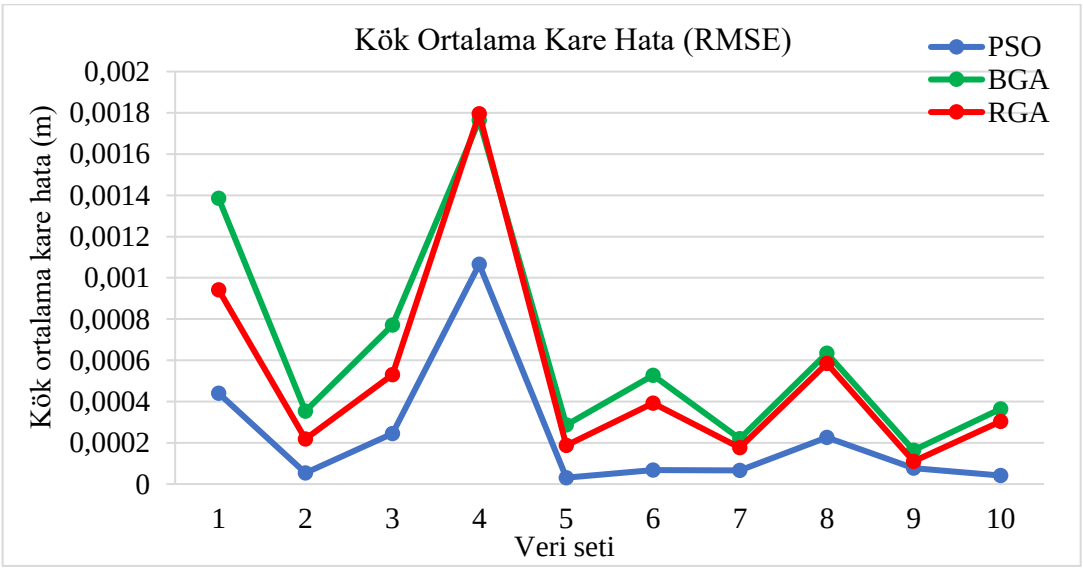
Veri seti / Doluluk oranı	PSO		RGA		BGA	
	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)
1 / 30%	123.670475	1.5402	123.670974	0.7355	123.671339	15.1767
2 / 30%	174.598133	1.4595	174.598256	0.7295	174.598415	14.0430
3 / 35%	125.597097	1.6894	125.597339	0.8013	125.597484	15.5309
4 / 35%	110.065472	1.7193	110.066178	0.8219	110.066116	14.5611
5 / 40%	152.858973	1.8524	152.859046	0.8710	152.859114	14.7020
6 / 40%	160.480950	1.8131	160.481173	0.8733	160.481287	15.0126
7 / 45%	189.999148	2.0284	189.999240	0.9847	189.999289	15.1935
8 / 45%	160.395624	1.8654	160.395965	0.9883	160.396012	15.2829
9 / 50%	184.398683	2.0144	184.398708	1.1492	184.398760	15.5359
10 / 50%	166.313163	2.1004	166.313323	1.0571	166.313376	16.1354

Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'te MAE ve RMSE sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında, bütün veri setlerinde ve tüm hata türlerinde en küçük sapmaların PSO algoritmasında olduğu gözlemlenmiştir. RGA ve BGA yöntemlerinin MAE ve RMSE

değerleri birbirine oldukça yakındır. Yine bu değerler göz önüne alınarak deponun doluluk oranının algoritmaların doğruluk performansını etkilemediği, bazı veri tiplerinde dolu ve boş hücrelerin dağılış şeklinin hataya sebep olabileceği görülmüştür. Örneğin 4. veri setinde diğer sonuçlara göre hatanın daha yüksek çıkmasının nedeni, rota üzerinde yeterince boş hücrenin denk gelmemesidir.

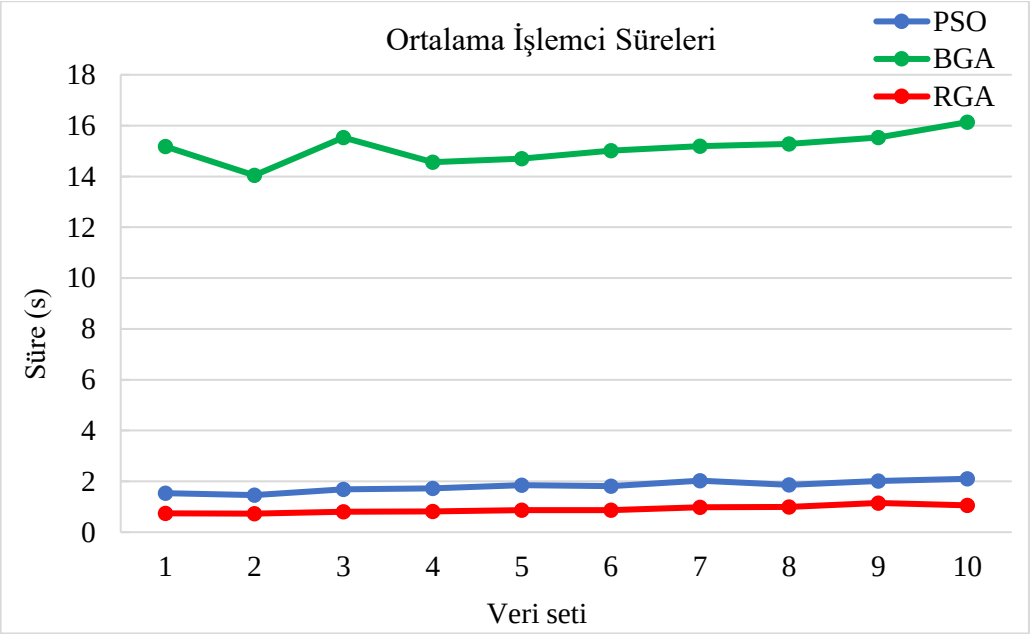


Şekil 6.3. Küçük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre ortalama mutlak hataları (MAE)

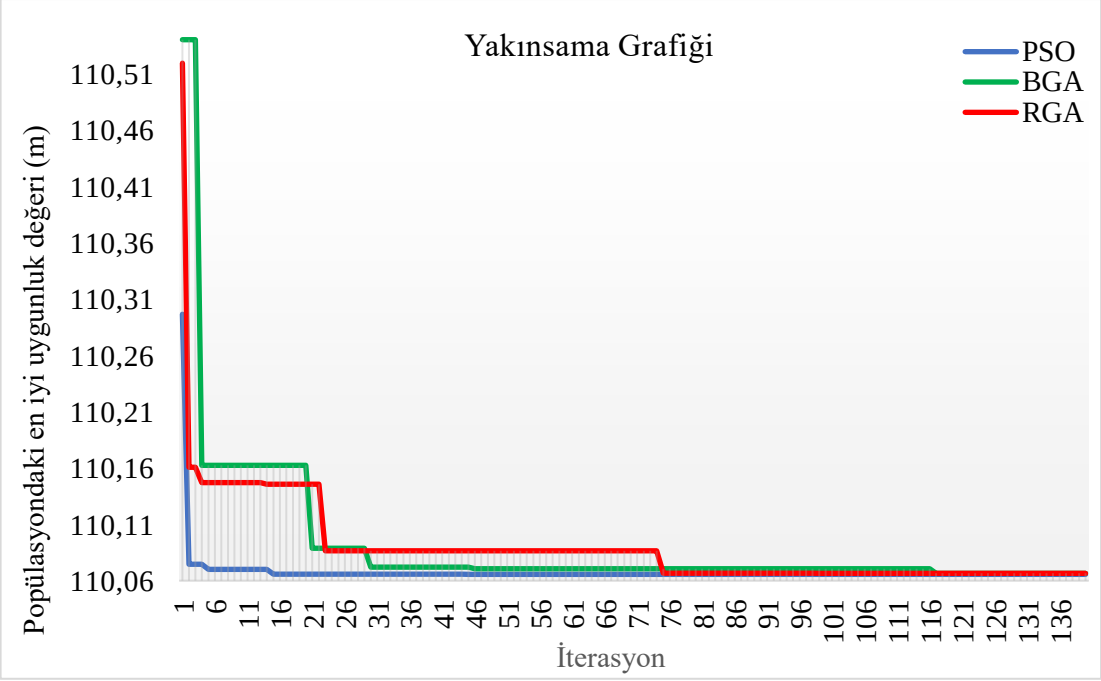


Şekil 6.4. Küçük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre kök ortalama kare hataları

