

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ABD**

**BİR KONTEYNER TERMİNALİNDE RIHTIM VİNÇLERİNİN  
SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK  
ÇİZELGELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YUSUF YILMAZ**

**DENİZLİ, AĞUSTOS, 2014**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ABD**



**BİR KONTEYNER TERMİNALİNDE RIHTIM VİNÇLERİNİN  
SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK  
ÇİZELGELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YUSUF YILMAZ**

**DENİZLİ, AĞUSTOS, 2014**

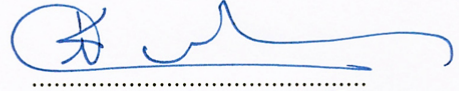
## KABUL VE ONAY SAYFASI

**YUSUF YILMAZ** tarafından hazırlanan “Bir Konteyner Terminalinde Rıhtım Vinçlerinin Sezgisel Yöntemler Kullanılarak Çizelgelenmesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 05.08.2014 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği ABD Yüksek Lisans Programı olarak kabul edilmiştir.


Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof. Dr. Osman KULAK



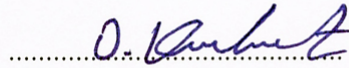
Üye  
Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT  
Pamukkale Üniversitesi



Üye  
Yrd. Doç. Dr. A. Ayça SUPÇİLLER  
Pamukkale Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
13.08.2014 tarih ve ..33/07... sayılı kararıyla onaylanmıştır..



Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinasyon Birimi tarafından 2013FBE014 nolu proje ile desteklenmiştir.**



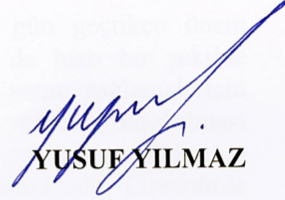
## ÖZET

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

(TEZ DANIŞMANI PROF.DR. CEMAL KULAK)

DENİZLİ, MAYIS 2014

Özgeçmişim hakkında bilgilerinize sunuyorum. Bu tez çalışmamın hazırlanmasında bana yardımcı olan hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmamın hazırlanmasında bana destek veren arkadaşlarıma da teşekkür ederim. Bu çalışmamın hazırlanmasında bana yardımcı olan hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmamın hazırlanmasında bana destek veren arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

  
YUSUE YILMAZ

ANAHTAR KELİMLER: Etiler, Vize, Çarşı, Pazar, Gıda, Alışveriş, Etiler Terminali

## ÖZET

### BİR KONTEYNER TERMİNALİNDE RIHTIM VINÇLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK ÇİZELGELENMESİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YUSUF YILMAZ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ABD  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OSMAN KULAK)

DENİZLİ, MAYIS 2014

Dünya ticaretinde konteyner taşımacılığının rolü gün geçtikçe önem kazanmakta, buna paralel olarak limanlardaki iş hacmi de hızlı bir şekilde artmaktadır. Artan talebi karşılamak ve müşteri memnuniyetini sağlamak için limana gelen gemilerin mümkün olan en kısa sürede yüklenip/boşaltılması gerekmektedir. Bu sebeple sınırlı sayıda bulunan rıhtım vinçlerinin yüklerinin dengelenmesi ve geminin servis süresinin kısaltılması gerekmektedir. Literatürde bu probleme Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemi(RVÇP) adı verilmiş, farklı çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada RVÇP karışık tamsayılı programalama modeli olarak formülize edilmiş, genetik algoritma (GA) kullanılarak çözülmüştür. GA'nın başlangıç çözümü oluşturulurken yük dengesini amaçlayan bir sezgisel geliştirilmiştir. Java dilinde geliştirilen program ile literatürdeki kıyaslama problemleri çözülmüş, bazı problem büyüklüklerinde daha üstün sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen sezgiselin hesaplama süresinin kısaltılmasında etkili olduğu ispatlanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemi, Genetik Algoritma, Konteyner Terminali

## **ABSTRACT**

### **QUAY CRANE SCHEDULING IN A CONTAINER TERMINAL USING META HEURISTIC METHODS**

**MASTER PROGRAM**

**YUSUF YILMAZ**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROFESSOR OSMAN KULAK )**

**DENİZLİ, MAY 2014**

The role of container transportation gains importance in world trade day by day, and in parallel volume of container handling at the container terminals is increasing rapidly. Inbound vessels have to be handled (loaded/unloaded) as soon as possible to ensure customer satisfaction and meet growing demand. Therefore, workload of quay cranes (QC) with a limited number have to be balanced and makespan of vessel has to be minimized. This is called Quay Crane Scheduling Problem (QCSP) and different solution procedures were developed in the literature. In this study, QCSP is formulated as mixed integer programming model, solved by using genetic algorithm (GA). To create the initial population of GA a heuristic is developed that aims to balance workload of QCs. Benchmark instances in the literature are solved by the program that developed in Java. Computational results showed that in some test instances our algorithm gives better results. It has proved that developed heuristic is shorten computational time.

**KEYWORDS:** Quay Crane Scheduling Problem, Genetic Algorithm, Container Terminal

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KONTEYNER VE KONTEYNER TAŞIMACILIĞI.....	4
2.1 Konteyner Tanımı.....	4
2.2 Konteyner Tarihçesi ve Kullanım Alanları .....	4
2.3 Konteynerlerin Özellikleri ve Standart Kriterler .....	5
2.4 Genel Konteyner Türleri.....	7
2.4.1 Standart yük konteynerleri 20' .....	7
2.4.2 Standart yük konteynerleri 40' .....	7
2.4.3 Üstü açık konteynerler 40' .....	8
2.4.4 Soğutmalı (reefer) konteynerler.....	9
2.4.5 Flat rack konteyner 20' yüksek tavanlı versiyon.....	9
2.4.6 Havalandırılmalı konteynerler 20' .....	10
2.4.7 Platform konteynerler 20' .....	10
2.4.8 Tank konteynerler 20' .....	11
2.4.9 Dökme yük (bulk) konteynerler.....	11
2.5 Konteyner Terminaleri .....	12
2.6 Konteyner Terminalinin Fonksiyonları .....	13
2.7 Konteyner Terminalinde Gerçekleştirilen Operasyonlar ve Amaçları ..	16
2.8 Konteyner Terminalerindeki Problemler.....	17
2.9 Konteyner Taşımacılığının Avantajları ve Dezavantajları .....	17
2.9.1 Konteyner Taşımacılığının Avantajları .....	18
2.9.2 Konteyner Taşımacılığının Dezavantajları .....	20
2.10 Konteyner Gemileri .....	20
3. KONTEYNER TERMİNALİ OPERASYONLARI.....	24
3.1 Rıhtımla Depolama Alanı Arası .....	24
3.1.1 Straddle Taşıyıcı Sistemi .....	24
3.1.2 Şasi Sistemi.....	25
3.1.3 Forklift Sistemi .....	26
3.1.4 Reach Stacker Sistemi .....	27
3.1.5 Konteyner Ro-Ro Sistemi.....	28
3.1.6 Karışık Sistem.....	28
3.1.7 Komputerize Sistem.....	28
3.1.8 Çoklu Treylar Sistemi.....	29
3.2 Rıhtım Alanında (Apron) .....	30
3.3 Depolama Alanında .....	30
3.4 Depolama Alanından Hinterland Taşımacılığına .....	33
4. KIYI VİNCİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ .....	35
4.1 Rıhtım Operasyonları .....	35

4.1.1	Yük Planı (Stowage Plan).....	36
4.1.2	Rıhtım Atama (Berth Allocation).....	37
4.1.3	Vinç Atama Problemi (Quay Crane Assigment Problem).....	39
4.1.4	Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemi.....	40
<b>5.</b>	<b>YÖNTEM.....</b>	<b>45</b>
5.1	Matematiksel Model.....	45
5.2	Kullanılan Genetik Algoritma Adımları.....	47
5.3	Sezgisel Algoritmalar ve Kullanım Alanları.....	48
5.4	Genetik Algoritmalar.....	50
5.4.1	Giriş.....	50
5.4.2	Genetik Algoritmanın Tarihçesi.....	50
5.4.3	Genetik Algoritmanın Çalışma Prensibi.....	51
5.4.4	Genetik Algoritmanın Adımları.....	52
5.4.5	Genetik Operatörler.....	55
5.5	Geliştirilen Yöntem.....	56
5.5.1	GA ile Çözümün Kodlanması.....	57
5.5.2	İlk Nüfusun Oluşturulması.....	57
5.5.3	Uygunluk.....	58
5.5.4	Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması.....	59
5.5.5	Çaprazlanacak Bireylerin Seçilmesi.....	60
5.5.6	Genetik Operatörler.....	62
5.5.7	Elitizm.....	64
<b>6.</b>	<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>65</b>
6.1	En İyi Parametre Setinin Belirlenmesi.....	65
6.1.1	Normallik Testi.....	67
6.1.2	F testi.....	68
6.1.3	Çoklu Karşılaştırma Testleri.....	68
6.2	Deney Veri Setlerinin Yüklenmesi.....	70
6.3	Parametrelerin Girilmesi ve Uygulamanın Çalıştırılması.....	71
6.4	Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	72
<b>7.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>75</b>
<b>8.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>76</b>
<b>9.</b>	<b>EKLER.....</b>	<b>81</b>
	EK A	81
	EK B	82
	EK C	83
<b>10.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Standart Yük Konteyneri (20 TEU).....	7
Şekil 2.2: Standart Yük Konteyneri (40 TEU).....	8
Şekil 2.3: Üstü Açık Konteyner (40 TEU).....	8
Şekil 2.4: Soğutmalı Konteyner .....	9
Şekil 2.5: Flat Rack Konteyner .....	10
Şekil 2.6: Havalandırılmalı Konteyner.....	10
Şekil 2.7: Platform Konteyner.....	11
Şekil 2.8: Tank Konteyner .....	11
Şekil 2.9: Dökme Yük (Bulk) Konteyner .....	12
Şekil 2.10: Pana-Max Tipi Konteyner Gemisi.....	21
Şekil 2.11: Pos-Pana-Max Tipi Konteyner Gemisi.....	23
Şekil 3.1: Straddle Taşıyıcı .....	25
Şekil 3.2: Şasi Sistemi.....	26
Şekil 3.3: Forkliftler .....	27
Şekil 3.4: Reach Stackers.....	27
Şekil 3.5: Çoklu Treyler Sistemi.....	29
Şekil 3.6: Otomatik Kılavuzlu Araç.....	29
Şekil 3.7: Rıhtım Vinci .....	30
Şekil 3.8: Lastik Tekerlekli Vinç .....	32
Şekil 3.9: Raylı Portal Vinç .....	32
Şekil 3.10: Otomatik İstifleme Vinci .....	33
Şekil 3.11: Konteyner Terminali Giriş/Çıkış Kapısı.....	34
Şekil 4.1: Rıhtım Vinçleri .....	35
Şekil 4.2: Bir Bölme (bay) İçin Yük Planı.....	37
Şekil 4.3: Rıhtım Atama - Zaman Gösterimi .....	38
Şekil 4.4: Rıhtım ve Vinç Atama- Zaman Gösterimi.....	39
Şekil 5.1: GA'nın Akışı (Koyuncuoğlu 2012).....	53
Şekil 5.2: Kromozom Yapısı.....	57
Şekil 5.3: Kromozomda İş Sırası ve Vinç Ataması Gösterimi.....	58
Şekil 5.4: Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması (Kulak 2007).....	60
Şekil 5.5: Rulet Tekerleri Seçimi .....	60
Şekil 5.6: Rulet Tekerleği ile Kromozom Seçim Süreci.....	61
Şekil 5.7: Çaprazlama Gösterimi .....	63
Şekil 5.8: İkili Yer Değiştirme Yöntemi .....	63
Şekil 5.9: Swap Gösterimi.....	63
Şekil 5.10: Yeni Nesil Seçimi (Kulak 2007).....	64
Şekil 6.1: Veri Seti Ekran Görüntüsü.....	71
Şekil 6.2: Parametre Giriş Ekranı.....	72
Şekil 6.3: Örnek Deney Sonuçları.....	72
Şekil 6.4: Veri Seti 1 İçin Uygun Çözüm Gannt Diyagramı.....	73
Şekil 6.5: Rıhtım Vinci Çizelgesi.....	73
Şekil 6.6: Uygunluk Değişim Grafiği .....	74

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1: ISO Tarafından Kabul Edilen Konteyner Boyutları .....	6
Tablo 2.2: Konteyner Terminali ile Taşıma Modlarının Özellikleri.....	14
Tablo 2.3: Konteyner Gemilerinin Gelişimi .....	22
Tablo 5.1: Gemideki Görev Bilgileri .....	58
Tablo 5.2: Seçim Olasılığı ve Uygunluk Değeri.....	61
Tablo 6.1: Deneysel Çalışmada Kullanılan GA Parametre Değerleri.....	66
Tablo 6.2: ANOVA Testi İçin Seçilen GA Parametre Grupları .....	67
Tablo 6.3: GA İçin Normallik Testi Sonuçları.....	68
Tablo 6.4: GA F-Test İstatistiği Sonuçları .....	69
Tablo 6.5: Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları .....	69
Tablo 6.6: Deneysel Çalışmada Kullanılan Parametre Grubu.....	70
Tablo 6.7: Deney Sonuçlarının Karşılaştırma Tablosu .....	73

## SEMBOL LİSTESİ

<b>GA</b>	:	Genetik Algoritma
<b>RV</b>	:	Rıhtım Vinci
<b>RVÇP</b>	:	Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemi
<b>RVÇ</b>	:	Rıhtım Vinci Çizelgeleme
<b>ISO</b>	:	Uluslararası Standartlar Örgütü
<b>TEU</b>	:	20ft'lik Konteynere Eşdeğer Hacim
<b>ASA</b>	:	Amerikan Standartlar Örgütü
<b>FEU</b>	:	40ft'lik Konteynere Eşdeğer Hacim
<b>RTGC</b>	:	Lastik Tekerlekli İstif Vinci
<b>RMGC</b>	:	Raylı İstif Vinci
<b>RTQC</b>	:	Lastik Tekerlekli Rıhtım Vinci
<b>RMQC</b>	:	Raylı Rıhtım Vinci
<b>ASC</b>	:	Otomatik İstif Vinci
<b>ECT</b>	:	Europe Container Terminals, Rotterdam/HOLLANDA
<b>MIP</b>	:	Karışık Tamsayılı Programlama
<b>CP</b>	:	Kısıt Programlama
<b>UDS</b>	:	Tek Yönlü Çizelgeleme
<b>TPN</b>	:	Time Petri Nets, Petri Ağları
<b>GP</b>	:	Genetik Programlama
<b>EDA</b>	:	Dağılım Tahminleme Algoritması
<b>LS</b>	:	Yerel Arama
<b>B&amp;B</b>	:	Dal-sınır Algoritması
<b>B&amp;C</b>	:	Dal-kesme Algoritması
<b>DP</b>	:	Dinamik Programlama
<b>TS</b>	:	Tabu Arama
<b>QCSPTW</b>	:	Zaman Pencereci Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemi,
<b>GRASP</b>	:	Greedy Rassel Uyarlamalı Arama

## ÖNSÖZ

Tarihi 19.yy'ın başlarına dayanan konteyner taşımacılığı alanında dünyanın farklı ülkelerinde bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Ülkemizde de gün geçtikçe önem kazanan liman işletmeciliği alanında bilgi birikimi (know-how) maalesef olması gerektiği noktada değildir. Bu noktadaki ihtiyaçtan yola çıkarak limanlardaki katma değeri artırmak amacıyla rıhtım vinçlerinin çizelgelenmesi konusunu bana öneren, en başından bu yana desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Osman KULAK'a; içinden çıkamadığım problemlerde her zaman yardımcı olan arkadaşım ve kardeşim Uzm. Mustafa Egemen TANER'e; farklı bakış açısı ve neşesiyle hem akademik hem de sosyal hayatta desteklerini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. A. Ayça SUPÇİLLER'e; çalışmaktan ve parçası olmaktan onur duyduğum bölümümüz akademik ve idari kadrosuna; evlenirken birbirimize verdiğimiz söze sadık kalıp iyi günde kötü günde hep yanımda olan sevgili eşim Fatma YILMAZ'a; hayatım boyunca çalışma aşkıyla, işine gösterdiği özenle ve temiz kalbiyle rol modelim olan babam Sami YILMAZ'a ve son olarak en büyük teşekkürü hak eden, cennetin ayaklarının altında olduğu validem Ayşe YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Yusuf YILMAZ

# 1. GİRİŞ

Ülkeler arası taşımacılıkta en fazla yük taşıma kapasitesi konteyner taşımacılığına aittir. Nüfus artışına ve küresel ekonomik politikalara bağlı olarak konteyner taşımacılığı her yıl yaklaşık %15 gibi büyük oranlarda büyüme kaydetmiştir. Dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizdeki konteyner taşımacılığı da önemli miktarda artış göstermektedir. 2000 yılında Türkiye limanlarında elleçlenen konteyner miktarı 2 milyon TEU'nun (Twenty-Foot Equivalent Unit) altında iken 2012 yılında 6.2 milyon TEU' ya çıkmıştır (Koyuncuoğlu 2012).

Konteyner terminallerinde ihracat, ithalat ve transit taşımacılık olmak üzere üç tip taşımacılık ticareti yapılmaktadır. Terminallerde bu taşıma/depolama faaliyetlerinde çeşitli ekipmanlar kullanılmaktadır. Konteyner terminalleri gemi yükleme-boşaltma alanları, bölümler arası taşıma alanları ve arka-iç stok alanları olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır. Gemi yükleme-boşaltma sahalarında rıhtım vinçleri konteynerlerin gemiye yüklenmesi ve boşaltılması işlemlerini gerçekleştirir. Rıhtım vinci bir operatör aracılığıyla konteynerleri gemiden alarak, taşıma araçlarına yükler veya depolama alanından taşıma araçlarıyla gelen konteynerleri gemiye yükler. Rıhtım sahasında birden fazla vinç geminin büyüklüğüne ve yük kapasitesine göre çalışabilmektedir. Literatür incelendiğinde mega-konteyner gemilerinde aynı anda en fazla altı adet rıhtım vinci çalışabilmektedir (Bierwirth ve Meisel 2009). Rıhtım vinçleri aynı ray üzerinde hareket ettikleri için, birbirleri üzerinden geçemezler. Ayrıca güvenlik uygulamaları gereği iki vinç arasında genellikle bir konteyner sırası kadar güvenlik boşluğu bırakılmaktadır. Gelen gemilere gecikme yaşatmadan tam zamanında hizmet verebilmek için, gemilerin uygun rıhtım sahasına atanması, gemilere atanan vinçlerin de en verimli şekilde çizelgelenmesi gerekmektedir. Gemi gelmeden önce belirlenen yükleme planına göre vinçlerin ataması ve çizelgelenmesi, rıhtım vinçleri başta olmak üzere terminaldeki tüm ekipmanların etkin kullanılması ve saatler sürecek olan gecikmelerin yaşanmaması açısından çok önemlidir.

Depolama alanında taşıyıcı araçlardan konteyner bloklarını alarak istif operasyonlarını gerçekleştiren ekipmanlar istif (saha) vinçleridir. Bu ekipmanlar donanımsal özelliklerinden dolayı rıhtım vinçlerine göre daha hızlı hareket etmektedir. Özellikle otomatikleştirilmiş konteyner terminallerinde istif vinçleri boyutlarından dolayı esnek şekilde bir blok üzerine hareket etmektedir. Konteyner bloğunu elleçleyen istif vinci aynı blok üzerinde bulunduğu diğer istif vinciyle ortaklaşa birbirlerinin hareketlerini kısıtlamadan çalışabilmektedir. Bu esnek yapı istif vinçlerinin ve taşıyıcı araçların verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Böylelikle bekleme zamanları azaltılarak birim zamanda elleçlenen konteyner miktarı artmış olmaktadır. Terminallerde istifleme en çok kullanılan depolama yöntemi olup, istif vinçleri yardımı ile konteynerlerin stok alanında 7 kata kadar istiflenmesi yapılabilmektedir.

Bu tez çalışması ile amaçlanan; konteyner terminaline gelen bir gemideki işlerin mümkün olan en kısa sürede tamamlanıp terminalin verimliliğini sağlamaktır. Bunu yapabilmek için sınırlı sayıda bulunan rıhtım vinçlerine gemideki görevleri dengeli bir yük paylaşımı yaparak atamak ve işlerin sırasını oluşturmak gerekmektedir. NP-Hard olarak tanımlanan bu problemin çözümü için sezgisel yöntemler kullanılmalıdır. Literatürde farklı problem büyüklüklerinde farklı yöntemler kullanılarak problemlere çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Yöntemlerin kalitesini bulan çözümün kendisi ve bu çözümü bulurken hesaplama esnasında geçen süre oluşturmaktadır. Bu çalışmada gemideki görevlerin önceliğini, vinçler arasında bulunması gereken güvenlik boşluğunu, vinçlerin birbiri üzerinden geçememesi kısıtları dikkate alınmıştır. Gemi her bölümde bir konteyner sırası olacak şekilde uzunlamasına bölümlere (bay) ayrılmış, bu bölümlerdeki görevlerin toplam yükleri hesaplanıp vinçlerin iş yükleri dengelenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma, genetik algoritmalar ve probleme özgü geliştirilen sezgisellerin farklı kombinasyonları ile etkin çözümlerinin araştırılmasını kapsamaktadır. Başlangıç çözümü ise geliştirilen bir sezgisel yöntem aracılığıyla elde edilecektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde konteynerin tarihçesi, tanımı, türleri konteyner gemileri, konteyner taşımacılığının avantajları/dezavantajları, konteyner terminalinin fonksiyonları gibi bilgiler açıklanmıştır. Üçüncü bölümde konteyner terminali operasyonları, terminal çeşitleri ve terminalde kullanılan ekipman ve sistemler

incelenmiştir. Dördüncü bölümde rıhtım vinci çizelgeleme problemi ele alınmış, rıhtım vinçlerinin genel özellikleri açıklanmış, rıhtım vinci çizelgeleme problemiyle ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir. Beşinci bölümde çözüm algoritması, çalışmada kullanılan meta sezgiseller, yapısal sezgiseller ve geliştirme sezgiselleri sunulmuştur. Genetik Algoritma 'da kullanılan kromozom yapısı, seçim, çaprazlama, mutasyon yöntemleri ve sonlandırma kriterleri açıklanmıştır. Altıncı bölümde yapılan deneysel çalışmalar ile geliştirilen yöntemlerin ve rıhtım vinci çizelgeleme problemi için tasarlanan senaryoların karşılaştırmaları sunulmuştur. Altıncı yani son bölümde çalışmanın özeti verilerek sonuç ve öneriler sıralanmıştır.

## **2. KONTEYNER VE KONTEYNER TAŞIMACILIĞI**

### **2.1 Konteyner Tanımı**

Konteyner, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından kabul edilen tip ve ölçülere uygun, her türlü deniz, hava ve kara taşıtlarıyla taşınabilen, içine konulan eşyayı her türlü dış etkenlerden koruyup hasara uğramasını ve kaybolmasını engelleyen, sürekli kullanılacak şekilde dayanıklı ve birden fazla nakil aracına aktarılmasında yükleme/boşaltma kolaylığı sağlayan, özel donanımı bulunan, yüklerin birimleştirilmesini sağlayan, en az bir kapısı bulunan taşıma kaplarını ifade eder.

### **2.2 Konteyner Tarihçesi ve Kullanım Alanları**

Yüklerin konteynerler ile taşınması fikrinin sahibi Amerikalı Malcolm McLean'dir. 1930'lu yılların sonlarına doğru McLean, Hoboken limanında parça yüklerin elleçlenmesi ve bir yerden başka bir yere naklinin (birden çok parçanın) bir defada yapılabilmesi düşüncesinden yola çıkarak önce yükleri araçlara (treylere) doldurup bu araçların gemilere bindirilmesiyle (traktör ile) işe başlamıştır. Daha sonra taşıyıcı araçların gemi içinde çok yer kapladığını düşünmüş bundan dolayı vasıtaları kısaltma çarelerini aramıştır. Örneğin çekicisi olmayan treylere daha az yer tuttuğunu ve gemiye daha fazla treyle sığdığını görmüş. Bundan sonra treyleri küçültmeyi düşünmüş ve konteyner fikrine ulaşmıştır. Konteyner şeklindeki kapların üst üste konabilmesi nedeniyle hem daha az yer kapladığını hem de yükleme-boşaltmasının daha kolay olduğunu görmüştür.

Bilinen ilk konteyner gemisi, 1956 yılında "Maxton" isimli tankerin 60 konteyner taşıyacak şekilde tasarlanmış hali olan "İdeal X" isimli şileptir. Bir limandan başka bir limana ilk konteyner nakli, bu gemi ile 20 Nisan 1956 tarihinde Houston limanına yapılmış ve 58 konteyner taşınmıştır. Avrupa'nın ilk konteyner gemisi ile tanışması ise bundan yaklaşık 10 yıl sonra 6 Mayıs 1966 tarihinde

olmuştur. Aynı şekilde ilk düzenli hat yine Mc Lean'in kurucusu olduğu Sea Land'dir.

Önceleri konteyner boyutları Amerika tarafından (ASA) belirlenmiş daha sonra ülkeler hatta kıtalar arası (özellikle Avrupa ve Japonya) konteyner taşımacılığının gelişmesi yükleme-boşaltmalarda kolaylık ve birlikteliğin sağlanması düşüncesi ile yeni standartların belirlenmesi gereği doğmuştur. Bu konuda gelişmiş olan ülkelerin girişimleri ile konteynerlerin aynı boyutlarda (10', 20', 30', 40' gibi) yapılması düşüncesinden yola çıkılarak yeni standartlar yani bu günkü ISO standartları belirlenmiştir (Koyuncuoğlu 2012).

Konteyner kullanmanın sağladığı kolaylık ve faydaları nedeniyle konteyner taşımacılığı hızlı bir gelişme göstermiştir. Standardizasyonun yakalanması ve artan yük çeşitliliğine paralel olarak konteyner tiplerinde de gelişmeler olmuştur. Her türlü yüke hitap edecek şekilde günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan konteyner çeşitleri (normal, reefer, tank, bulk vb.) üretilmiştir.

Konteyner kullanımının tüm dünyada hızla yaygınlaşması doğal olarak konteyner gemilerinde de hızlı bir gelişmeyi beraberinde getirmiştir. Örneğin önceleri çeşitli yükler ile konteynerler (genel kargo – konteyner, dökme yük – konteyner ) aynı gemilerde taşınırken günümüzde sadece konteyner taşımak için dizayn edilmiş gemilerin sayısı ve kapasiteleri de her geçen gün artmaktadır. Bu gün 12.000-14.000 TEU kapasiteli konteyner gemileri seferlere başlamıştır (Koyuncuoğlu 2012).

### **2.3 Konteynerlerin Özellikleri ve Standart Kriterler**

Konteynerler aşağıdaki özellikleri sayesinde faydalı taşıma kaplarıdır:

- Güvenilir,
- Mal zayıtı minimum düzeydedir,
- Hava geçirmez,
- Tehlikeli eşyaları taşıyabilecek ve saklayacak biçimde tasarlanmış,
- Kilitlenebilir,

- Bir alana katlarca yığılabılır,
- Kapatılabilir,
- Bir defada çok çeşitli ve çok fazla yük taşıyabilir.

Farklı boyutlarda ve kilitleme yerleri birbirinden farklı yerlerde bulunan konteynerlerin bir takım elleçleme sorunları çıkarması üzerine standarda gidilmesi konusu ilk olarak 1961 yılında Amerikan Standartlar Örgütü (ASA)'nde ele alınmış ve nihayet 1965 yılında Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından bazı ölçüler esas kabul edilerek, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 31 ülke tarafından imza altına alınmıştır. Benimsenen kurallara göre konteynerler 40, 30, 20, 10, 7 ve 5ft boylarına sahip olan konteynerler benimsenmiştir. Günümüz deniz taşımacılığında daha çok 20ft'lik konteynerler sıkça kullanılmakta ve ölçüt olarak kabul edilmektedir. Bu ölçüt TEU (Twenty-Foot Equivalent Unit) olarak ifade edilmekte olup, 1 TEU 20 ft'lik konteynere eşdeğer hacim demektir. Deniz taşımacılığında daha düşük oranlarda olmak üzere 40ft'lik konteynerler de kullanılmakta olup, FEU (Forty-Foot Equivalent Unit) ya da 2 TEU olarak ifade edilmektedir (Koyuncuoğlu 2012).

ISO tarafından belirlenen standart bir konteynerin boyutları Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1:** ISO Tarafından Kabul Edilen Konteyner Boyutları

KONTEYNER				Hacmi	Önerilen Yükleme Hacmi	Maks. Yükleme Ağırlığı	Kendi Ağırlığı
Boyut	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	t	t
20 TEU	6,096	2,438	2,591	32	29	24	1,8-2,4
40 FEU	12,192	2,438	2,591	65	59	30,48	2,8-4,0

Konteynerler sadece genel yükler için değil, aynı zamanda özel olarak taşınması gereken mal cinsleri için de kullanılmaktadır. Özellikle son zamanlarda soğutmalı (reefer) konteyner kullanımı artmıştır. Standartların dışında boyutlara sahip olan standart dışı (oversize), yüksek tavanlı (high cube) ve geniş (overwidth)

olarak adlandırılan birkaç tip daha konteyner vardır. Ayrıca yük taşıma özelliğine göre tank, açık ve flat tipi konteynerler de mevcuttur.