Algoritmaların en iyi sonuca yakınsama hızları ise Şekil 6.6.'da verilmiştir. BGA ve RGA yöntemleri benzer yakınsama karakteristiği gösterirken, PSO algoritması oldukça hızlı bir şekilde en iyi sonuca ulaşmaktadır. Küçük ölçekli sistemde PSO algoritmasının neredeyse 30. iterasyonda en iyi çözüme ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.5. Küçük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre işlemci süreleri



Şekil 6.6. Küçük ölçekli problemde algoritmaların yakınsaması

6.3.2. Büyük ölçekli yer atama probleminin sonuçları

Problem boyutunun algoritma performanslarına etkisini incelemek için büyük ölçekli problem tanımlanmıştır. 30 satır 100 sütundan oluşan 3000 hücreli sistemin benzetim sonuçları verilmiştir. Küçük ölçekli yer atama problemindeki süreçlerin hepsi bire bir olarak büyük ölçekli yer atama problemi için de gerçekleştirilmiştir. Her bir algoritma 40 defa çalıştırılarak elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Algoritmaların performansını kıyaslamak için Bölüm 5.4.'te verilen hata kriterleri ve algoritmaların koşma süreleri incelenmiştir. PSO algoritması için parametreler; popülasyon sayısı 100, c_1 ve c_2 öğrenme katsayıları 1 ve jenerasyon sayısı 1000 olarak ayarlanmıştır. Büyük ölçekli yer atama probleminin PSO algoritması ile çözümüne bir örnek EK-4'te verilmiştir. RGA için; popülasyon sayısı 100, çaprazlama oranı P_c=0.25, mutasyon oranı P_m=0.05 ve jenerasyon sayısı 1000 olarak ayarlanmıştır. Büyük ölçekli yer atama probleminin RGA ile çözümüne bir örnek EK-5'te verilmiştir. BGA'da ise RGA'dan farklı olarak sadece mutasyon oranı P_m=0.01 olarak ayarlanmıştır. Diğer parametrelerde değişiklik yapılmamıştır. Büyük ölçekli yer atama probleminin BGA ile çözümüne bir örnek EK-6'da verilmiştir.

Problemin tanımına göre depodan çekilecek ürünlerin koordinatları önceden belirlenmiş olduğundan, gerçek en kısa mesafe, AS/RS makinesinin giriş-çıkış istasyonundan başlayıp, depodan geri çekilecek ürünlerin koordinatlarına uğrayıp, tekrar giriş-çıkış istasyonuna dönmesi şeklinde aldığı yolun toplamı olarak hesaplanmıştır. Buna göre, algoritmaların depolanacak ürünlere yer atanması problemine bulduğu optimum çözümlerde, rotaya fazladan iki nokta daha eklenmesine rağmen, AS/RS makinesinin toplam seyahat mesafesinin en az şekilde etkilendiği Çizelge 6.3.'teki sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.4.'te, büyük ölçekli yer atama probleminde algoritmaların işlemci süreleri verilmiştir. Çizelgedeki sonuçlara göre, BGA'nın en fazla sürede sonuca ulaştığı görülmektedir. BGA ikili kod ile çalıştığından, değerlerin ikilik tabana dönüştürülmesi ve algoritma adımları arasında oluşturulan çözümlerin dolu hücreler ile çakışmasını kontrol etmek için onluk tabana dönüştürülmesi gibi süreçler işlemci gücünü fazla kullanmaktadır. Bu nedenle, iterasyonların tamamlanması için daha fazla süre gerekmektedir. Şekil 6.9.'da görüldüğü gibi işlemci süresi bakımından performansı en yüksek algoritma RGA'dır. Şekil 6.9'daki grafik incelendiğinde, deponun doluluk oranı arttıkça algoritmaların işlemci sürelerinin de doğrusal olarak arttığı görülmektedir.

Çizelge 6.3. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının hata kriterlerine göre kıyaslanması (Çaprazlama oranı P_c=0.25)

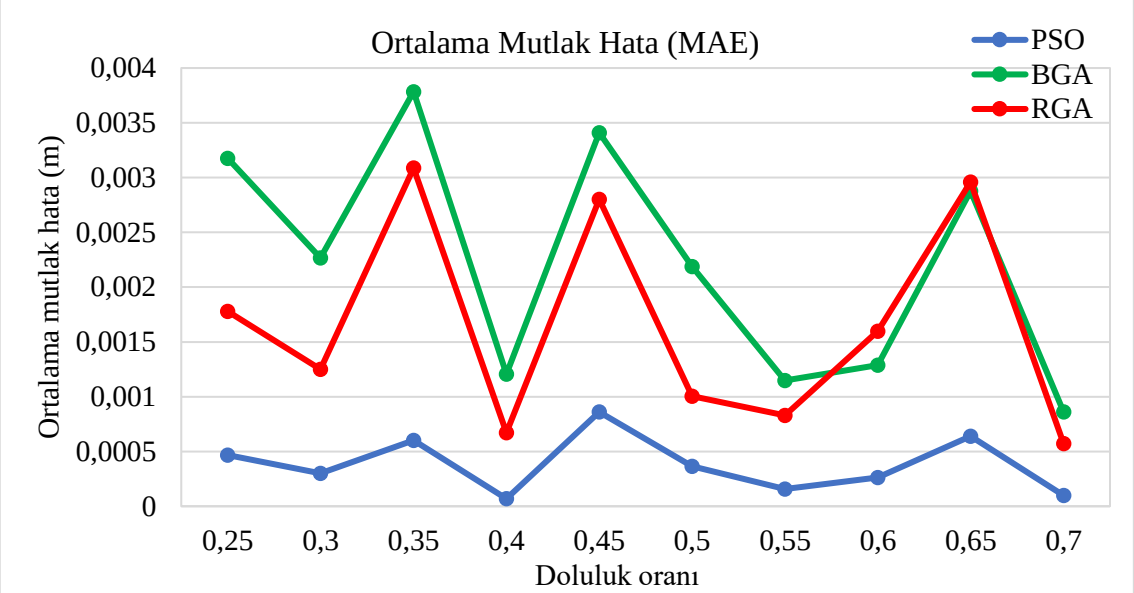
Veri seti	Doluluk	En kısa mesafe (m)	Metot	MAE (m)	MAPE (m)	RMSE (m)
1	25%	133.295971	**PSO**	**0.000467**	**0.000350**	**0.000521**
			RGA	0.001780	0.001335	0.002259
			BGA	0.003177	0.002383	0.004135
2	30%	164.315379	**PSO**	**0.000301**	**0.000183**	**0.000341**
			RGA	0.001250	0.000761	0.001466
			BGA	0.002268	0.001380	0.003353
3	35%	124.129152	**PSO**	**0.000603**	**0.000486**	**0.000680**
			RGA	0.003087	0.002487	0.004461
			BGA	0.003785	0.003049	0.005079
4	40%	191.645420	**PSO**	**0.000069**	**0.000036**	**0.000107**
			RGA	0.000672	0.000351	0.001026
			BGA	0.001208	0.000630	0.001834
5	45%	126.159671	**PSO**	**0.000861**	**0.000682**	**0.001576**
			RGA	0.002803	0.002222	0.004057
			BGA	0.003410	0.002703	0.004431
6	50%	189.501398	**PSO**	**0.000364**	**0.000192**	**0.000507**
			RGA	0.001005	0.000531	0.001631
			BGA	0.002188	0.001154	0.002535
7	55%	172.210972	**PSO**	**0.000158**	**0.000092**	**0.000262**
			RGA	0.000829	0.000481	0.001222
			BGA	0.001147	0.000666	0.001722
8	60%	160.921049	**PSO**	**0.000263**	**0.000163**	**0.000339**
			RGA	0.001598	0.000993	0.002384
			BGA	0.001288	0.000801	0.001997
9	65%	156.215920	**PSO**	**0.000639**	**0.000409**	**0.001029**
			RGA	0.002959	0.001894	0.004483
			BGA	0.002877	0.001842	0.005024
10	70%	176.829758	**PSO**	**0.000100**	**0.000056**	**0.000118**
			RGA	0.000573	0.000324	0.000974
			BGA	0.000862	0.000488	0.001383

Çizelge 6.4. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının işlemci sürelerine göre kıyaslanması (Çaprazlama oranı P_c=0.25)