## 2.4 Genel Konteyner Türleri

Konteyner türleri; standart yük konteynerleri, üstü açık konteynerler, soğutmalı konteynerler, flat rack konteynerler, havalandırılmalı konteynerler, platform konteynerler, tank konteynerler ve bulk konteynerlerdir.

### 2.4.1 Standart yük konteynerleri 20'

Genel yükler için tasarlanmıştır, kuru yükler için kullanılabilir (Şekil 2.1). İçerisine monte edilebilecek flexitank aparatı ile sıvı yükler de taşınabilir. Konteynerin içine sığabilecek ve kapısından girebilecek tüm yükler için uygundur (Bartan 2007).



Şekil 2.1: Standart Yük Konteyneri (20 TEU)

### 2.4.2 Standart yük konteynerleri 40'

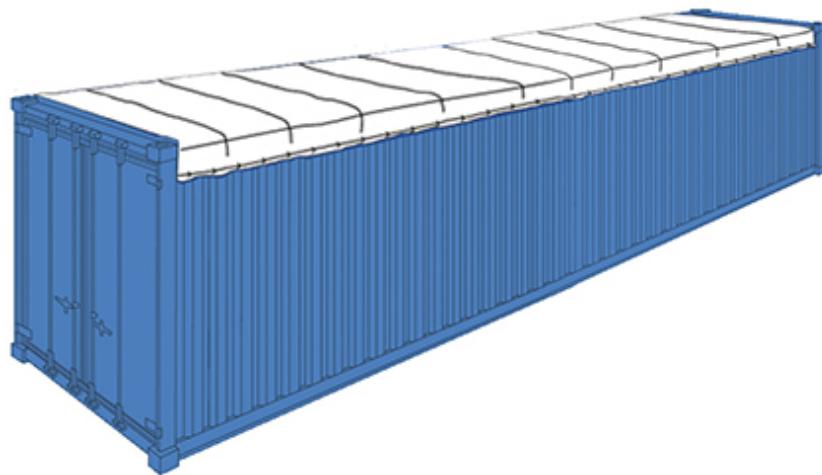
Hacim olarak 2x20' konteyner yükü alabilse de, taşıma ağırlığı olarak çok fazla fark etmemektedir (Şekil 2.2). Bu sebeple daha çok "havalesi", fakat havalesine oranla ağırlığı az olan taşımalarda kullanılır (beyaz eşya, tütün, tekstil, gıda vb..). uygunsuz taşıma yapılmaması açısından, forklift cepleri yoktur.



**Şekil 2.2:** Standart Yük Konteyneri (40 TEU)

### 2.4.3 Üstü açık konteynerler 40'

Üstü açık ve branda ile örtülüdür (Şekil 2.3). Mermer, makine, makine aksamı, araç taşımalarında, kapıdan yükün giremediği ve çoğunlukla yükün konteyner yüksekliğinden fazla olduğu durumlarda tercih edilen bir ekipmandır (Bartan 2007).



**Şekil 2.3:** Üstü Açık Konteyner (40 TEU)

#### 2.4.4 Soğutmalı (reefer) konteynerler

Dondurulmuş gıdalar ya da belirli bir ısı derecesinde üretilmiş ve aynı ısı derecesinde nakliyesi gereken yükler ve donmuş gıdalar için kullanılır (Şekil 2.4). Soğutma/ısıtma özelliği yoktur. “Set” derecesinde belirtilen ısıda yüklenen kargoyu aynı ısıyı muhafaza ederek taşımayı sağlar.



Şekil 2.4: Soğutmalı Konteyner

#### 2.4.5 Flat rack konteyner 20' yüksek tavanlı versiyon

Standart ve Open-Top konteynerlere sığmayan yüklerin (üstten ve yandan) taşımalarında kullanılır (Şekil 2.5). Çoğunlukla jeneratör ve araç taşımaları için uygundur (Bartan 2007).



**Şekil 2.5:** Flat Rack Konteyner

#### **2.4.6 Havalandırılmalı konteynerler 20'**

Havalandırılması gereken yüklerin taşınması için uygundur (Şekil 2.6). Taban ve tavan bölümünde bulunan havalandırma ızgaraları sayesinde fındık gibi yolculuk esnasında bozulabilecek gıdaların taşınmasında kullanılır (Bartan 2007).



**Şekil 2.6:** Havalandırılmalı Konteyner

#### **2.4.7 Platform konteynerler 20'**

Gemiye doğrudan yüklenemeyecek, yanlardan, üstten ve ön/arkadan taşması olan yükler için kullanılır (Şekil 2.7) (Bartan 2007).



**Şekil 2.7:** Platform Konteyner

#### **2.4.8 Tank konteynerler 20'**

Tankın silindirik şekli çelik muhafaza ile gemiye yüklenebilecek hale getirilmiştir (Şekil 2.8). Sıvı ve gaz taşımalarında kullanılır (Toksit kimyasallar, meyve suyu, zeytinyağı, kimyasal maddeler vb..) (Bartan 2007).



**Şekil 2.8:** Tank Konteyner

#### **2.4.9 Dökme yük (bulk) konteynerler**

Özellikle kuru dökme yükler için tasarlanmıştır (Şekil 2.9). Yükleme konteynerin üzerinde bulunan 3 kapaktan yapılır. Kapaklar arası mesafe 1.83 cm'dir (Bartan 2007).



**Şekil 2.9:** Dökme Yük (Bulk) Konteyner

## 2.5 Konteyner Terminalleri

Terminal bir kısım malların elleçlendiği liman içindeki özel bir bölümdür. Modern konteyner terminalleri kara ile deniz arası taşımacılıkta pasif bir nokta olmayıp küresel taşımacılık sisteminde birden çok taşıma modlarının (karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolu) geliştiği lojistik merkezler haline gelmiştir. Konteyner terminalleri küresel ekonomide de önemli bir konumda sayılabilir. Ulusların, toplulukların veya bölgelerin ekonomik ve sosyal ölçümlerinde konteyner terminallerinin önemi kayda değer durumdadır. Konteyner terminalinin ticaretin ve ulusal ekonominin gelişmesine katkıda bulunduğu iddia edilmektedir (Bartan 2007).

Dünya nüfusunun artması ticareti yapılan emtiaların da artmasına neden olmuş böylece konteyner terminallerindeki elleçleme trafiği artmıştır. Ayrıca gerek yükleme/boşaltmada, gerekse taşımada büyük kolaylık getirmesi, liman ve taşıma masraflarını azami seviyelere çekmesi nedeniyle, artık taşımacılığın büyük bir kısmı konteynerlerle yapılmaktadır. Artan talep ve teknolojik gelişmeler terminal operasyonlarının optimizasyonuna, ekipmanların modernizasyonu ve otomatikleştirilmesine neden olmuştur.

Konteyner terminallerini otomatikleştirilmiş (automated) ve otomatikleştirilmemiş (non-automated) olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Otomatikleştirilmiş terminaller konteyner bilgi teknolojisine ve otomatik kontrol teknolojisine sahiptirler. Bu yüzden bu terminaller, diğer terminallere göre daha verimlidir ve maliyetleri daha düşüktür. Operasyonlarda kullanılan araçların

çoğu insansız olarak çalışmaktadır. Bu tip terminaller işgücünün pahalı olduğu Batı Avrupa ülkelerinde kurulmuşlardır. Otomatikleştirilmemiş terminallerde ise operasyonlar insan kontrolünde gerçekleştirilmektedir. Bu tip terminaller ise işgücünün ucuz olduğu Güneydoğu Asya ülkelerinde kurulmuşlardır (Steenken ve diğ. 2004).

## **2.6 Konteyner Terminalinin Fonksiyonları**

Bir konteyner terminali denizdeki gemiler ile karadaki taşıtları birleştiren, taşıma modlarının bulunduğu bir noktadır. Bir konteyner terminali konteyner taşıyanlar için yükleme ve tahliye hizmetlerinin sağlanmasının ötesinde konteynerlerin iki yolculuk arası geçici depolama alanı olarak hizmet verir (Zhang ve diğ. 2003).

Kapıdan kapıya teslimatı içeren uluslararası konteyner trafiğinde, intermodal taşımacılık, bir deniz ayağıyla bu ana ayağın her iki ucundaki bağlantılı kara ve/ veya demiryolu ara ayağından oluşmaktadır. O halde konteyner terminali, deniz ve kara ve/veya demiryolu arasında taşıma modlarının (sistemlerinin) değiştirilebildiği, gemi ile gemi veya gemi ile iç su (inland waterway) gemileri arasında aktarmaların yapıldığı tesislerdir.

Bir konteyner terminalinin birincil fonksiyonu kendisine bağlantılı olan farklı taşıma modları arasında konteynerleri zamanında, doğru ve güvenli olarak aktarmaktır. İntermodal konteyner taşımacılık sisteminin bütününde konteyner terminaleri buluşma noktalarıdır. Bu, konteyner terminallerinin aktarma fonksiyonunu da tanımlamakta; yani konteyner terminaleri, genellikle, ana hat gemileri ile ara hat gemileri (feeder vessels) veya karayolu /demiryolu taşıtları arasında konteynerleri aktarmaktadırlar. Konteyner terminali ile bağlantı içindeki her bir taşıma modunun farklı özellikleri Tablo 2.2’de verilmektedir.

**Tablo 2.2:** Konteyner Terminali ile Taşıma Modlarının Özellikleri

Özellikler	Deniz Yolu Taşımacılığı		Demir Yolu Taşımacılığı	Kara Yolu Taşımacılığı
	Ana Hatlar	Ara Hatlar		
<b>Bir Seferdeki Konteyner Miktarı</b>	Büyük partiler halinde	Orta büyüklükteki partiler halinde	Küçük partiler halinde	Tek tek
<b>Hizmetler</b>	Düzenli, periyodik	Düzenli, periyodik	Düzenli, periyodik	Düzensiz ve zaman zaman
<b>Elleçleme Süresi</b>	Sınırlı	Sınırlı	Sınırlı	Sınırsız ama mümkün olduğunca kısa
<b>Elleçlemenin Önceden Planlanması</b>	Mümkün	Mümkün	Mümkün	Neredeyse imkânsız

Ana hat gemileri ölçek ekonomisinin avantajlarını kullanarak büyük çapta konteyner taşırlar. Buna kıyasla, ara hat gemileri orta büyüklükteki partilerin taşınmasını sağlar, demiryolları ise ona nazaran daha küçük partileri taşır. Karayolu taşımacılığı da konteynerlerin tek-tek ve kapıdan-kapıya teslim yerine iletilmesini üstlenir.

Ancak, karayolu taşımacılığının diğerlerinden farklı özellikleri vardır. Deniz ve demir yolu taşımacılığı düzenli ve periyodik hizmet sağlar ve konteynerlerin elleçlenmesi için gereken zaman bir kural olarak programlanmış ve tanımlanmıştır. Bu nedenle elleçleme önceden planlanabilmektedir. Oysa karayolu taşımacılığı genellikle düzensizdir. Elleçleme programlarının tanımlanması çoğu zaman güç olmaktadır. Çünkü yükleyici ya da alıcının elverişliliğine, karayollarındaki trafiğe göre değişebilmektedir. Buna rağmen elleçleme için gereken zaman mümkün olduğunca kısa olmalıdır. O nedenle karayolu taşımacılığında konteyner elleçleme için önceden planlama yapmak genellikle çok zor ve bazen terminal operatörlerinin kontrolü dışındaki bazı tesadüfî faktörlere bağlı olması nedeniyle de imkânsızdır.

Farklı taşıma modlarının farklı karakteristikleri zorunlu olarak konteyner terminaline bir fonksiyon daha yüklemektedir. Büyük çaplı deniz taşımacılığı ile ona kıyasla orta büyüklükteki demiryolu taşımaları ve küçük çaplı karayolu taşımaları

arasında zamanında ve gerektiği gibi aktarma yapabilmek için konteynerlerin geçici depolanması kaçınılmazdır (Watanabe 2004).

Ayrıca, konteyner terminalleri taşıma modlarının farklı yapılarını birbirlerine uyarlayabilmek için bir tampon fonksiyonu sağlarlar. Bu depolama fonksiyonu, bir taşıma aracından diğerine aktarılacak konteynerlerin “taşıtı bekleme” için gerekli hizmet şeklinde olup, salt depolama hizmeti veren depoların fonksiyonundan farklıdır. Konteynerde taşınan yükler ful konteyner yükü veya parsiyel yük olarak taşınırlar; ikinci tip taşımalarda aynı çıkış/varış yerine ait küçük parti yükler aynı konteynerde konsolide edilmektedirler. Kırkambar yüklerin konsolidasyonu fonksiyonu bazı konteyner terminalleri tarafından gerçekleştirilir; fakat zorunlu bir ihtiyaç da değildir. Bu daha çok terminalin sınır koşullarına bağlıdır. Çoğu durumda konsolidasyon fonksiyonu terminal dışındaki diğer işletmelere bırakılır.

Bir diğer fonksiyon ise, diğer üç fonksiyonun performansını destekleyen yedekleme (back-up) fonksiyonudur. Örneğin, konteyner terminalinde ve konteyner yük istasyonunda, elleçleme ekipmanının denetim, kontrol ve onarımını gerçekleştiren bakım birimlerinin bulunması gibi.

Tipik bir konteyner terminalinde yer alan tesisler yukarıda anlatılan dört fonksiyona göre sınıflandırılırlar. Rıhtım, apron, toparlama sahası (marshalling yard), kapı ve kontrol kulesi, taşıma modları arasında aktarma fonksiyonunu ve depolama fonksiyonunu gerçekleştiren tesisler; bakım birimleri, yakıt istasyonu, elektrik santrali ve konteyner temizleme birimi gibi yedekleme fonksiyonunu gerçekleştiren tesisler her konteyner terminali için zorunludur.

Ancak boş konteyner deposu, konteyner tamir tesisi ve konsolidasyon için gereken konteyner yük istasyonu gibi tesisler bir konteyner terminali için zorunlu olan ihtiyaçlar değildir. Bu hizmetler konteyner terminalinin dışından da sağlanabilirler; terminalin alanını ve şeklini kapsayan sınır koşullarına göre terminalin çevresinde olmaları tercih edilmektedir.

Aktarma fonksiyonu direkt olarak konteyner terminalinin verimliliği ile ilgilidir; depolama fonksiyonu da potansiyel olarak bu verimliliği destekler. Diğer bir

ifade ile, aktarma fonksiyonu konteyner terminalindeki dinamik aktiviteler anlamına gelirken; depolama da statik aktiviteler anlamına gelmektedir (Watanabe 2004).

## **2.7 Konteyner Terminalinde Gerçekleştirilen Operasyonlar ve Amaçları**

Konteyner terminallerinde, rıhtım-ara stok sahası ve ara stok sahası-kapı olmak üzere iki yönlü taşıma operasyonları mevcuttur. Rıhtım-ara stok sahası taşıma operasyonları terminal içi taşıyıcı araçlarla (internal trucks) gerçekleştirilirken, ara stok sahası-kapı taşıma operasyonları terminal dışı özel taşıyıcı araçlarla (external trucks) gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında terminal içi taşıma operasyonları incelenmiştir.

Bir konteyner terminalinde rıhtıma yanaşacak olan her gemi, rıhtıma ulaşmadan belli bir süre önce boşaltacak olduğu konteynerlerin sayısını ve pozisyonlarını terminal yönetimine bildirir. İlgili gemiye yüklenecek olan konteynerlerin sayısı ve ara stok sahasındaki pozisyonları ise, terminal yönetimi tarafından tespit edilir. Geminin rıhtıma yanaşması sonrasında, konteynerler, daha önceden belirlenmiş olan sıra ile rıhtım vinçleri tarafından gemiden boşaltılmaya başlanırlar. Boşaltılan konteynerler, rıhtımdan terminal içi taşıyıcı araçlarla ara stok sahasındaki istif vinçlerine taşınırlar. Boşaltma operasyonlarının sona ermesinden sonra, yüklenecek konteynerler belirlenmiş olan sıra ile istif vinçleri kullanılarak istiflerden alınıp terminal içi taşıyıcı aralara yüklenerek rıhtım vinçlerine taşınırlar.

Konteyner terminalinin amaçları:

- Konteyner elleçleme verimliliğinin iyileştirilmesi,
- İstiflenmiş konteynerlere erişilebilirliğin iyileştirilmesi,
- Arazi kullanımının geliştirilmesi ana maddeleri halinde sıralanabilir.

## 2.8 Konteyner Terminallerindeki Problemler

Konteyner terminallerinde temel amaç gerçekleştirilen operasyonların en hızlı ve güvenli şekilde gerçekleştirilmesidir. Bu amacı yerine getirirken karar problemleri ile karşılaşılır. Konteyner terminallerindeki olası bu problemler şu şekildedir:

- Terminale gelecek olan gemilerin çizelgelenmesi
- Gemilerin rıhtımlara atanması
- Rıhtım vinçlerinin gemilere atanması
- Dışarıdan gelen araçların çizelgelenmesi
- Terminal içi taşıyıcı araçlara konteynerlerin atanması
- Taşıyıcı araçların depolama alanlarına atanması
- Taşıyıcı araçların rıhtım vincine atanması
- Terminal içerisinde hem iç hem de dış taşıyıcı araçların rotalanması
- Terminal içi taşıyıcı araçların sayılarının belirlenmesi
- Depolama ekipmanlarının belirlenmesi
- Konteynerlere depolama alanı atanması
- Depolama alanının planlanması
- Depolama alanlarındaki istif vinci sayısı
- Depolama alanlarındaki istif vinci yerleşimi
- Optimum taşıyıcı araç kiralama planı
- Terminal içi trafik kuralları
- İşgücü planlaması

## 2.9 Konteyner Taşımacılığının Avantajları ve Dezavantajları

Konteyner taşımacılığı, gemi büyüklüğü, konteyner türlerinin yapısı ve gemilerin kapasitesine hız faktörünün de eklenmesiyle belirginleşen yüksek verimlilik ve karlılık oranı ile deniz yoluyla taşımacılıktaki önemini her geçen gün artırmaktadır.

### 2.9.1 Konteyner Taşımacılığının Avantajları

Konteyner taşımacılığının avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Konteynerlerin kullanımı ile depo gereksinimi %35 oranında düşmektedir.
- Konteynerler sayesinde yüklerin bir araya getirilmesi ile eldeki mevcut alan azami verimle kullanılabilir hale gelmektedir.
- Konteyner gemileri, ortalama üç yükleme-boşaltma limanı esasıyla, klasik gemilere oranla çok daha çabuk işlemlerini tamamlayarak, sefer başına ortalama 10–15 gün tasarruf sağlarlar. Bu tasarruf da maliyetleri aşağı çekmede oldukça önemli etkenlerdendir.
- Ton başına düşen yük elleçleme masraflarında meydana gelen azalmalar nedeni ile birim yük haline getirmede kârlılık oranları yüksek düzeylerde seyretmektedir. Zira klasik gemilerde elleçleme masrafları, uzak sefer nakliyatında navlunun %35-40'ını ve yakın seferlerde %50–60'ını teşkil etmektedir.
- Konteynerin kendisi aynı zamanda ambalaj görevi gördüğünden ayrı bir ambalajlama işlemine ihtiyaç duyulmaz. Bu da ambalajlama giderlerinde tasarruf edilmesini sağlar.
- Birim yük haline getirmenin sağladığı avantajlardan biri de, genellikle tarifeli hat seferlerine dayalı olarak çalışıldığından çok güvenli ve düzenli operasyonları içermesidir.
- Konteyner taşımacılığında yükleme ve boşaltma işlemlerinde genellikle mekanik elemanlar kullanıldığından, günümüzde devamlı olarak artma eğilimi gösteren işgücü ücretlerinden de tasarruf sağlanmaktadır. Yani daha az insan gücüne ihtiyaç duyuluyor olması nedeni ile personel maliyetleri önemli ölçüde aşağıya çekilmektedir. Bu durum kısa dönemde tüm dünya ülkelerinde giderek artan oranda sorunlar yaratan istihdam problemini beraberinde getirse de uzun dönemde birim yük haline getirmenin gelişimi ile liman şehirleri çevresinde ilave iş gücüne ihtiyaç olacağı, konteyner terminali işletimi süresince de yeni iş olanakları yaratacağı açıktır.
- Birim yük haline getirme ve bu taşımacılık tipinde kullanılan elleçleme ekipmanlarının gelişimi sayesinde malların çalınması, kırılması ve hasar görmesi

gibi istenmeyen durumların oluşma olasılığı azalmıştır. Zira konteynerin kendisi bir kaptır ve böylece ilave bir muhafazaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

- Yukarıda belirtildiği gibi, konteynerlerin kullanımı ile malların çalınması ve kırılmasının önüne büyük oranda geçilmesine rağmen, özellikle fırtınalı havalarda konteynerlerin gemiden düşmesi, içinin iyi düzenlenmemesi nedeni ile zaman zaman uğranılan zararlara ilaveten, konteynerlerin paslanması nedeni ile de ek giderler oluşmaktadır. Bu hasar ve risklere karşı konteynerler “Taşıma Sigortası” ve “Taşıyıcının Mesuliyeti Sigortası” ile sigorta ettirilir. Taşıma sigortası, taşınan konteynerin hasara uğraması ve kaybolma riskini sigorta ederken, taşıyanın mesuliyeti sigortası konteynerlere mal yüklemeye karşı taşıyıcının konteynerin içindeki malların sağlamlık ve zamanında teslim etme yükümlülüğünü kapsar. Konteynerler ile yapılan taşımacılıkta bu hasar türlerinin gerçekleşmesi olasılığı oldukça düşük olduğundan, sigorta primleri de az olmakta ve bu durum dolaylı olarak sigorta giderlerinden tasarruf edilmesini sağlamaktadır.
- Konteynerlerin belirlenen ölçülerde standart olması ve dünya ticareti taşıma modlarının yükleme-boşaltma ekipmanlarının buna göre ayarlanmasında, konteynerciliğin sayılabilecek avantajlarından olup bu unsurda maliyetleri aşağıya çekmektedir. Yani parça yüklerin elleçlenmesinde olduğu gibi her limanda muhtelif yükler için ayrı elleçleme elemanı bulundurma zorunluluğu ortandan kalkmaktadır.
- Konteyner gemileri genellikle düzenli seferleri içeren hat taşımacılığı yaptıklarından, uğradıkları liman sayısı nispeten azdır ve bu nedenle kar oranları yüksektir.
- Konteynerlerin biçimleri, iç ve dış tasarımları ile bir nevi depo görünümünde oldukları için konteynerlerin kullanımı ile yüklerin depolama giderlerinde de azalmalar sağlanmaktadır.
- Geminin ne zaman ve hangi hatta çalışacağı çok önceden belli olduğundan ihracatçı ve ithalatçı endişesiz bir şekilde malını gemiye yükleyebilmektedir (Öztürk 2007).

## 2.9.2 Konteyner Taşımacılığının Dezavantajları

Konteyner taşımacılığının dezavantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Konteyner taşımacılığı yapabilmek için gerekli olan konteynerlerin üretilmesi ve konteyner terminalinin kurulmasının yanında, bu tesis ve ekipmanların gelişen teknolojiye ayak uydurabilmesini sağlamak için yüksek miktarlarda yatırıma ihtiyaç vardır.
- Konteyner taşımacılığında konteynerlerin birçok defa yüklenip boşaltılması üzerine konteynerler yıpranır ve eskir. Bu yıpranmalar ve bozulmaları en aza indirmek için tamir ve bakım yapılması gerekmektedir. Konteyner sayısının çokluğu göz önüne alındığında bu durum maliyetli bir iş olarak karşımıza çıkmaktadır.
- İşgücü yoğun bir çalışma modeli yerine sermaye yoğun bir çalışmaya dayalı olan konteyner taşımacılığı özellikle gelişmekte olan ülkelerde kısa dönemde işsizlik sorununu olumsuz yönde etkilemektedir. Konteyner taşımacılığında kullanılan bilgisayar kontrollü araçların ve makinelerin çokluğu bu durumun ortaya çıkmasına neden olmaktadır.
- Konteynerlerin kullanımı ile birlikte özellikle ağır makine parçalarının tek kalemde taşınması olanaklı hale gelmiş, bu durum da denizden indirilen konteynerlerin karayolu taşımalarının sağlıklı yapılması açısından, ülkeleri karayolları sağlamlaştırma/yenileme yönünde ilave yatırımlara sevk etmiştir. Burada sözü edilen birim yük haline getirmenin dezavantajlarının özellikle maliyete ilişkin hususları değişken olup, şirketlerin politikalarına bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Değişken giderler, toplam konteyner adedi ile çarpıldığında toplam günlük değişken giderler ortaya çıkmaktadır.

## 2.10 Konteyner Gemileri

Gelişen teknoloji ile beraber konteyner gemilerinin kapasiteleri artmış, dolayısıyla büyüklüklerinde de artışlar olmuştur. Tablo 2.3’de konteyner gemilerinin gelişimi gösterilmiştir. Konteyner gemilerinin büyüklükleri Tablo 2.3’de de görüldüğü gibi hızlı bir şekilde artmaktadır. Ancak 15000 TEU’luk bir geminin üretilip üretilmeyeceği hala bir tartışma konusudur. Böyle bir gemiye ait boyutlar

halen araştırılmaktadır. Jumbo gemi olarak adlandırılan bu gemilerin elleçlenebilmesi için rıhtım ön yüzeyinden yaklaşık 60-70 metredir. İleriye (yani güverte üzerinde 22 adet yan yana konteyner sıralanmaktadır) uzanan kolları olan rıhtım vinçleri (krenler) gerekmektedir (Yüksel ve Çevik 2006).

Tablo 2.3’de bahsedilen 3. Kuşak gemiler (Pana-Max) güverte üzerinde 13 sıra konteynere sahip olabilirler (Şekil 2.10). Pana-Max gemilerin maksimum konteyner kapasitesi 4500-5000 TEU’dur. Buna karşın Post-Pana-Max gemiler güverte üzerinde yan yana 18 sıra konteyner taşıyabilirler (Şekil 2.11). Burada Pana-Max tipi gemiden kasıt Panama Kanalından geçebilecek maksimum genişliğe sahip olan gemilerdir. Post-Pana-Max’lar ise bu genişlikten daha büyük olan konteyner gemileridir. Bu gemilerin maksimum kapasitesi ise 9000 TEU civarındadır. Konteyner ticaretinin artması ve kanalların genişliklerinin artırılmasıyla Post-Pana-Max gemilerden daha büyük kapasiteli gemilere ihtiyaç duyulacaktır. Suez-Max isimli 12000 TEU kapasiteli bu gemilerin Süveyş kanalından geçebilmeleri mümkün olacaktır (URL-1).

Önümüzdeki 10 yıllık süre içinde, denize indirilecek gemilerin Süveyş kanalının fiziksel sınırlamalarının üzerine çıkacağı öngörülmektedir. O günün gemileri, 18000 TEU kapasiteye ulaşarak genişliklerini 60 metreye su kesimlerini ise 21 metreye dek çıkartacaklardır. Bugün için ise, bu boyutlardaki gemilerin kesitleri Süveyş kanalını aştığı için, Post-Suez-Max olarak adlandırılmaktadır (URL-1).



**Şekil 2.10:** Pana-Max Tipi Konteyner Gemisi

**Tablo 2.3:** Konteynır Gemilerinin Gelişimi

Konteyner Gemisi	L (m)	B (m)	D (m)	Kapasite (TEU)
1. kuşak	180-200	27	9	750 - 1100
2. kuşak	225-240	30	10,5	1500-1800
3. kuşak	275-300	32	11,5	2400-3000
4. kuşak	290-310	32,3	12,5	4000-4500
<b>Post-Pana-Max</b>				
APL C-sınıf (1988)	275	39,4	12,5	4340
NYK Altair (1994)	300	37,1	13	4740
Reg. Maersk (1996)	318	42,8	14	6000
P&O Nedloyd (1998)	340	42,8	13	6670
Axel Maersk (2003)	352,1	42,8		7226
OOCL Shenzen (2003)	322,97	42,8		8063
CSL Europa (2004)	334	42,8		8498
MSC Pamela (2005)	321	45,6		9200
CMA CGM Medea (2006)	350,5	42,8		9415
Cosco Guangzhou (2006)	350,6	42,8		9449
Gudrun Maersk (2005)	367,28	42,8		9500
Xinlos Angeles (2006)	336,7	45,6		9600
Emma Maersk (2006)	397	56	15,5	11000
<b>Gelecek İçin Planlanan Gemiler</b>				
Suez-Max		50-57	14,4-16,4	12000
Post Suez-Max		60	21	18000
Post Malaca-Max	470	60	21	18000



**Şekil 2.11:** Pos-Pana-Max Tipi Konteyner Gemisi

### **3. KONTEYNER TERMİNALİ OPERASYONLARI**

Konteyner terminallerinde gerçekleşen süreçler ve bu süreçlerde kullanılan araç ve ekipmanlar şunlardır:

Konteyner elleçlemede başlıca 7 sistemden söz etmek mümkündür. Bunlar: Şasi (Treyler) Sistemi, Straddle Taşıyıcı (SC) Sistemi, Köprü Vinç Sistemi, Forklift Sistemi, Komputerize Sistem, Karışık Sistem ve Konteyner Ro-Ro sistemidir.