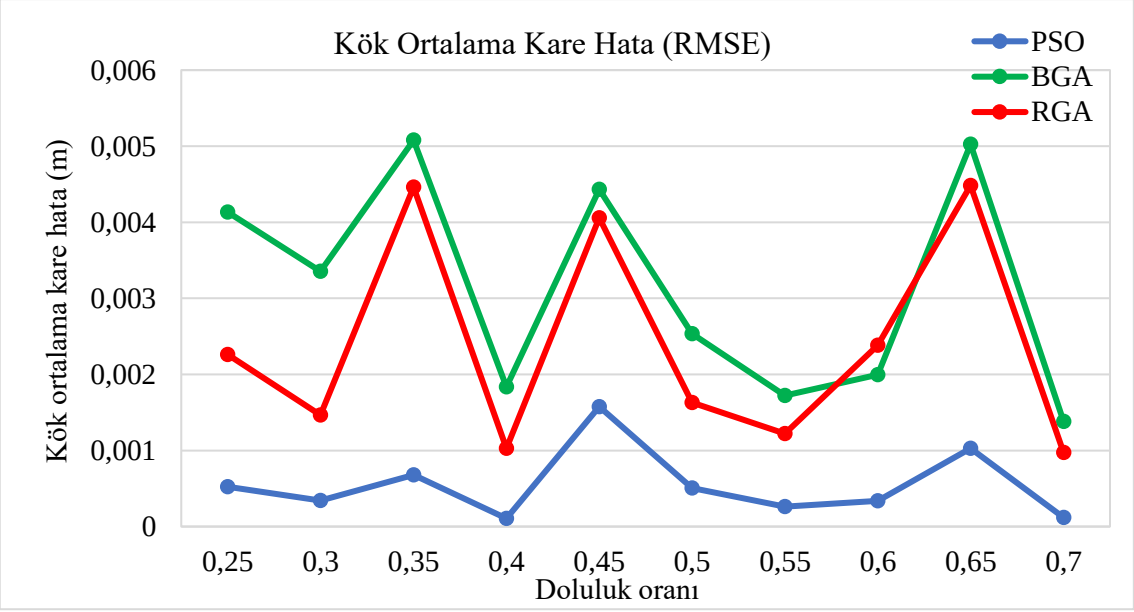
Veri seti / Doluluk oranı	PSO		RGA		BGA	
	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)
1 / 25%	133.296438	2.6193	133.297751	1.3590	133.299148	15.9670
2 / 30%	164.315680	3.0716	164.316629	1.5946	164.317647	15.6179
3 / 35%	124.129755	3.4261	124.132239	1.8162	124.132937	16.9013
4 / 40%	191.645489	3.9022	191.646093	2.0567	191.646628	16.1570
5 / 45%	126.160532	4.3514	126.162474	2.3459	126.163081	17.8314
6 / 50%	189.501761	4.6748	189.502403	2.5158	189.503586	18.0527
7 / 55%	172.211130	5.1338	172.211801	2.7209	172.212119	18.4953
8 / 60%	160.921312	5.3490	160.922647	2.9781	160.922337	17.9891
9 / 65%	156.216559	5.7329	156.218879	3.2245	156.218797	18.5815
10 / 70%	176.829858	6.1098	176.830332	3.4415	176.830621	18.6148

MAE ve RMSE sonuçları Şekil 6.7. ve Şekil 6.8.'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, PSO algoritması doluluk oranlarından bağımsız olarak, tüm hata türlerinde en küçük

değerlere sahiptir. RGA ve BGA yöntemlerinin MAE ve RMSE değerleri birbirine yakındır. Deponun doluluk oranındaki değişim ile hata değerleri arasında bir ilişki olmadığı görülmektedir. Farklı doluluk oranındaki bazı verilerde dolu ve boş hücrelerin dağılımı, hatanın yüksek değerde olduğunu göstermiştir. Örnek olarak %35 doluluk oranı olan veride diğer sonuçlara göre MAE ve RMSE'nin daha yüksek çıkmasının nedeni, gerçek en kısa rota üzerinde yeterince boş hücrenin olmamasıdır.



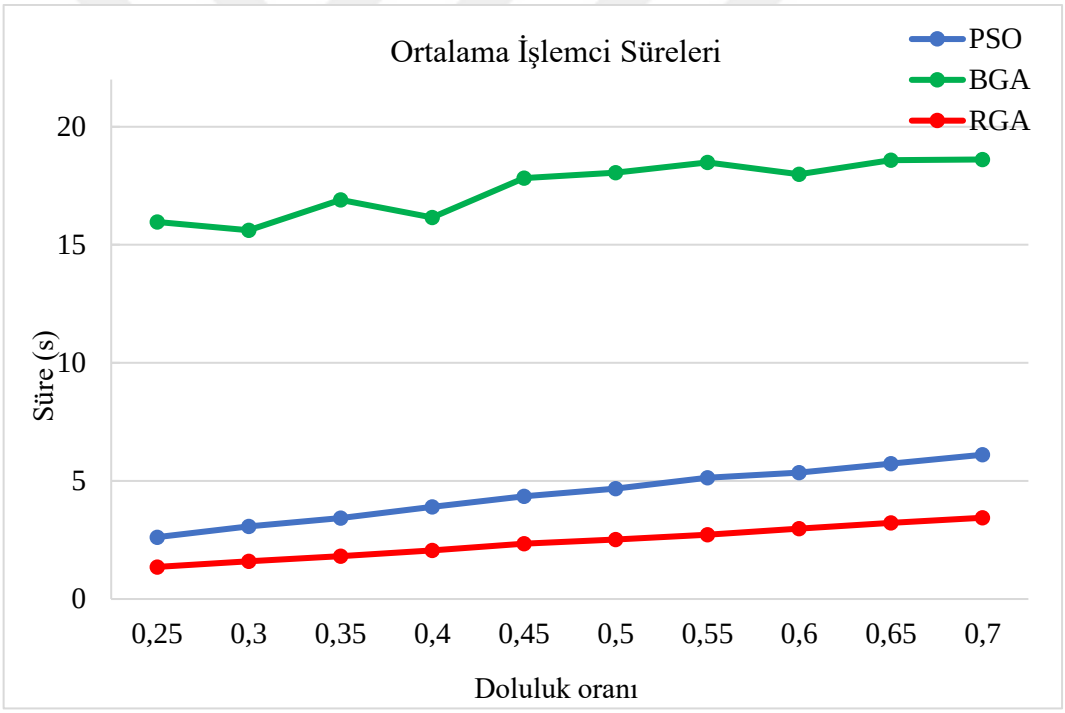
Şekil 6.7. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre ortalama mutlak hataları (Çaprazlama oranı P_c=0.25)



Şekil 6.8. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre kök ortalama kare hataları (Çaprazlama oranı P_c=0.25)

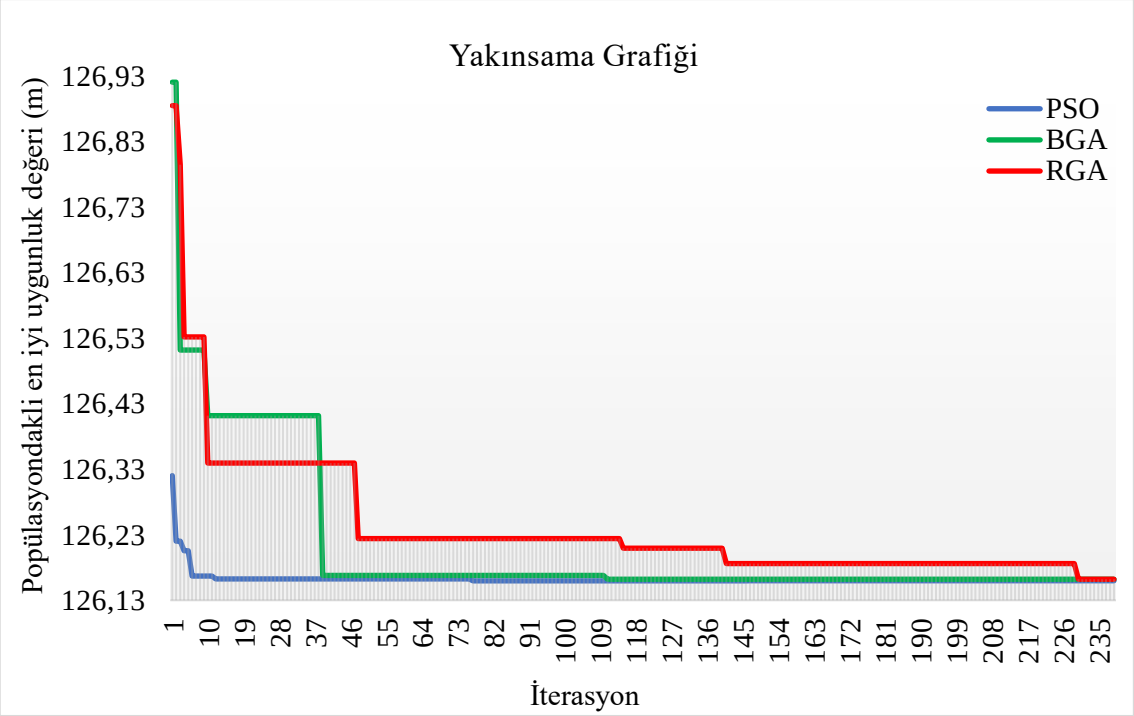
Algoritmaların en iyi sonuca yakınsama hızları ise Şekil 6.10.'da görülmektedir. BGA ve RGA yöntemleri benzer yakınsama davranışı gösterirken, PSO algoritması sonuca daha hızlı ulaşmaktadır. Büyük ölçekli sistemde PSO algoritmasının yaklaşık 70-80. iterasyonda en iyi çözüme ulaştığı gözlemlenmiştir.