#### **3.1 Rıhtımla Depolama Alanı Arası**

Gemiden indirilen (import) konteynerler rıhtım vincinden taşıyıcı araçlarla depolama alanına taşınırken gemiye yüklenecek (export) konteynerler ise taşıyıcı araçlarla depolama alanından rıhtım vincine getirilmektedir (Yüksel ve Çevik 2006).

##### **3.1.1 Straddle Taşıyıcı Sistemi**

Konteyner, basit bir terminal hizmet treyleri üzerine bırakılarak terminal traktörüyle istiflenme alanına taşınır. İstifleme alanında treylerden Straddle Taşıyıcı ile indirilen konteyner orada taşıyıcının cinsine bağlı olarak iki, üç hatta dört tanesi üst üste olmak üzere alana istif edilir (Şekil 3.1). Terminal içerisinde mesafenin kısa olması ve depolama alanlarının kısıtlı olması hallerinde tavsiye edilmektedir. Straddle taşıyıcılar, konteyner terminallerinde kullanma elastikiyetleri ve yüksek talepleri karşılama bakımından geniş alanda kullanılmaktadır. Bu sistemdeki istif şeklinde konteynerler 6 adet 40'lik veya 12 adet 20'lik olarak boy sırasıyla istif edilmektedir (Acarer 1997).

Bu sistemde konteynerler rıhtımdan depo alanına taşındığı gibi depolama alanında sıra sıra depolama da yapılabilir. 3 sıra olması, operatör kabininin tepede olması dolayısıyla manevra kabiliyetini zorlaştırır. Alan verimliliği ve esnekliğinden dolayı terminal operasyon yöntemleri arasında en popüler olanıdır. Ancak oldukça pahalı ve kolayca bozulabilmektedir. SC operatörünün görüşü sınırlı olduğundan

ciddi emniyet kuralları uygulanmalıdır. Yıllık 150000-3000000 TEU elleçleme yapan orta boyuttaki terminaller için seçeneklerin en hızlısı straddle taşıyıcıdır.



**Şekil 3.1:** Straddle Taşıyıcı

### 3.1.2 Şasi Sistemi

Bu sistem Amerikan limanlarında oldukça yaygındır. Ancak sistemin dezavantajı çok fazla alana ihtiyaç duymasıdır. Treylar sistemi 3 farklı yöntemle uygulanmaktadır (Yüksel ve Çevik 2006).

1. Konteyner, karayolu treyları üzerine yerleştirilir ve doğrudan müşteriye gönderilir. Bu yöntem kullanılmamaktadır. Çünkü treylar sürücüsü uzun süre beklemek zorunda kalabilir, emniyet nedenlerinden dolayı rıhtım tarafında ticari trafiğe izin verilmemektedir, normal dokümantasyon ve/veya gümrük işlemleri bu arada yapılmak zorundadır.
2. Konteyner, terminal treyları üzerine yerleştirilir ve depolama alanına çekici ile götürülür. Daha sonraki elleçleme SC, FLT veya Reach Stacker (RS) ile yapılır.
3. Her konteyner bir treylere konularak park alanına çekici ile götürülür ve oradan karayolu kamyonu ile alınır (Şekil 3.2). Bu yöntem terminal içi karmaşıklığı azaltmasına karşın büyük alana ihtiyaç duyacağından depolama mümkün olmamaktadır.



**Şekil 3.2:** Şasi Sistemi

### 3.1.3 Forklift Sistemi

Straddle taşıyıcılar yerine ağır forkliftler de kullanılabilir. 20 ft'lik yüklü konteynerleri 28 ton kaldırma kapasiteli, 40 ft'lik yüklü konteynerleri de 35 tonluk forkliftlerle elleçleyebilmektedir. Yıllık kapasiteleri 30000-40000 olan limanlarda, forklift sistemi en iyi sistem olarak karşımıza çıkmaktadır (Yercan 1996).

Bu araçlar kullanıldığında konteynerler sadece iki sıra yan yana konularak depolanabilir ve depolama alanında daha fazla boş alana ihtiyaç duyulur. Bu sınırlamalar nedeniyle forklift, daha çok boş konteynerlerin elleçlenmesinde ve konteynerlerin boşaltılmasında kullanılır (Şekil 3.3). Straddle Carrier (SC)'e göre daha yavaştır ancak daha ucuzdur ve daha az arıza yapmaktadır (Yüksel ve Çevik 2006).

Forkliftin temel görevi, istif edilmiş veya edilmemiş ve palet üzerinde konulmuş eşyayı bir araya toplamak ve ayrı ayrı dağıtmaktır. Konteyner elleçlemesinde de forkliftlerin önemli görevleri vardır. Forkliftler değişik ağırlıktaki yükleri kaldırmak için yapılmışlardır. Liman içindeki hızları saatte 10 km'yi geçmez (Elver 2009).

Forkliftlerin kendi çevresinde dönebilmeleri ve birbirlerinin yanlarından kazasız geçebilmeleri için yeterli alana sahip olmaları gerekmektedir. Geçitler serbest sirkülasyonu sağlayacak genişlikte olmalı, fakat yer israfına yol açmamaktadır. Forklift her şeyden evvel ünite yüklerin depolanması için yükleme

veya alma noktasından kısa bir mesafeye taşımak veya o noktalardan yükü çekmek üzere kullanılan bir stoklama makinesidir. Uzak mesafelerde yatay bir taşıyıcı olarak görev yaptığında bu makinenin yeterliliği  $2/3$  oranında azalmaktadır. Forkliftin en verimli iş görmesi ise yüksek istifleme zamanında ortaya çıkar (Altınçubuk 2000).



**Şekil 3.3:** Forkliftler

### 3.1.4 Reach Stacker Sistemi

FLT'den farkı, konteyneri rıhtım vinci gibi tutmasıdır. Bu nedenle bir istif alanında ikinci sraya uzanabilir ve dolayısıyla konteynerler dört sıra yan yana istiflenebilir, istif yüksekliği dört konteyner boyuna çıkabilir (Şekil 3.4). Ancak alan verimliliği azdır (Yüksel ve Çevik 2006).



**Şekil 3.4:** Reach Stackers

### **3.1.5 Konteyner Ro-Ro Sistemi**

Konteynerler gemi güvertesinde ve hücre sisteminde geminin baş tarafında taşınmaktadır. Roll On/Roll Off operasyonları, eski gemilerde bir arka rampa kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Tekerlekli yük ve konteyner kombinasyonunun başlıca avantajı, modern yükleme için nakliyat koşullarına olanak sağlamasıdır (Acarer 1997). Terminal traktörü Ağır Roll On/Roll Off elleçlemesi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Terminal traktörleri, terminallerde Ro-Ro ile konteyner elleçlemesinde mükemmel performansı ve maksimum verimi sağlamaktadır. Bu aracın taşıma hızı 20km/h'dir.

### **3.1.6 Karışık Sistem**

Belli operasyonlar için en iyi ekipmanı kullanma sistemidir. Böyle bir sistemin başarısı için, geniş kapsamlı bilgi sistemi ve işletme organizasyonu gerekmektedir (Bayar 2005).

### **3.1.7 Komputerize Sistem**

Konteyner varış noktasına kadar hiç bir yere temas etmez, konteyneri boşaltan rıhtım vinci onu konteyner konveyörüne bırakır ve oradan raylı köprü vinci ile istifleme sahasına bırakılır. Bu sistem kompüter teçhizatını, telsiz verici iletişimini, büyük sermayeyi ve kaliteli bürü personelini gerektirmektedir (Acarer 1997).

Yukarıda bahsedilen yedi tip ekipman rıhtımla depolama arasındaki veya depolama alanındaki taşımacılıkta kullanılır. Büyük terminallerde bu iki fonksiyon genellikle ayrılmaktadır. Ancak aşağıdaki iki sistem sadece rıhtım ile depolama arasında kullanılmaktadır (Taner 2009).

### 3.1.8 Çoklu Treyler Sistemi

Çoklu Treyler Sistemi'nde (MTS) 5 treyler birbirine bağlanarak sadece bir çekici tarafından çekilir (Şekil 3.5). Böylece sürücü ihtiyacı azaltılmış olur. Bu sistem Hollanda'da geliştirilmiştir ve dönüşlerde bütün treylerin aynı kalmasını sağlayacak şekilde özel olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.5: Çoklu Treyler Sistemi

**Otomatik Kılavuzlu Araçlar (Automated Guided Vehicle-AGV):** Rotterdam ECT terminali tarafından geliştirilmiş, rıhtımla depolama alanı arasında çalışan insansız şasilerdir (Şekil 3.6). Merkezi bir istasyon tarafından kumanda edilirler. Bu yenilikçi tasarımın sorunu ise terminal kaplama tabakasını çok çabuk bozmalarıdır. Çünkü tüm AGV'ler aynı rotayı izlediklerinden ve büyük tekerlek yüklerine sahip olduklarından kaplama tabakasında izler oluşmaktadır (Yüksel ve Çevik 2006).



Şekil 3.6: Otomatik Kılavuzlu Araç

### 3.2 Rıhtım Alanında (Apron)

Geminin varışından önce boşaltılacak olan konteynerler belirlenir ve yüklenecek olan konteynerler ise gemiye doğru sıra ile taşınabilmesi için ihracat depolama alanında önceden hazırlanır. Bağlamaların (lashing) çıkartılmasının hemen ardından güvertedeki konteynerler rıhtım vinçleri (gantry kren) ile gemiden kıyıya boşaltılmaya başlanır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Rıhtım Vinci

### 3.3 Depolama Alanında

**Köprü vinci:** Başlıca özelliği istifleme alanında üst üste dört veya beş, yan yana 5-9 adet konteyner konteyneri istiflemek için lastikli tekerlekli veya raylı köprü vinçlerinin kullanılmış olmasıdır. Bu sistemin başlıca avantajı mevcut alanların ekonomik kullanılmasıdır (Altınçubuk 2000).

Köprü Vinç sisteminin başlangıç yatırımları daha yüksek ve verimliliği daha düşüktür. Ayrıca kara taşıtlarının kaza olasılıkları da daha fazladır. Dolayısıyla başlıca avantajı kara alanlarının ekonomik bir şekilde kullanılmasıdır. Düşük kaplama maliyetleri, ekipman güvenilirliği, işçilere daha basit eğitim, fakat

denetleyici ve planlayıcı personele en üst standartlarda eğitim gereklidir (Yüksel ve Çevik 2006).

Köprü vinçlerinin lastik tekerlekli, otomatik depolama, raylı olmak üzere üç şekli vardır. Lastik tekerlekli kreyinlerin kapasiteleri 30-56 ton olup 20 ft ve 40 ft'lik ISO ve standartlar dışı konteynerleri elleçleyebilmektedir (Acarer 1997).

Vinçler, diğer türdeki donanımlar için çok ağır ve hantal olan yükleri alarak yerleştirir. Kreyinlerin en büyük avantajı, ulaşabildiği mesafedir. Uzun bumlu bir kara kreyini bir geminin güvertesine ulaştırarak eşyayı alır ve 40-50 metre kademedeki bir taşıma aracına bu yükü bırakabilen, özellikle uzak bir noktaya ihtiyaç duyulabiliyorsa bu takdirde 60 metrelik bumlu vinçler kullanılmaktadır. Ayrıca bu kreyin kapasiteleri 1 tondan 60 tona kadar değişmektedir (Acarer 1997).

**Lastik tekerlekli vinç (rubber tyred gantry crane - RTGC):** Kesinlikle kullanılan ve çok büyük bir öneme sahip olan alan vinçleri, lastik tekerlekler üzerinde hareket eden lastik tekerlekli köprülü vinçlerdir (Rubber Tyred Gantry Crane-RTGC). RTGC'nin köprüsü bloğun genişliği doğrultusunda birinci ile yedinci dizi arasında hareket edebilen bir sürücüye sahiptir. RTGC, lastikleri üzerinde bloğun uzunluğu boyunca hareket edebilir. Bu iki hareketle, RTGC bloğun herhangi bir dizisine/den ya da kamyon geçiş yolundaki kamyonu/dan bir konteyneri kaldırmak ya da aşağı bırakmak için lastiklerini konumlandırabilir. Vargel, dağıtıcı ve kızak istif vincinin operatörleridir ve ayrı koordinatlarda hareket ederler.

Bir RTGC'nin yüksekliği her dizinin yüksekliğini belirtmektedir (örneğin; bir istifte konteynerlerin bir bölümü dikey olarak konumlandırılabilir). RTGC'lerin eski modelleri beş seviye- yüksek RTGC'lerdir (Şekil 3.8). Bu model bir istifte sadece dört konteyner koyabilir, beşinci seviyeye bloğun genişliği boyunca konteyner hareketi için ihtiyaç duyulmaktadır. Daha yeni modeller, altı-seviye-yüksek RTGC'lerdir. Bunlar bir istifte beş konteyner koyabilir ve altıncı seviyeyi konteyner hareketi için kullanırlar (Murty ve diğ. 2005).



**Şekil 3.8:** Lastik Tekerlekli Vinç

**Raylı portal vinç (rail mounted gantry crane - RMGC):** Eğer altyapı veya zemin durumu çok iyi değilse bu sistem tercih edilir. Çünkü raylar yükü iyi dağıtır. Bu krenler elektrikle çalışırlar (Şekil 3.9). Çok yoğun istifleme olanaklarına sahiptirler (Yüksel ve Çevik 2006).



**Şekil 3.9:** Raylı Portal Vinç

**Otomatik istifleme vinci (automated stacking crane - ASC):** İstif vinci, bir konteyner terminalinde istif bloklarındaki konteynerleri kamyonlara ya da kamyonlardaki konteynerleri istif bloklarına transfer etmek için yararlanır (Kim ve diğ. 2003).

Otomatik konteyner terminallerinde Automatic Stacking Crane (ASC) kullanılmaktadır ve özellikle bu ekipman çalışmamızda kullanacağımız istif vinci türüdür. Vargel, dağıtıcı ve kızak istif vinci operatörleridir ve ayrı koordinatlarda hareket ederler.

Bu istif vinçleri boyutları sayesinde bir blok üzerinde birbirleri içerisinden geçerek hareket etmektedirler. Bu sayede beklemeler azaltılmakta ve farklı büyüklükteki konteynerler için farklı boyutlardaki istif vinçleri atanmaktadır. Diğer yandan istif vinçlerinin üç boyutlu (X,Y,Z koordinatları) hareketi sayesinde esnek operasyonlar gerçekleştirilmektedir. Bu koordinatlarda istif vinci Z koordinatında kızak, Y koordinatında dağıtıcı ve X koordinatında da vargel ile hareket etmektedir. İstif vinçleri boşaltma ve yükleme sırasında konteyner elleçlediği sırada yani dolu iken daha yavaş hareket etmektedir. Bu tipteki ilk kren ECT tarafından geliştirilmiştir (Şekil 3.10)



**Şekil 3.10:** Otomatik İstifleme Vinci

### **3.4 Depolama Alanından Hinterland Taşımacılığına**

Konteynerlerin depolama alanından kamyon aktarma istasyonuna taşınması genellikle SC'lerle yapılmaktadır. Depolama alanından demiryoluna (ya da nehir bulunan konteyner terminallerinde iç su yolu “mavna (barge)” terminaline) gidişte ise mesafeye bağlı olarak çeşitli ekipmanlar kullanılmaktadır.