Küçük ve büyük ölçekli sistemlerin sonuçları kıyaslandığında, problem boyutunun artması, algoritmaların en iyi sonuçlara ulaşmaları için gereken sürelerin artmasına sebep olmuştur. Bunun yanında küçük ölçekli sistemde deponun doluluk oranı işlemci süresini etkilemezken, büyük ölçekli sistemde doluluk oranı arttıkça algoritmaların sonuca ulaşma sürelerinde lineer bir artış gözlemlenmiştir. Problem boyutunun artması algoritmaların doğruluk performansını olumsuz olarak etkilemiştir. Hata oranları çok küçük olarak hesaplanmasına karşın büyük ölçekli sistem, küçük ölçekli sisteme nispeten daha yüksek hata değerlerine sahiptir.



Şekil 6.9. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre işlemci süreleri (Çaprazlama oranı P_c=0.25)

İki farklı problem boyutunda koşan algoritmalar yakınsamalarına göre karşılaştırıldığında, çözüm uzayı daha geniş olan büyük boyutlu sistem en iyi çözüme daha geç ulaşmaktadır. Şekil 6.6. ve Şekil 6.10.'daki yakınsama grafikleri incelendiğinde tüm algoritmaların küçük ölçekli sistemde en iyi çözüme daha az sayıda iterasyonla ulaştığı görülmüştür.



Şekil 6.10. Büyük ölçekli problemde algoritmaların yakınsaması (Çaprazlama oranı P_c=0.25)

Çaprazlama oranının, RGA ve BGA performanslarına etkisini incelemek için P_c=0.8 olarak ayarlanıp, benzetimler tekrar edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5.'te verilmiştir. MAE ve RMSE değerlerine bakıldığında RGA ve BGA performanslarının P_c=0.25'e göre iyileştiği görülmektedir. Ancak Şekil 6.11. ve Şekil 6.12.'de görüldüğü gibi en küçük hata değerleri yine de PSO algoritmasındadır.

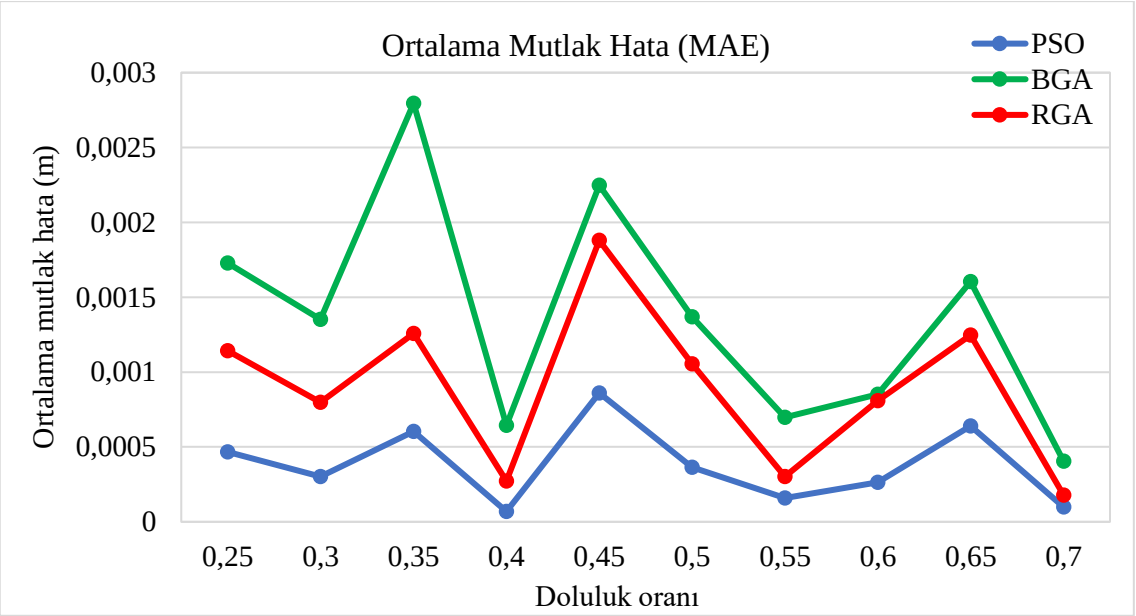
Çizelge 6.6.'da büyük ölçekli yer atama probleminde P_c=0.8 için algoritmaların işlemci süreleri verilmiştir. Çizelgedeki sonuçlara göre BGA'nın en uzun sürede sonuca ulaşan algoritma olduğu görülmektedir. Çaprazlama oranının P_c=0.8 olarak değiştirilmesi RGA'nın ve BGA'nın işlemci sürelerini artırmaktadır. Her iki algoritmanın ortalama işlemci süreleri yaklaşık %25 oranında artmıştır. Popülasyonda bulunan bireylerin %80'i çaprazlamaya katıldığından iterasyonların tamamlanması için daha fazla süre gerekmektedir. Şekil 6.13.'te görüldüğü gibi işlemci süresi bakımından performansı en yüksek algoritma yine RGA olmuştur. Ayrıca, deponun doluluk oranı arttıkça algoritmaların işlemci sürelerinin de doğrusal olarak arttığı görülmektedir.

Çizelge 6.5. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının hata kriterlerine göre kıyaslanması (Çaprazlama oranı P_c=0.8)

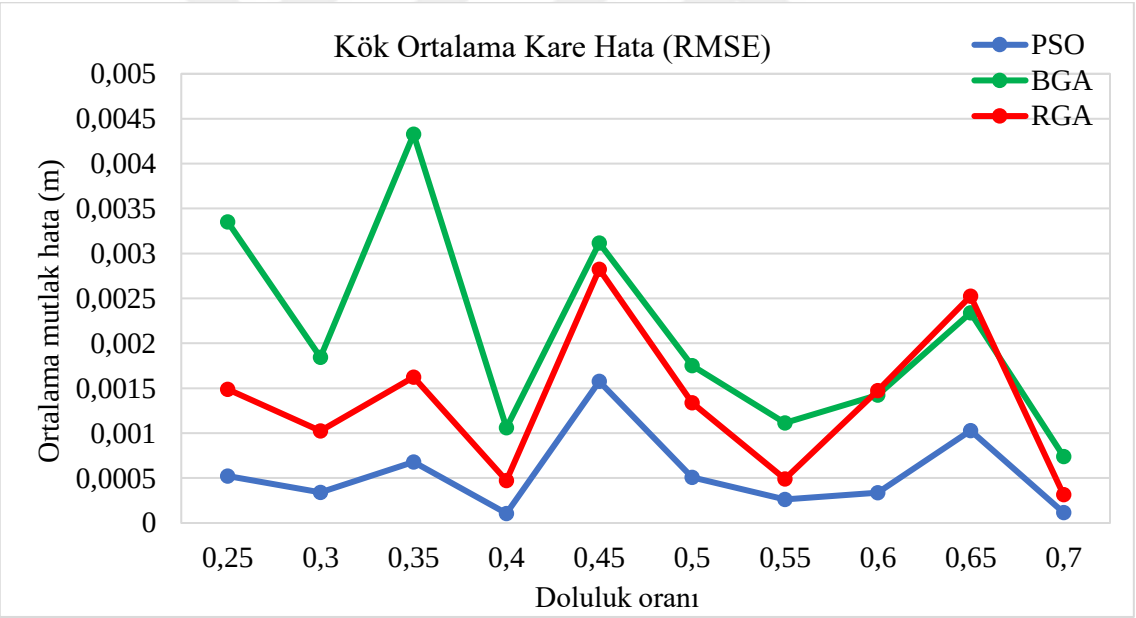
Veri seti	Doluluk	En kısa mesafe (m)	Metot	MAE (m)	MAPE (m)	RMSE (m)
1	25%	133.295971	**PSO**	**0.000467**	**0.000350**	**0.000521**
			RGA	0.001142	0.000856	0.001487
			BGA	0.001729	0.001297	0.003351
2	30%	164.315379	**PSO**	**0.000301**	**0.000183**	**0.000341**
			RGA	0.000797	0.000485	0.001026
			BGA	0.001352	0.000823	0.001846
3	35%	124.129152	**PSO**	**0.000603**	**0.000486**	**0.000680**
			RGA	0.001257	0.001012	0.001623
			BGA	0.002795	0.002251	0.004326
4	40%	191.645420	**PSO**	**0.000069**	**0.000036**	**0.000107**
			RGA	0.000273	0.000142	0.000473
			BGA	0.000644	0.000336	0.001060
5	45%	126.159671	**PSO**	**0.000861**	**0.000682**	**0.001576**
			RGA	0.001879	0.001489	0.002824
			BGA	0.002246	0.001781	0.003115
6	50%	189.501398	**PSO**	**0.000364**	**0.000192**	**0.000507**
			RGA	0.001055	0.000556	0.001337
			BGA	0.001368	0.000722	0.001753
7	55%	172.210972	**PSO**	**0.000158**	**0.000092**	**0.000262**
			RGA	0.000301	0.000175	0.000490
			BGA	0.000696	0.000404	0.001114
8	60%	160.921049	**PSO**	**0.000263**	**0.000163**	**0.000339**
			RGA	0.000808	0.000502	0.001474
			BGA	0.000851	0.000529	0.001424
9	65%	156.215920	**PSO**	**0.000639**	**0.000409**	**0.001029**
			RGA	0.001246	0.000798	0.002526
			BGA	0.001605	0.001027	0.002338
10	70%	176.829758	**PSO**	**0.000100**	**0.000056**	**0.000118**
			RGA	0.000178	0.000101	0.000314
			BGA	0.000405	0.000229	0.000741