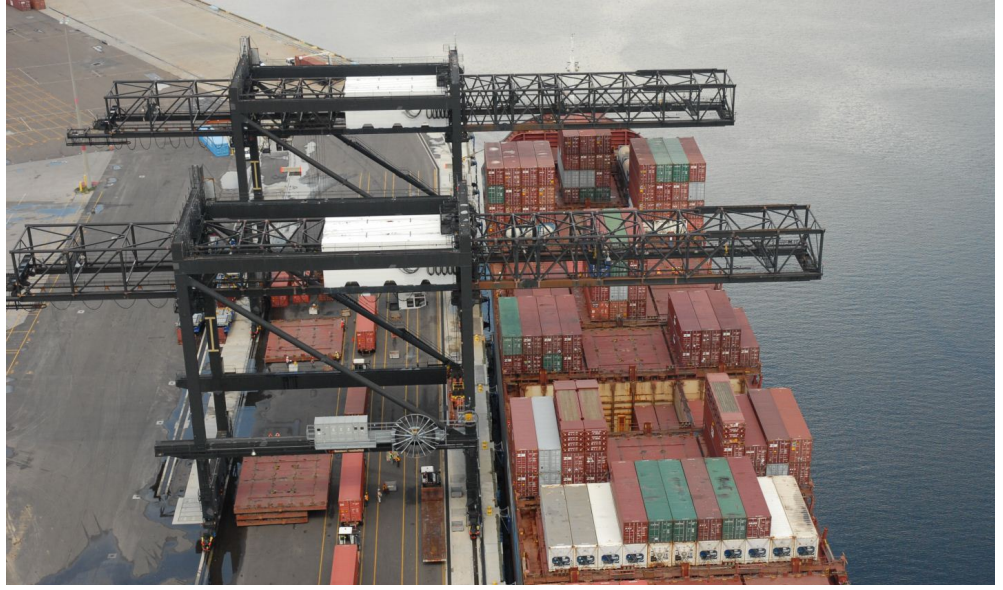
**Kapılar:** Konteynerlerin terminale giriş-çıkış yaptıkları noktalardır (Şekil 3.11). Bu noktalarda tüm kayıtlar tutulur ve gümrük işlemleri yapılır. Yüksek kapasiteli terminallerde kamyonların uzun kuyruklar oluşturmasını önlemek için ileri bilişim teknolojileri kullanılmaktadır (Yüksel ve Çevik 2006).



**Şekil 3.11:** Konteyner Terminali Giriş/Çıkış Kapısı

## 4. KIYI VİNCİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Konteyner terminallerinde kullanılan en önemli kaynaklardan biri rıhtım (rıhtım) vinçleridir (Şekil 4.1). Rıhtım vinçleri, terminalde inecek olan konteynerlerin gemiden indirilmesi, başka bir liman için yüklenecek olan konteynerlerin de gemiye yüklenmesi için kullanılmaktadır. Gemiye paralel olarak yere sabitlenmiş rayın üzerinde bulunan vinçler aynı rayı paylaştıkları için birbirleri üzerinden geçememektedir.



Şekil 4.1: Rıhtım Vinçleri

### 4.1 Rıhtım Operasyonları

Terminal operasyonları ile rıhtım operasyonları entegre olarak çalışmalı, rıhtım vinçleri gelen gemilere mümkün olan en kısa sürede hizmet vermelidir. Terminalin verimliliğini, ne kadar gemiye hizmet verdiğine bağlı olarak rıhtım vinçleri belirlemektedir. Rıhtım operasyonlarının bu kadar önemli olmasının sebebi vinçlerin pahalı ekipmanlar olması ve bir gemiye atanabilecek maksimum vinç miktarının geminin uzunluğuyla sınırlı olmasıdır.

Konteyner gemilerinin yapısı genel olarak aynı olmakla beraber farklı ihtiyaçlara göre değişebilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan konteyner gemilerinin ortak karakteristikleri;

- Güverte ve ambarın metal kapaklarla ayrılmış olması,
- Su üzerinde geminin dengesinin bozulmaması için konteynerlerin elleçlenmesinin simetrik olarak yapılması,
- Limana demirleme ve limandan ayrılma işlemlerinin kayda değer süreler alıyor olmasıdır.

Rıhtım operasyonlarının optimizasyonu için yapılması gereken planlamayı 4 grupta toplamak mümkündür;

1. Yük planı oluşturma
2. Rıhtım atama
3. Vinç atama
4. Vinç çizelgeleme

Bu çalışmada odaklanılan planlama aşaması, vinç çizelgelemedir. Yük planı oluşturma, rıhtım atama ve vinç atama problemlerinden de kısaca bahsetmek faydalı olacaktır.

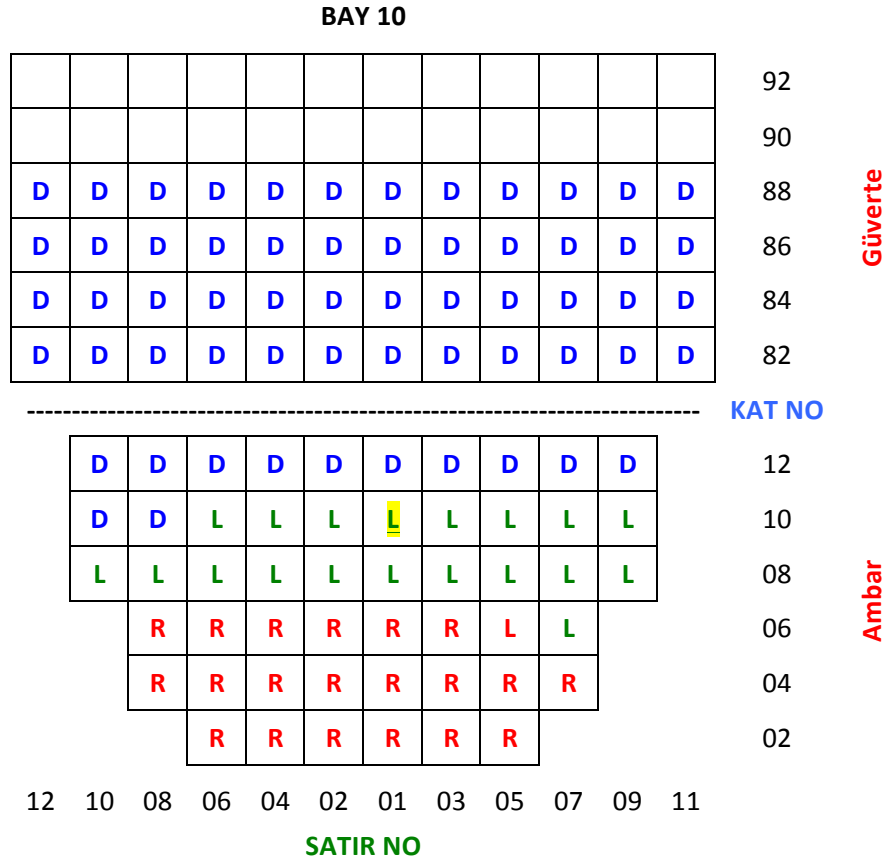
#### **4.1.1 Yük Planı (Stowage Plan)**

Konteyner gemilerinin rotası üzerinde uğrayacağı limanların listesini ve bu limanlarda yapılması gereken elleçlemeleri dikkate alarak bir yükleme planı (stowage plan) oluşturulmaktadır. Yükleme planı oluşturulurken gerekli olan bazı bilgiler;

- Geminin rotası üzerinde uğrayacağı limanların varış ve kalkış zamanlarını da içeren detaylı bir çizelgesi,
- Her bir liman için gemiye yüklenecek olan konteyner sayıları, boyutları, ağırlıkları ve içindeki yükün çeşidi,

- Her bir liman için o limanda incek olan konteynerler indikten sonra kalan konteynerlerin varış noktaları, gerekmektedir (Manaadiar 2009).

Yük planı, gemide enine uzanan bir konteyner bölmesi (bay) dikkate alınarak oluşturulur. Geminin bir bölmelik kesitini temsil eden Şekil 4.2’de de görüleceği üzere geminin güvertesi (deck) ile ambarındaki (hold) yatayda (tier no) ve dikeyde (row no) bir sırayı temsilen numaralar bulunmaktadır. Her bir hücrede bulunan harfler o hücrede bulunan konteynerin hangi limanda ineceğini göstermektedir. Şekil 4.2’deki altı çizili “L” harfinin olduğu hücredeki konteyner “100110” şeklinde kodlanır ve “Bay:10/ Row:01/ Tier: 10”u gösterir.

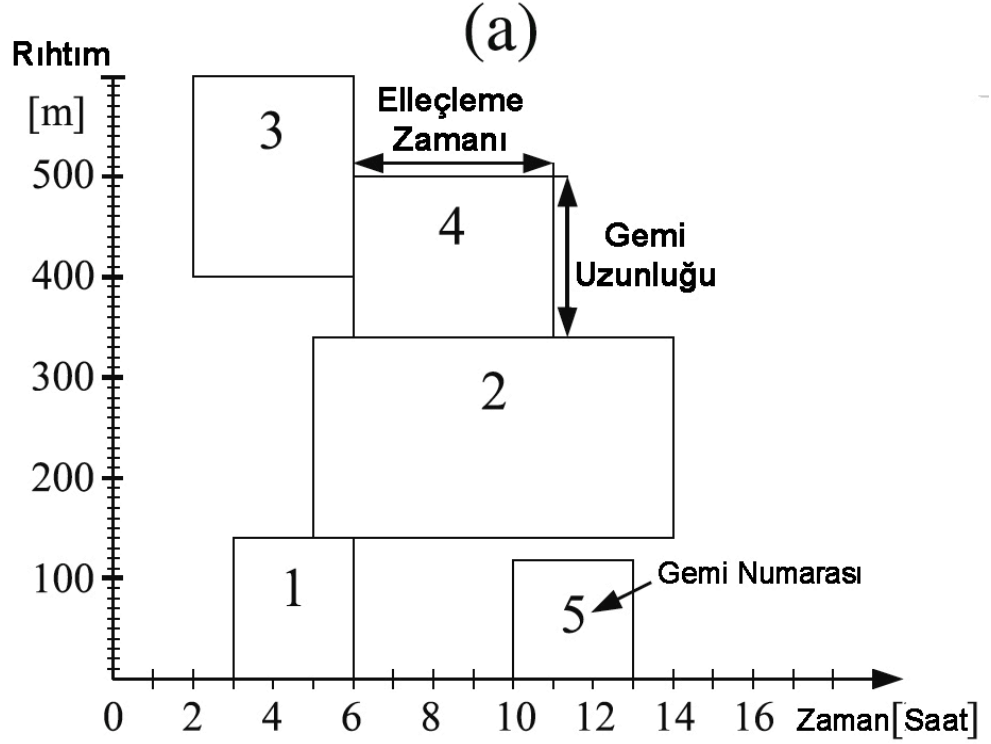


**Şekil 4.2:** Bir Bölme (bay) İçin Yük Planı

#### 4.1.2 Rıhtım Atama (Berth Allocation)

Konteyner terminallerinde rıhtım operasyonlarının yönetiminde, gelen gemilere atanacak olan rıhtım bölgesi ve süresinin önemi büyüktür. Farklı geliş süreleri ve servis süreleri olan, kapladıkları alan itibariyle de birbirinden ayrılan

gemilerin rıhtıma optimum şekilde atanması, gemi trafiğinin iyi yönetilmesi ve planlamanın iyi yapılması gerekmektedir (Şekil 4.3). Literatürde rıhtım atama problemi ile rıhtım vinci çizelgeleme problemini birlikte ele alıp çözüm geliştiren çalışmalar mevcuttur. Ancak bu alanda yapılan yayınlar sayıca yalnızca rıhtım vinci çizelgeleme probleminin çalışıldığı yayınlardan çok daha geridedir.



Şekil 4.3: Rıhtım Atama - Zaman Gösterimi

Rıhtım atama probleminin kısıtları incelendiğinde aşağıdaki gibi gruplanabilir (Imai ve diğ. 2005);

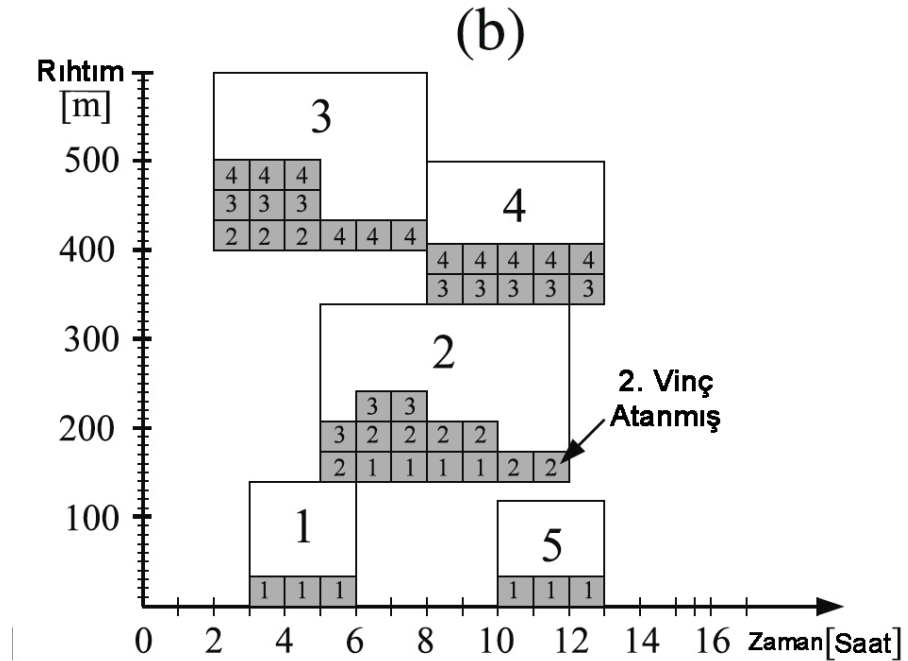
- Kesikli Yerleşim: Liman belirli sayıda bölgelere (rıhtım) ayrılır ve numaralandırılır. Gelen bir gemi yalnızca bu bölgenin içine demirleyebilir.
- Sürekli Yerleşim: Kesiklideki gibi bir bölümlendirme yoktur. Gemiler herhangi bir boşluğa demirleyebilir. Bu tip atama problemleri daha karmaşık ve çözümü daha zordur.
- Melez Yerleşim: Kesikli yerleşimde olduğu gibi liman belirli bölgelere ayrılmış ancak geminin bu bölgenin sınırlarını aşmasına izin verilmiştir. Ya da küçük gemilerin bir rıhtımı paylaşması mümkündür.

Gerçek hayattaki rıhtım atama işlemlerinde rıhtımın su derinliği ve geminin büyüklük kısıtları da devreye girmektedir. Bir diğer değişken de gemilerin geliş süreleridir. Geliş sürelerini aşağıdaki gibi gruplamak mümkündür (Imai ve diğ. 2001);

- Statik Gelişler: Gemilerin geliş süreleri dikkate alınmamakta, elleçlemeye başlamadan önce geminin rıhtıma demirlemeye hazır olduğu varsayılmaktadır.
- Dinamik Gelişler: Gemilere ait sabit bir demirleme zamanı verilmiştir, gemi daha önce gelse dahi rıhtıma demirleyememektedir.

#### 4.1.3 Vinç Atama Problemi (Quay Crane Assigment Problem)

Belirli bir periyot için limana gelecek olan tüm gemileri, gemilerin uzunluklarını ve gemilerdeki konteyner sayısını dikkate alarak mevcut vinçleri gemiler arasında paylaştırmaya vinç atama problemi denir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi atama sonucunda gemilerdeki görevlere rıhtım vinçleri atanmış, tüm vinçlerin çalışıyor olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 4.4: Rıhtım ve Vinç Atama- Zaman Gösterimi

#### 4.1.4 Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemi

Bu çalışmanın amaç ve kapsamı içinde olan rıhtım vinçleri konteyner terminalindeki fiziksel olarak en büyük, parasal olarak da en maliyetli ekipmanlardan biridir. Bu nedenle rıhtım vinçlerinin verimli kullanımı terminal yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Diğer bir açıdan, atıl kullanılan ve iyi çizelgelenemeyen vinçler rıhtıma yanaşan gemilerin servis sürelerinin uzamasına, gemilerin gecikmesine, müşterilerin memnuniyetsizliğine ve gelir kaybına neden olmaktadır.

Rıhtım vinci çizelgeleme probleminde amaç gemideki tüm konteynerlerin yüklenip/boşaltılma süresini en küçükmektir. Diğer bir deyişle, gemideki en son görevin tamamlandığı süreyi kısaltmaktır. Bu çalışmanın da amacı aynı şekilde görevlerin tamamlanma süresini minimize etmek için geliştirilen yöntemlerin performanslarının karşılaştırılmasıdır.

Literatürde rıhtım vinçlerinin çizelgelenmesi konusunda çeşitli çalışmalar mevcuttur;

(Chen ve diğ. 2014), tek yönlü küme tabanlı çizelgeleme yöntemini esas almış, karışık tamsayılı programlama (MIP) modeli kurduktan sonra CPLEX ile çözmüşlerdir. Konteynır gruplarını bir görev olarak ele almış, vinçlerin arasında bulunması gereken güvenlik boşluğunu, vinçlerin başlangıçtaki konumlarını ve diğer konteyner bölmelerine geçiş süresini dikkate almışlardır.

(Chung ve Chan 2013), yaptıkları çalışmada RVÇP'ni kendi modifiye ettikleri genetik algoritma (GA) ile çözmüşlerdir. Algoritmada iş yükü dengesine dayalı bir sezgisel kullanmışlar, mutasyon oranını bulanık mantık yardımıyla belirlemişlerdir.

(Unsal ve Oguz 2013), rıhtım vinci çizelgeleme problemine kısıt programlama (CP) yöntemini kullanarak çözüm getirmeye çalışmışlardır. Sonuçlarını, Tek Yönlü Çizelgeleme (UDS) ve Time Petri Nets (TPN) yöntemleriyle karşılaştırmışlar ve hesaplama zamanı açısından üstün sonuçlar elde etmişlerdir.

(Nguyen ve diğ. 2013), genetik algoritmaya (GA) ve genetik programlamaya (GP) dayalı iki farklı melez algoritma geliştirmişler, bu iki farklı algoritmadan elde

ettikleri çıktılarına yerel arama sezgiseli uygulayarak literatürdeki kıyaslama problemlerinde en iyi çözümden daha iyi çözümler elde etmişlerdir. Bu çalışmada da her bir konteynır grubu bir görev olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca her bir vincin hazırlık süresinin, başlangıç pozisyonunun olduğu varsayılmıştır. Bir konteyner bölmesi kadar güvenlik boşluğu dikkate alınmıştır.

(Exposito-Izquierdo ve diğ. 2013), çalışmalarında dağılım tahminleme algoritması(Estimation of Distribution Algorithm) ile yerel arama algoritmasının birlikte kullanıldığı melez bir yöntem (EDA/LS) kullanmışlardır. Görev olarak bir konteynır grubunu ele almışlardır. Vinçler arasındaki güvenlik boşluğu, görevlerin önceliği, vinçlerin hazırlık süreleri, başlangıç pozisyonları dikkate alınmıştır. Kullanılan yöntem görev sayısı yüksek olan problemlerde daha hızlı sonuçlar vermiştir.

(Lu ve diğ. 2012), geliştirdikleri sezgisel ile hiçbir vincin boşta beklemeyeceğini garanti etmektedir. Bunu yaparken komşu konteyner bölmelerindeki görevleri gerektiğinde yarıda bırakıp bir yandaki vince atama yapmışlardır. Yani bir görev olarak konteynır grubunu ele almışlar ama gerektiğinde görevi yarıda bırakıp başka bir vince atamışlardır.

(Legato ve diğ. 2012), iş çizelgesindeki tamamlanma süresinin alt sınırını belirlerken Lagrangian-relaxation, vinçlerin verimliliklerine odaklanıp görevlerin başlangıç zamanlarının belirlenmesinde Time Petri Net tabanlı bir yaklaşım ve dal-sınır algoritması (B&B) kullanmışlardır.

(Kayeshgar ve diğ. 2012), RVÇP'yi genetik algoritma (GA) ile çözmüşler, genetiğin verimliliğini artırmak için ilk olarak başlangıç popülasyonunu (Sammorra ve diğ. 2007) tarafından geliştirilen S-LOAD kuralına göre oluşturmuşlar, kromozomları belirlerken karar değişkeni sayısını düşürmeye odaklanmış yeni bir yaklaşım benimsemişler, karar değişkenleri için daha dar üst ve alt sınır hesaplama yaklaşımı geliştirmişlerdir.

(Hakam ve diğ. 2012), literatürdeki genel uygulamanın aksine bir konteynır grubu yerine aynı konteyner bölmesindeki tüm konteynırları bir görev olarak ele

almışlardır. RVÇP'nin çözümünde genetik algoritma (GA) kullanılmış, Microsoft Excel eklentisi olan Gene-Hunter ile çözülmüştür.

(Boysen ve diğ. 2012), RVÇP'yi literatürdeki çalışmaların aksine geminin tek taraflı aynı ray üzerindeki vinçler tarafından elleçlenmesi yerine gemiyi arasına alan karşılıklı vinçlerle elleçlenmesi şeklinde tanımlamıştır. Bu sebeple bazı vinçler arasında üzerinden geçememe kısıtı oluşurken bazıları arasında oluşmamıştır. Ayrıca bu çalışmada aynı raydaki vinçler arasında güvenlik boşluğu dikkate alınmamış, konteynır grupları yerine bir konteyner bölmesinin tamamı görev olarak tanımlanmıştır. Problemin çözümünde dinamik programlama (DP) kullanılmıştır.

(Chung ve Choy 2012), kendi geliştirdikleri genetik algoritma ile (Kim ve Park 2004)'ün çalışmasında kullandığı ve daha sonradan birçok yazar tarafından kullanılan veri setini kullanarak geliştirdikleri genetik algoritmanın (GA) verimliliğini ölçmüşlerdir. Önerilen genetik algoritma ile küçük örneklemlerle problemlerde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

(Zeng ve diğ. 2011), RAP ve RVÇP'ni birlikte çözen ve çizelgelerde oluşması muhtemel(beklenmeyen) kesintileri veya sorunları dikkate alan ve bu kesintilere çözüm bulan karışık tamsayı programlama (MIP) modeli geliştirmişlerdir. Simulation-Optimization modelinin hesaplama verimliliğini geliştirmek için "yerel yeniden çizelgeleme" (local rescheduling) ve tabu arama (TS) algoritmaları geliştirmişlerdir.

(Meisel ve Bierwirth 2011), RVÇP konusunda literatürde yapılan çalışmaların ortak bir platformda değerlendirilmesi ve kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla bu çalışmayı yapmıştır. Ayrıca bir örnek üzerinden; konteynır gruplarının (container groups), tamamen bir konteyner bölmesinin (complete bays) ve birkaç adet konteyner bölmesinin grupça (bay areas) bir görev olarak ele alındığı üç farklı problemi karşılaştırmıştır. En kısa süreyi konteynır gruplarında elde etmiştir, bunun sebebi aynı konteyner bölmesi üzerindeki farklı görevlerin farklı vinçler tarafından elleçlenebiliyor olmasıdır.

Gemilere atanacak vinç sayısı, gemi operatörleri ile liman yönetimi arasında yapılan anlaşma anlaşmaya bağlı olduğu için bir gemiye atanan vinç sayısı gemideki

tüm görevler bitmeden değişebilmektedir. Bu da oluşturulacak vinç çizelgesinin bu değişiklikleri dikkate almasını gerektirmektedir. (Meisel 2011), yaptığı çalışmada bu soruna Zaman Pencereci Vinç Çizelgesi (QCSPTW) ile çözüm bulmaya çalışmıştır. Görev sayısının çok olduğu (2-6 vinç) problemlerin çözümünde zaman pencereci tek yönlü çizelgeleme (UDSTW) adını verdiği sezgiseli; görev sayısının düşük olduğu (2 vinç) durumlarda ise ILOG CPLEX kullanmıştır.

(Liang ve diğ. 2009), rıhtım Atama Problemi (RAP) ve Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemini (RVÇP) bir bütün olarak ele almışlar ve çizelgeleme yaparken konteynır gemilerinin rıhtımın hangi limanına atanacağını ve gemilere hangi vinçlerin atanacağını belirledikten sonra her bir gemi için vinç çizelgelemesini yapmışlardır. Çizelgenin oluşturulması için Genetik Algoritma (GA) kullanmışlardır. Amaç fonksiyonları gemi elleçleme zamanı ve gecikmelerin toplam süresinin minimizasyonudur. Rıhtım vinçlerinin gemilere göre ve rıhtımlara göre atandığı iki farklı senaryo için problemi çözmüşler, toplam servis süresi açısından gemilere göre yapılan atamanın daha iyi sonuçlar verdiğini ispatlamışlardır.

(Bierwirth ve Meisel 2009), yaptıkları çalışmada RVÇP'ni karışık tamsayılı programlama modeli olarak modellemiş ve merkezinde dal-sınır (B&B) algoritması olan bir sezgisel; tek yönlü çizelgeleme (UniDirectional Schedule) çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Geliştirilen UDS sezgiseli, rıhtım vinci kısıtları açısından düşünüldüğünde çözüm uzayındaki arama işlemini; çözüm kalitesi ve süresi açısından verimli hale getirmektedir. Ayrıca bu çalışmada her bir konteynır grubu bir görev olarak ele alınmış ve görevlerin önceliği dikkate alınmıştır. Geliştirilen sezgisel ile karışık tamsayılı programlama tabanlı çözümün sonuçları karşılaştırılmıştır.

(Moccia ve diğ. 2006), çalışmalarında Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemini (RVÇP) araç rotalama problemi olarak formüle etmişlerdir. Konteynır limanı gibi karmaşık bir sistemde karar verme işlemleri hiyerarşik olduğu için RVÇP'dan önce Rıhtım Vinci Atama Problemini (RVAP) çözmüşlerdir. Çalışmalarındaki amaç RVÇP'yi Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama olarak modellemek ve dal-kesme algoritması (Branch-and-Cut) kullanarak çözmektir. Deney sonuçlarına göre geliştirdikleri algoritmanın yüksek örneklerde üstün sonuçlar verdiğini ispatlamışlardır.

(Kim ve Park 2004), rıhtım vinçlerinin çizelgelenmesi problemini karışık tamsayı programlama modeli olarak formüle etmişlerdir. Çalışmada, RVÇP'nin optimal çözümünü elde etmek için dal-sınır (branch-bound) algoritması ve B&B'u yerel minimumdan kurtarmak için bir sezgisel arama algoritması olan Greddy rassal uyarlamalı arama (GRASP) algoritması uygulanmıştır. Kim ve Park görev sayısının yüksek olduğu problemlerde GRASP'ın çok daha hızlı sonuçlar verdiğini ispatlamışlardır. Ayrıca bu çalışma literatürde vinçlerin birbiri üzerinden geçememesini, vinçler arasındaki güvenlik boşluğunu, aynı konteynır sırasındaki görevlerin öncelik ilişkilerini, vinçlerin yatayda yer değiştirme hızını ve vinçlerin başlangıç pozisyonlarını birlikte ele alan ilk çalışmalar arasında yer almaktadır.

Rıhtım Atama Problemi (RAP) ve Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemi (RVÇP)'nin eşzamanlı çözümü konusunda ilk olarak (Park ve Kim 2003) çalışmıştır. Geminin rıhtımın hangi bölgesine, ne zaman atanacağını ve gemiye atanacak vinç sayısının belirlenmesi için karışık tamsayı programlama (MIP) modeli ve Lagrangean relaxation esaslı bir sezgisel çözüm metodu sunmuşlardır.

## 5. YÖNTEM

Konteyner terminallerinde gemilerin yüklerinin indirilmesi ve gemilere yüklerin yüklenmesi için kullanılan büyük ve pahalı ekipmanlar olan rıhtım vinçlerinin, limandaki bir geminin limandan en hızlı şekilde ayrılabilmesi için hangi konteynerleri hangi sırada elleçleyeceğini iyi bir şekilde planlamak gerekmektedir. Bu planlamanın ana amacı geminin rıhtımdan en kısa sürede ayrılmasını sağlamaktır. Bu amaç çerçevesinde bir gemiye en fazla altı tane rıhtım vinci atanabilmekte ve rıhtım vinçleri aynı rayı paylaşmaktadır. Aynı rayı paylaşan vinçler birbiri üzerinden geçememekte ve büyüklüklerinden dolayı aralarında bir konteyner sırası kadar güvenlik boşluğu olmak zorundadır. Planlamaya başlamadan önce her vincin başlangıç pozisyonunun belirli olduğu varsayılmaktadır.