Çizelge 6.6. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarının işlemci sürelerine göre kıyaslanması (Çaprazlama oranı P_c=0.8)

Veri seti / Doluluk oranı	PSO		RGA		BGA	
	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)	Ortalama mesafe (m)	İşlemci süresi (s)
1 / 25%	133.296438	2.6193	133.297113	1.8193	133.297700	17.7322
2 / 30%	164.315680	3.0716	164.316176	2.1252	164.316731	17.6104
3 / 35%	124.129755	3.4261	124.132239	2.4428	124.131947	18.5620
4 / 40%	191.645489	3.9022	191.645694	2.7946	191.646065	21.7846
5 / 45%	126.160532	4.3514	126.161551	3.1678	126.161918	20.8371
6 / 50%	189.501761	4.6748	189.502453	3.5524	189.502766	23.6667
7 / 55%	172.211130	5.1338	172.211274	4.0471	172.211668	23.0810
8 / 60%	160.921312	5.3490	160.921858	4.1040	160.921900	24.4444
9 / 65%	156.216559	5.7329	156.217167	4.2087	156.217525	24.1651
10 / 70%	176.829858	6.1098	176.829937	4.5779	176.830164	24.2935

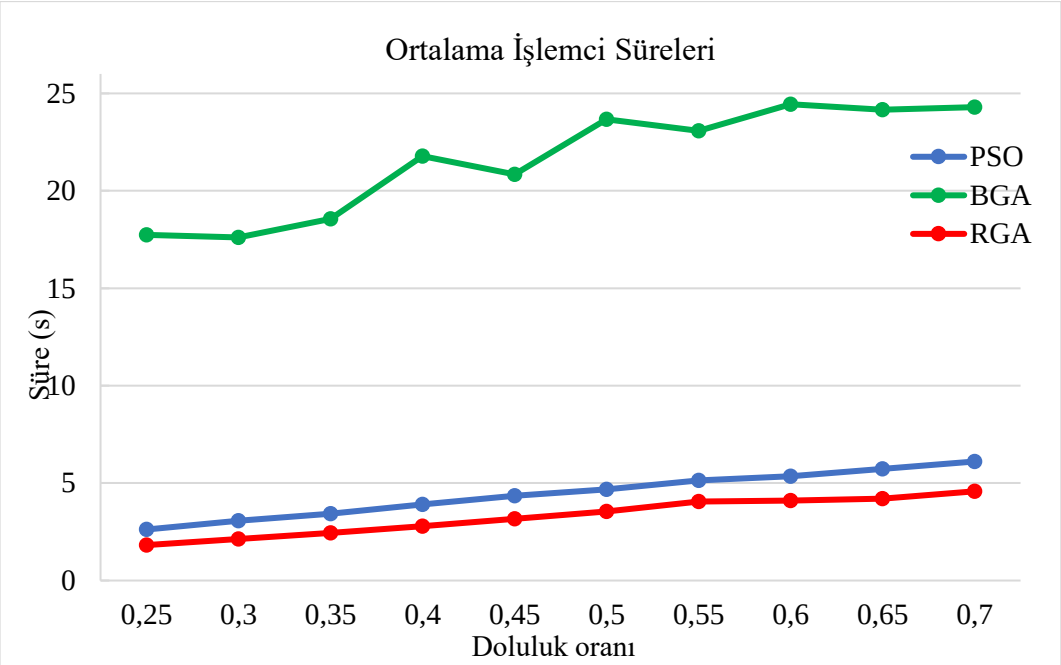


Şekil 6.11. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre ortalama mutlak hataları (Çaprazlama oranı P_c=0.8)

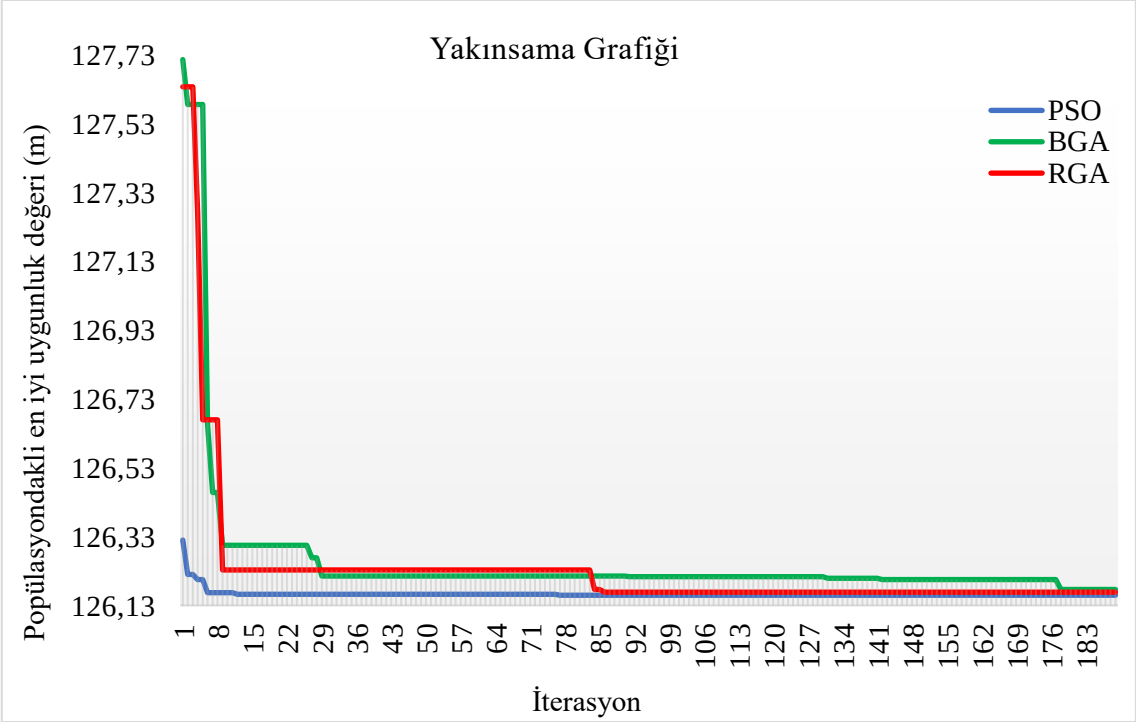


Şekil 6.12. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre kök ortalama kare hataları (Çaprazlama oranı P_c=0.8)

Algoritmaların P_c=0.8 için en iyi sonuca yakınsama hızları ise Şekil 6.14.'te görülmektedir. RGA ve BGA yöntemlerinin yakınsama davranışları benzerlik gösterirken, PSO algoritması sonuca daha hızlı ulaşmaktadır. Büyük ölçekli yer atama probleminde P_c=0.8 için RGA'nın ve BGA'nın, P_c=0.25'e göre en iyi sonuca daha hızlı yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 6.13. Büyük ölçekli sistemin benzetim sonuçlarına göre işlemci süreleri (Çaprazlama oranı P_c=0.8)



Şekil 6.14. Büyük ölçekli problemde algoritmaların yakınsaması (Çaprazlama oranı P_c=0.8)

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Lojistik sektöründe yapılacak teknolojik yatırımların sistem performansını önemli ölçüde artırması beklenmektedir. AS/RS sistemleri depoların aralıksız ve yüksek hızda çalışmasını sağlayacağından mekanik tasarım kadar kontrol politikalarına ve planlamalarına da önem verilmelidir. Bir vinç üzerindeki mekik sayısının artırılması tek seferde daha fazla yük taşınmasına olanak sağlarken diğer yandan rota belirleme problemine yol açtığından, hücre sayısı fazla olan raf sistemlerinde en iyi rota seçeneğine analitik yöntemler yerine sezgisel yaklaşımlarla ulaşmak hem zaman hem işlem gücünden tasarruf sağlamak açısından tercih edilebilir.

Bu tez çalışmasında, AS/RS'lerin işletilmesinde sıklıkla karşılaşılan yer atama probleminin optimizasyonu PSO algoritması, RGA ve BGA kullanılarak yapılmıştır. Yaygın olarak kullanılan AS/RS tipi olan birim yük taşıyan, ikili mekik sistemine sahip, tek vinçli ve sabit koridorlu bir AS/RS modellenerek algoritmalar bunun üzerinde koşturulmuştur. İki farklı boyutta sistem ele alınarak yöntemlerin daha karmaşık problemler karşısında davranışı incelenmiş ve istatistiksel metotlar kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. Algoritmaların performansının deponun doluluk oranıyla ilişkili olmadığı, ayrıca problem boyutu büyüdükçe hataların az da olsa arttığı görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda PSO algoritmasının, küçük ölçekli ve büyük ölçekli problemlerde bulunan 10'ar farklı veri seti için en düşük hata değerlerini sağlayarak doğruluk açısından en başarılı algoritma olduğu görülmüştür. Ayrıca, her iki ölçekteki problemde bulunan 10'ar farklı veri seti için en kısa işlemci süresine ihtiyaç duyan yöntem RGA olmuştur. Büyük ölçekli yer atama probleminde çaprazlama oranı P_c'nin, RGA ve BGA üzerindeki etkisi incelenmiştir. İlk durumda P_c=0.25 iken benzetim sonuçları elde edilmiş, daha sonra P_c=0.8 olarak ayarlanıp benzetimler tekrar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çaprazlama oranının artışı RGA ve BGA performanslarında olumlu bir artış meydana getirmiştir. Ancak PSO algoritmasının performansını yakalayamamışlardır. Ayrıca çaprazlanan bireylerin sayısı arttığından, işlemci sürelerinin arttığı görülmüştür. Modellenen sistemde en az hata dikkate alınırsa, yer atama problemi için en uygun algoritmanın PSO olduğu görülmektedir. Ancak, en kısa süre dikkate alındığında RGA daha başarılıdır. Birim yük taşıyan, tek vinçli, ikili

mekik sistemine sahip, sabit koridorlu AS/RS tasarımı yapan firmaların, bu çalışmada elde edilen iyileştirmeleri sistemlerine uygulamaları halinde, AS/RS makinesinin seyahat süresini optimize etmeleri mümkün olacaktır.

7.2. Öneriler

Bundan sonraki çalışmalarda, depolanacak ürünlere yer atama problemi ile birlikte sipariş programlama problemi de ele alınabilir. Böylelikle, AS/RS'ler için rota optimizasyonu problemi bir bütün olarak çözüme kavuşturulabilir. AS/RS'lerde bulunan mekik sayısı artırılarak tek seferde daha fazla ürün taşınabilir. Depolanacak ürünlerin öncelik faktörü ya da kullanım sıklığı bilinirse, depo alanı bölgelere ayrılarak, daha sık kullanılan ürünleri daha kısa sürede getirebilmek için yakın bölgeye depolama seçeneği sunulabilir.

KAYNAKLAR

Anonim, 2019, Makine Öğrenmesi, https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir/: [Nisan 2019].

AtaRaf, 2018, Yüksek İrtifa Dar Koridor Raf Sistemleri, https://ataraf.com/depo-raf-sistemi/agir-yuk-depo-raf-sistemleri/yuksek-irtifa-dar-koridor/: [Ağustos 2018].

Atmaca, E. ve Ozturk, A., 2013, Defining order picking policy: A storage assignment model and a simulated annealing solution in AS/RS systems, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (7), 5069-5079.

Atmaca, E. ve Öztürk, A., 2014, Literatür Araştırması: Sipariş Toplama Politikaları ve Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (AS/RS), *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (2), 120-134.

Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A. ve Sgarbossa, F., 2011, Innovative travel time model for dual-shuttle automated storage/retrieval systems, *Computers & Industrial Engineering*, 61 (3), 600-607.

Baker, B. M. ve Ayechew, M., 2003, A genetic algorithm for the vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, 30 (5), 787-800.

Beroule, B., Grunder, O., Barakat, O. ve Aujoulat, O., 2017, Order Picking Problem in a Warehouse Hospital Pharmacy, *IFAC PapersOnLine*, 50 (1), 5017-5022.

Boysen, N. ve Stephan, K., 2016, A survey on single crane scheduling in automated storage/retrieval systems, *European Journal of Operational Research*, 254 (3), 691-704.

Brezovnik, S., Gotlih, J., Balič, J., Gotlih, K. ve Brezočnik, M., 2015, Optimization of an Automated Storage and Retrieval Systems by Swarm Intelligence, *Procedia Engineering*, 100, 1309-1318.

Chiang, D. M.-H., Lin, C.-P. ve Chen, M.-C., 2011, The adaptive approach for storage assignment by mining data of warehouse management system for distribution centres, *Enterprise Information Systems*, 5 (2), 219-234.

Chow, H., Choy, K., Lee, W. ve Lau, K., 2006, Design of a RFID case-based resource management system for warehouse operations, *Expert Systems with Applications*, 30 (4), 561-576.

Çancı, M. ve Erdal, M., 2009, Lojistik Yönetimi, *İstanbul*, UTİKAD Yayınları, p. 31.

Çunkaş, M. ve Akkaya, R., 2002, Comparison of binary and real coded genetic algorithms, *SU Journal of Engineering Architecture Faculty*, 11-17.

Çunkaş, M., 2004, Elektrik motorlarında genetik algoritma ile tasarım optimizasyonu, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya, 11-40.

Daifuku, 2010, Synchronized ASRS, https://www.daifuku.com/solution/storage/: [Temmuz 2017].

Dalgıç, A., 2017, Stokların Etkin Yönetilmesinde RFID Temelli Bir Yaklaşım ve Gruplama Algoritması ile FNSS'de Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi*, Kırıkkale, 27.

De Santis, R., Montanari, R., Vignali, G. ve Bottani, E., 2018, An adapted ant colony optimization algorithm for the minimization of the travel distance of pickers in manual warehouses, *European Journal of Operational Research*, 267 (1), 120-137.

Ferrotto, 2017, Magazzini Automatici Miniload, https://www.ferrettogroup.com/index.cfm/it/soluzioni/magazzini-automatici-trasloelevatore/magazzini-automatici-multiprofondita/: [Mayıs 2019].

Hachemi, K., Sari, Z. ve 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.

Hassan, R., Cohanim, B., De Weck, O. ve Venter, G., 2005, A comparison of particle swarm optimization and the genetic algorithm, *46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference*, 1897.

Hopbaoğlu, F., 2009, Tedarik Zincirinde ve Lojistik Süreçlerde Depo Tasarımı ve Depo Yönetimi: Kozmetik Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 140-155.

Hu, Y. H., Zhu, Z. D. ve Hsu, W.-J., 2010, Load shuffling algorithms for split-platform AS/RS, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26 (6), 677-685.

Kantarcı, Ö., Özalp, M., Sezginsoy, C., Özaşkınlı, O. ve Kavlak, C., 2017, DİJİTALLEŞEN DÜNYADA EKONOMİNİN İTİCİ GÜCÜ: E-TİCARET, *İstanbul*.

Kennedy, J. ve Eberhart, R., 1995, Particle swarm optimization (PSO), *Proc. IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia*, 1942-1948.

Kennedy, J., 2010, Particle swarm optimization, *Encyclopedia of machine learning*, 760-766.

Kouloughli, S. ve Sari, Z., 2015, Multi-aisle AS/RS dimensions optimization for cycle time minimization, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79 (1-4), 675-692.

Kung, Y., Kobayashi, Y., Higashi, T., Sugi, M. ve Ota, J., 2013, Order scheduling of multiple stacker cranes on common rails in an automated storage/retrieval system, *International Journal of Production Research*, 52 (4), 1171-1187.

Lerher, T., Potrč, I., Šraml, M. ve Tollazzi, T., 2010, Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine, *European Journal of Operational Research*, 205 (3), 571-583.

Lu, W., McFarlane, D., Giannikas, V. ve Zhang, Q., 2016, An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations, *European Journal of Operational Research*, 248 (1), 107-122.

Mahalakshmi ve Murugesan, R., 2018, Mathematical Optimization Algorithm for Minimizing the Cost Function of GHG Emission in AS/RS Using Positive Selection Based Clonal Selection Principle, *Journal of Physics: Conference Series*, 1000.

Mecalux, 2019, Tam Otomatik Kutulu/Kolili Ürün İstifleme Araçları, https://mecaluxtr.cdnwm.com/kutular-icin-otomatik-depolar/kutu-istifleyiciler/img1.1.2.jpg?imageThumbnail=3: [Mayıs 2019].

Nia, A. R., Haleh, H. ve Saghaei, A., 2017, Dual command cycle dynamic sequencing method to consider GHG efficiency in unit-load multiple-rack automated storage and retrieval systems, *Computers & Industrial Engineering*, 111, 89-108.

Ofluoğlu, M. ve Özen, T., 2003, Türkiye'den bir 3PL uygulaması, *International Logistics Congress*, İstanbul, 81.

Orhan, O. Z., 2003, Dünyada ve Türkiye'de lojistik sektörünün gelişimi, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, p. 35.

Özsağlam, M. Y. ve Çunkaş, M., 2008, Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçaçık sürü optimizasyonu algoritması, *Politeknik Dergisi*, 11 (4), 299-305.

Öztürk, A., 2011, Etkin depo yönetimi ve lojistik depoların etkin depo stratejileri üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi*, İstanbul, 4-38.

Poli, R., Kennedy, J. ve Blackwell, T., 2007, Particle swarm optimization, *Swarm intelligence*, 1 (1), 33-57.

Popović, D., Vidović, M. ve Bjelić, N., 2012, Application of genetic algorithms for sequencing of AS/RS with a triple-shuttle module in class-based storage, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26 (3), 432-453.

Rajkovic, M., Zrnic, N., Kosanic, N., Borovinsek, M. ve Lerher, T., 2017, A multi-objective optimization model for minimizing cost, travel time and Co2 emission in an AS/RS, *FME Transaction*, 45 (4), 620-629.

RITM, 2015, AS/RS Storage System, http://ritmindustry.com/manufacturer/knapp/: [Ağustos 2018].

Roodbergen, K. J. ve Vis, I. F. A., 2009, A survey of literature on automated storage and retrieval systems, *European Journal of Operational Research*, 194 (2), 343-362.

Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G.-J., Mantel, R. ve Zijm, W. H., 2000, Warehouse design and control: Framework and literature review, *European Journal of Operational Research*, 122 (3), 515-533.

Smith, J. D., 1998, The warehouse management handbook, Tompkins press, p.

Tanyaş, M., 2007, Tedarik Zinciri Yönetimi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Lojistik Zirvesi*, İstanbul.

Taylor'd, 2008, SR/F Aisle Transfer Cart, http://www.asrs.net/asrs_srf_transfer_cart.php: [Ağustos 2018].

Temesist, 2017, Drive-in (İçine Girilebilir) raf sistemi, https://temesist.com/raf-sistemlerinin-mimari/: [Ağustos 2018].

Tezcan, I., 2007, Sektörel lojistik yönetimi sistemlerinde depo tasarım metodolojisi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 66-73.

ÜçgeDRS, 2009, Hareketli Raf Sistemi, http://www.deporaf.com.tr/hareketli-raf-sistemi.html: [Ağustos 2018].

ÜçgeDRS, 2018, Ceva Lojistik, http://www.ucgedrs.com/ceva-lojistik: [Ağustos 2018].

Ülengin, F. ve Karadağ, F., 2005, Türkiye'deki 3PL lojistik hizmet sağlayıcılara genel bakış, *Lojistik Dergisi*, 2 (5), 39.

Wauters, T., Villa, F., Christiaens, J., Alvarez-Valdes, R. ve Vanden Berghe, G., 2016, A decomposition approach to dual shuttle automated storage and retrieval systems, *Computers & Industrial Engineering*, 101, 325-337.

Yang, P., Miao, L., Xue, Z. ve Ye, B., 2015, Variable neighborhood search heuristic for storage location assignment and storage/retrieval scheduling under shared storage in multi-shuttle automated storage/retrieval systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, 164-177.

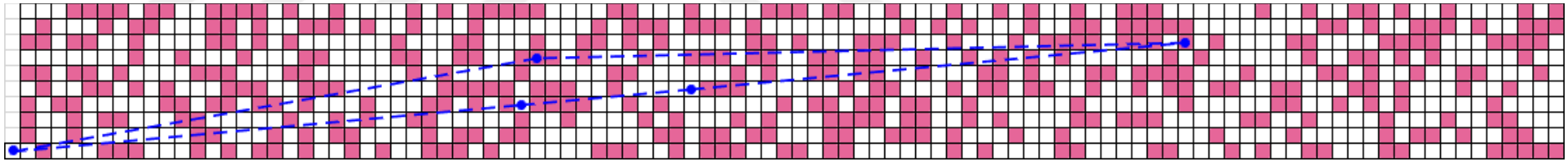
Yıldıztekin, A., 2004, Dünü ve Geleceği ile Lojistik, *Lojistik Dergisi* (1), 20-24.

Yılmaz, O., 2011, Otomatik depolama ve çekme sistemlerinin çok kriterli karar verme yöntemleriyle seçimi ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 24.

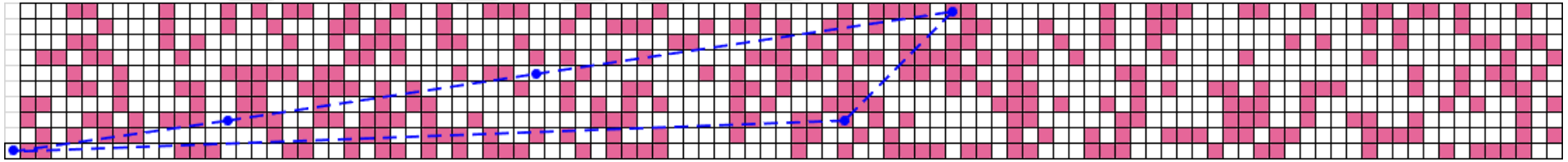
Zhi, X.-H., Xing, X., Wang, Q., Zhang, L., Yang, X., Zhou, C. ve Liang, Y., 2004, A discrete PSO method for generalized TSP problem, *Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No. 04EX826)*, 2378-2383.

EKLER

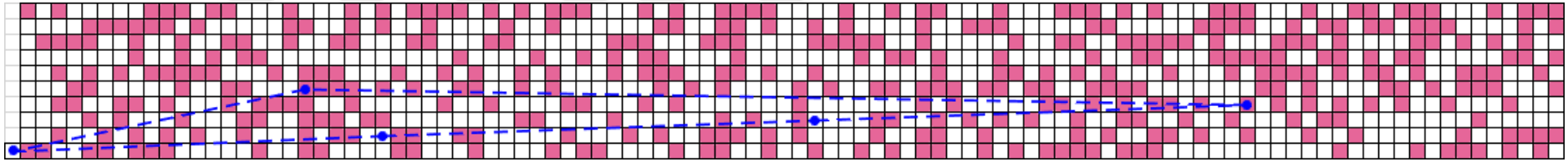
EK-1 Küçük ölçekli yer atama probleminin PSO algoritmasıyla çözümüne bir örnek (kırmızı hücreler doludur)



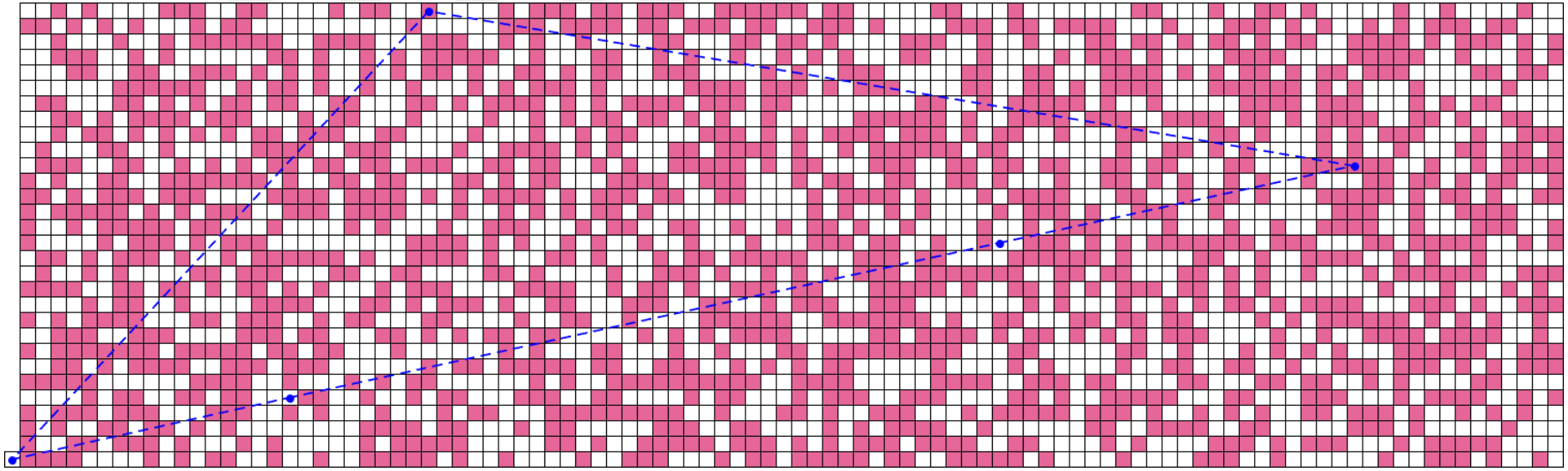
EK-2 Küçük ölçekli yer atama probleminin RGA ile çözümüne bir örnek (kırmızı hücreler doludur)



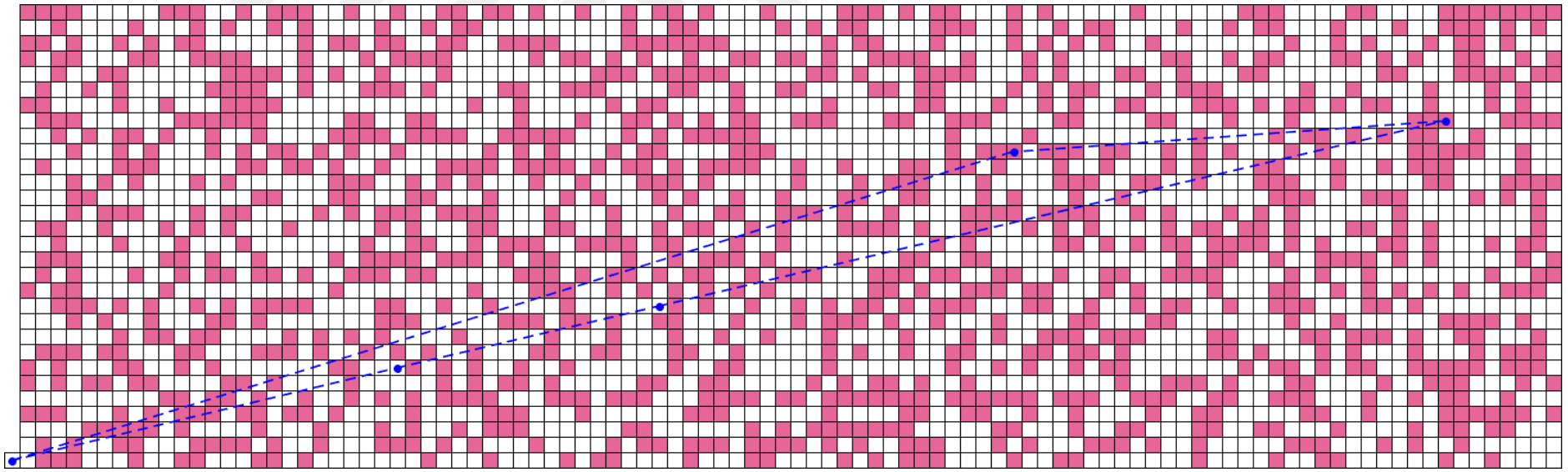
EK-3 Küçük ölçekli yer atama probleminin BGA ile çözümüne bir örnek (kırmızı hücreler doludur)



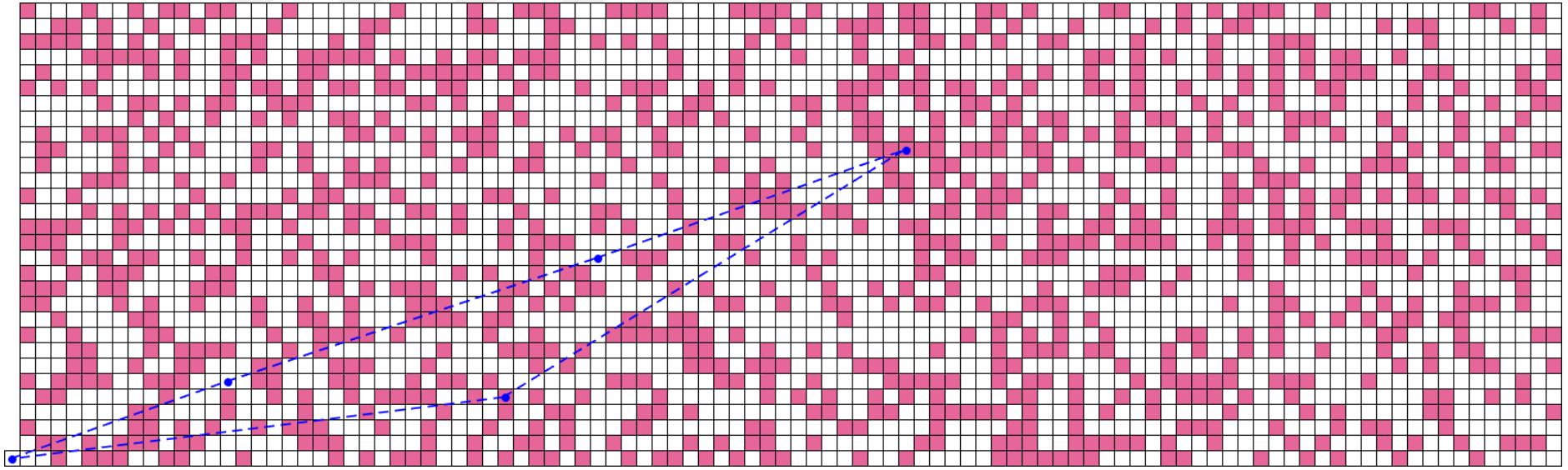
EK-4 Büyük ölçekli yer atama probleminin PSO algoritmasıyla çözümüne bir örnek (kırmızı hücreler doludur)



EK-5 Büyük ölçekli yer atama probleminin RGA ile çözümüne bir örnek (kırmızı hücreler doludur)



EK-6 Büyük ölçekli yer atama probleminin BGA ile çözümüne bir örnek (kırmızı hücreler doludur)



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER



Adı Soyadı	**:**	Osman ÖZER
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Konya 17/06/1989
Telefon	**:**	05052142430
Faks	**:**	
e-mail	**:**	osman.ozer@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Meram Anadolu Lisesi, Meram, Konya	2007
Üniversite	:	İstanbul Teknik Üniversitesi, Sarıyer, İstanbul	2013
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	-
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2013 – 2015	Siemens San. Ve Tic. A.Ş.	Proje Mühendisi
2016 -	Teknopol SAUM	Proje Mühendisi
2017 -	Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Endüstriyel Otomasyon, Robotik

YABANCI DİLLER

İngilizce (İyi)

YAYINLAR

Ozer, O. ve Cunkas, M., 2019, Optimization of Location Assignment for Unit-Load AS/RS with a Dual-Shuttle, *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering,* 7(2), 1-6. (Yüksek Lisans Tezinden yapılmıştır.)