Bu çalışmada, rıhtım vinci çizelgeleme problemi (RVÇP) karışık tam sayılı programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Model hazırlanırken (Kim ve Park 2004) modelinden yararlanılmıştır. NP-zor olan RVÇP'nin çözümü için sezgisel bir yöntem olan genetik algoritma kullanılmıştır. (Meisel ve Bierwirth 2011)'de kullanılan veri setini kullanan bir bilgisayar uygulaması geliştirilmiş ve 10, 20 görevli olmak üzere 20 farklı veri setinde deneyler gerçekleştirilmiştir. En iyi parametre setinin belirlenmesi amacıyla 10 görevli bir veri seti için tek yönlü ANOVA testi uygulanmıştır.

### 5.1 Matematiksel Model

#### İndisler

$i, j$  Görevler.  
 $k$  Rıhtım Vinçleri ,  $k = 1, \dots, K$  .

#### Problem Verileri

$p_i$  Görev  $i$ 'nin işlem süresi.  
 $r_k$   $k$  Vincinin en erken uygun olma zamanı.  
 $l_i$  Görev  $i$ 'nin bulunduğu bay numarası.  
 $l_k^0$   $k$  Vincinin başlangıç pozisyonu.

- $l_k^T$   $k$  Vincinin bitiş pozisyonu.  
 $t_{ij}$  Bir vincin görev  $i$ 'nin bulunduğu  $l_i$  bayinden; görev  $j$ 'nin bulunduğu  $l_j$  bayine yolculuk süresi.  
 $M$  Yeterince büyük sabit bir sayı.

### İndis Setleri

- $\Omega$  Görev seti.  
 $\Psi$  Eşzamanlı gerçekleştirilemeyecek görev çiftleri seti.  
 $(i, j) \in \Psi$   
 $\Phi$  Aralarında öncelik kuralı olan görev çiftleri seti.  
 $(i, j) \in \Phi$  (görev  $i$  görev  $j$ 'den önce elleçlenmeli)

### Karar Değişkenleri

- $X_{ij}^k$  1,  $k$  vinci görev  $i$ 'den hemen sonra görev  $j$ 'yi elleçliyorsa.  
 0, diğer.  
 $Y_k$   $k$  Vincinin görevlerinin tümünü bitirdiği zaman (Toplam tamamlanma zamanı).  
 $D_i$  Görev  $i$ 'nin bittiği zaman.  
 $Z_{ij}$  1, Görev  $j$ , görev  $i$  tamamlandıktan sonra başlıyorsa.  
 0, diğer.  
 $W$  Tüm görevlerin bittiği zaman (Maksimum tamamlanma zamanı Makespan).

### Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } W \tag{1}$$

Öyle ki

$$Y_k \leq W \quad \forall k = 1, \dots, K, \tag{2}$$

$$\sum_{j \in \Omega} X_{0j}^k = 1 \quad \forall k = 1, \dots, K, \tag{3}$$

$$\sum_{i \in \Omega} X_{iT}^k = 1 \quad \forall k = 1, \dots, K, \tag{4}$$

$$\sum_k \sum_{i \in \Omega} X_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \Omega, \tag{5}$$

$$\sum_j X_{ij}^k - \sum_j X_{ji}^k = 0 \quad \forall j \in \Omega, \forall k = 1, \dots, K, \tag{6}$$

$$D_i + t_{ij} + p_j - D_j \leq M(1 - X_{ij}^k) \quad \forall i, j \in \Omega, \forall k = 1, \dots, K, \tag{7}$$

$$D_i + p_j \leq D_j \quad \forall (i, j) \in \Phi, \quad (8)$$

$$D_i - D_j + p_j \leq M(1 - Z_{ij}) \quad \forall i, j \in \Omega, \quad (9)$$

$$Z_{ij} + Z_{ji} = 1 \quad \forall (i, j) \in \Psi, \quad (10)$$

$$\sum_{v=1}^k \sum_{u \in \Omega} X_{uj}^u - \sum_{v=1}^k \sum_{u \in \Omega} X_{ui}^u \leq M(Z_{ij} + Z_{ji}) \quad \forall i, j \in \Omega, l_i < l_j, \forall k = 1, \dots, K, \quad (11)$$

$$D_j + t_{jT}^k - Y_k \leq M(1 - X_{jT}^k) \quad \forall i, j \in \Omega, \forall k = 1, \dots, K, \quad (12)$$

$$r_k - D_j + t_{0j}^k + p_j \leq M(1 - X_{0j}^k) \quad \forall i, j \in \Omega, \forall k = 1, \dots, K, \quad (13)$$

$$X_{ij}^k, Z_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i, j \in \Omega, \forall k = 1, \dots, K, \quad (14)$$

$$Y_k, D_i \geq 0 \quad \forall i \in \Omega, \forall k = 1, \dots, K, \quad (15)$$

(1) Amaç fonksiyonu en son görevin tamamlanma zamanı olan makespan'in minimizasyonudur. (2) Makespan'in en uzun vinç tamamlanma zamanına eşit ya da büyük olduğunu gösterir. (3) ve (4) vinçlerin ilk ve son görevlerini belirler. (5) Her bir görevin yalnızca bir vinç tarafından elleçlendiğini gösterir. (6) Görevlerin önceliklerinin dikkate alındığını ve görev sırasının bozulmadığını gösterir. (7) Eşzamanlı olarak her bir görevin tamamlanma zamanını belirler ve alt-turları elimine eder. (8) Gerektiğinde görev j'den önce görev i'nin tamamlanacağını gösterir. (9) Görev j, görev i bittikten sonra başlıyorsa  $Z_{ij}$ 'nin 1'e eşit olacağını gösterir. (10) Görev i ve görev j'nin eş zamanlı elleçlenemeyeceğini gösterir. (11) Vinçler arasındaki güvenlik boşluğu korunmuş oluyor. (12) Her bir vincin görevlerinin tamamlanma zamanı. (13) Her bir vincin görevlerine başlayabileceği en erken zamanı belirler.

## 5.2 Kullanılan Genetik Algoritma Adımları

Adım 1. Boş bir kromozomun üst segmentine görevleri öncelik kurallarını dikkate alarak rassal olarak ata.

- Adım 2. Aynı kromozomun boş olan alt segmentine rassal olarak vinç atamasını yap. Böylelikle bir tane kromozom oluşturulmuş oldu.
- Adım 3. 1-2 Adımlarını tekrarlayarak parametrik olarak girilen  $2n$  tane kromozomdan oluşan başlangıç popülasyonunu oluştur.
- Adım 4. Başlangıç popülasyonundaki en iyi uygunluk değerine sahip parametrik olarak girilen belirli orandaki bireyi ('e' tane) direk yeni nesle aktar.
- Adım 5. Başlangıç popülasyonunun daha iyi uygunluk değerine sahip olan 'n-e' tane kromozomu GA popülasyonu olarak seç.
- Adım 6.  $\sigma$ -truncation olarak adlandırılan uygunluk derecelendirme tekniğini kullanarak eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomları belirle.
- Adım 7. Eşleştirme havuzuna alınan bireylerden çaprazlama işlemi uygulanacakları parametrik olarak girilen seçim yöntemini kullanarak seç.
- Adım 8. Seçilen bireyleri, pozisyon tabanlı çaprazlama operatörünü kullanarak parametrik olarak girilen miktarda çaprazla.
- Adım 9. Çaprazlanmış bireylerden uygunluk değerine göre seçilen bireylere mutasyonun replacement ve swap operatörlerini uygula. Her kromozomdaki iki tane gene mutasyon uygulanacaktır. Mutasyona uğrayan birey sayısı parametrik olarak girilmektedir.
- Adım 10. Başlangıç popülasyonu ile çaprazlama ve mutasyon sonucu oluşan bireylerin içinden en uygun bireyi belirle.
- Adım 11. Sonlandırma kriteri sağlanana kadar 5. Adımdan itibaren süreci yeniden başlat.

### 5.3 Sezgisel Algoritmalar ve Kullanım Alanları

Literatürde bilinen çözüm yolu bulunamayan problemler bulunmaktadır. Bazı problemler için ise etkin çözüm yolu bulmak zor olabilmektedir. Problem tipleri kategorilere ayrılırken kullanılan sınıflamalardan biri polinom zamanda çözülebilen ve polinom zamanda çözülemeyen problemlerdir. Polinom zamanda çözülemeyen, çözümü zor problemlere NP-Zor ismi verilmektedir. Gezgin satıcı problemi, sırt çantası problemi vb. problemler NP-Zor problem kategorisine girmektedir. NP-Zor problemlerin tümünü etkin bir şekilde çözebilen tek bir algoritma mevcut değildir.

Ancak tek bir algoritmanın tüm NP-Zor problemleri etkin bir şekilde çözemeyeceği de henüz ispatlanmamıştır.

Kombinatorial optimizasyon problemleri (KOP) sonlu sayıda uygun çözüm değeri olan problemlerdir. Bu problemler hesaplama karmaşıklıklarına göre sınıflandırılır. KOP sonlu çözüm kümesinden (S) en iyi çözüm değerini amaç fonksiyonu değerlendirerek bulabilme problemleridir (Bjorndal ve diğ. 1995).

Geçmiş yıllarda araştırmacılar özellikle kombinatorial optimizasyon problemlerin çözümü için büyük çaba sarf etmişlerdir. Optimal çözümü elde etmek için gerekli olan hesaplama işlemleri açısından değerlendirildiğinde, KOP oldukça zor problemlerdir. Bundan dolayı, büyük boyutlu problemlerin çözümünde uygun hesaplama süresi içerisinde optimuma yakın çözümleri bulabilen yaklaşık algoritmaları geliştirmek ve kullanmak önemli hale gelmiştir. Bu yüzden zeki ve etkili sezgisel yaklaşımların zor problemlerin çözümünde kullanılması üzerinde oldukça fazla araştırma yapılmıştır. Bu yaklaşımlar ağırlıklı olarak biyoloji, zooloji, fizik, bilgisayar ve karar üretme bilimlerinden türetilmiştir.

Çok sayıda değişkenin bulunduğu makine-parça rotalama/atama gibi problemler KOP sınıfındaki problemlerdendir. İşlerin hangi makine ile hangi sırada yapılacağını belirleme problemi ise bir çizelgeleme problemidir. Birçok alternatif yolun bulunduğu bir ortamda minimum mesafeyi bulabilme problemine Gezgın Satıcı Problemi (GSP) denilmektedir. GSP'nin en büyük özelliği kombinatorial optimizasyona çözüm yolları aranırken kullanılan deneme problemi olarak kullanılmasıdır. Mesafenin en küçüklenmesi bir optimizasyondur. GSP kombinatorial problem olduğundan dolayı diferansiyel matematik kullanarak türevlerinin sıfırlanması ile bulunan çözüm büyük çaptaki problemlerde kolayca kullanılamamaktadır. Yanıt süreklilik gösteren çözüm kümesinde değildir.

Araç rotalama problemi (ARP) polinom zamanda deterministik olmayan (NP-Zor) problem türlerinden biridir. Tüm ARP uygulamalarında kesin çözüme ulaşan tek bir çözüm yolu bulunmamaktadır. Probleme kesin bir çözüm bulmamakla beraber yaklaşık sonuç bulabilen sezgisel yaklaşımlar karmaşık bir optimizasyon problem olan araç rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılan çözüm yöntemleridir.

ARP çözümlerinin geliştirilmesi ile ilgili akademik çalışmalarda matematiksel modeller yerine sezgisel yöntemler ağırlık kazanmaktadır.

KOP çözümünde genellikle sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Literatürde bu açıdan bir boşluk bulunmakta ve sezgisel algoritmaların her zaman çalışmadığı savunulmaktadır. Gerçekten de bir problem için geçersiz olan sezgisel yaklaşım, diğerinde başarılı sonuçlar verebilir.

Konteyner terminalinde rıhtım vinçlerinin operasyonları makine-parça rotalama/atama operasyonlarına benzemektedir. İstif vinçlerinin konteynerleri hangi sırada ve hangi rıhtım vinciyle elleçleyeceğine karar vermek NP-Zor problemdir. Bu problem çözüm konusunda yaşanan zorluklardan ötürü literatürde NP-Hard problem olarak tanımlanmıştır (Wenying ve diğ. 2010).

## **5.4 Genetik Algoritmalar**

### **5.4.1 Giriş**

Geçtiğimiz 40 yıllık dönem içerisinde, evrimsel algoritmaların değişik ekolleri geliştirilmiştir. Genetik algoritmalar (Holland 1975) tarafından Amerika’da, evrimsel stratejiler (Rechenberg 1973), (Schwefel 1981) ve evrimsel programlama (Fogel ve diğ. 1966) tarafından Almanya’da geliştirilmiştir. Bu algoritmaların her biri ayrı bir yaklaşım üzerine inşa edilmiş olsa da hepsinde doğal evrimin prensiplerinden esinlenilmiştir.

### **5.4.2 Genetik Algoritmanın Tarihçesi**

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland bu konuda ilk çalışmaları yapan kişidir. Mekanik öğrenme konusunda çalışan Holland, Darwin’in evrim kuramında etkilenecek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşündü. Tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine böyle yapılarda oluşan bir topluluğun

çoğalma, çiftleşme, mutasyon, vb. genetik süreçlerden geçerek başarılı (öğrenebilen) yeni bireyler oluşturabildiğini gördü.

Çalışmalarının sonucunu açıkladığını kitabının 1975'te yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı Genetik Algoritmalar (ya da kısaca GA) olarak yerleşti. Ancak 1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak doktorasını veren David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi 1989'da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınlamaya dek genetik algoritmaların pek pratik yararı olmayan bir araştırma konusu olduğu düşünülüyordu. Hâlbuki Goldberg'in gaz boru hatlarının denetimi üzerine yaptığı doktora tezi ona sadece 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmakla kalmadı, genetik algoritmaların pratik kullanımının da olabirliğini kanıtladı. Ayrıca kitabında genetik algoritmalara dayalı tam 83 uygulamaya yer vererek GA'nın dünyanın her yerinde çeşitli konularda kullanılmakta olduğunu gösterdi.

Genetik algoritmalar, doğal seçim ve en uygunun araştırma prensiplerine bağlı olarak biyolojik organizmaların evrim gibi genetik süreçlerini esas alan sezgisel arama algoritmasıdır. Doğal olarak, bir nüfus içerisinde yer alan her bir birey kaynaklar ve çiftleşmek için bir eşi cezbetmek için birbiriyle yarışır. Mevcut koşullara en uygun olan bireyler hayatta kalır ve genetik özelliklerini oğul bireylere (offspring) taşırlar. İyi özelliklere sahip bireylerin eşleşmesi ile süper donanımlı (super fit) oğul bireyler ortaya çıkar.

### 5.4.3 Genetik Algoritmanın Çalışma Prensibi

Genetik algoritma, belirli sayıdaki kromozomum rastgele oluşturulması ile çözüme başlar ve aşağıdaki adımları tekrar eder. Genetik algoritmanın akışı Şekil 5.1'de verilmektedir (Kulak ve diğ. 2008).

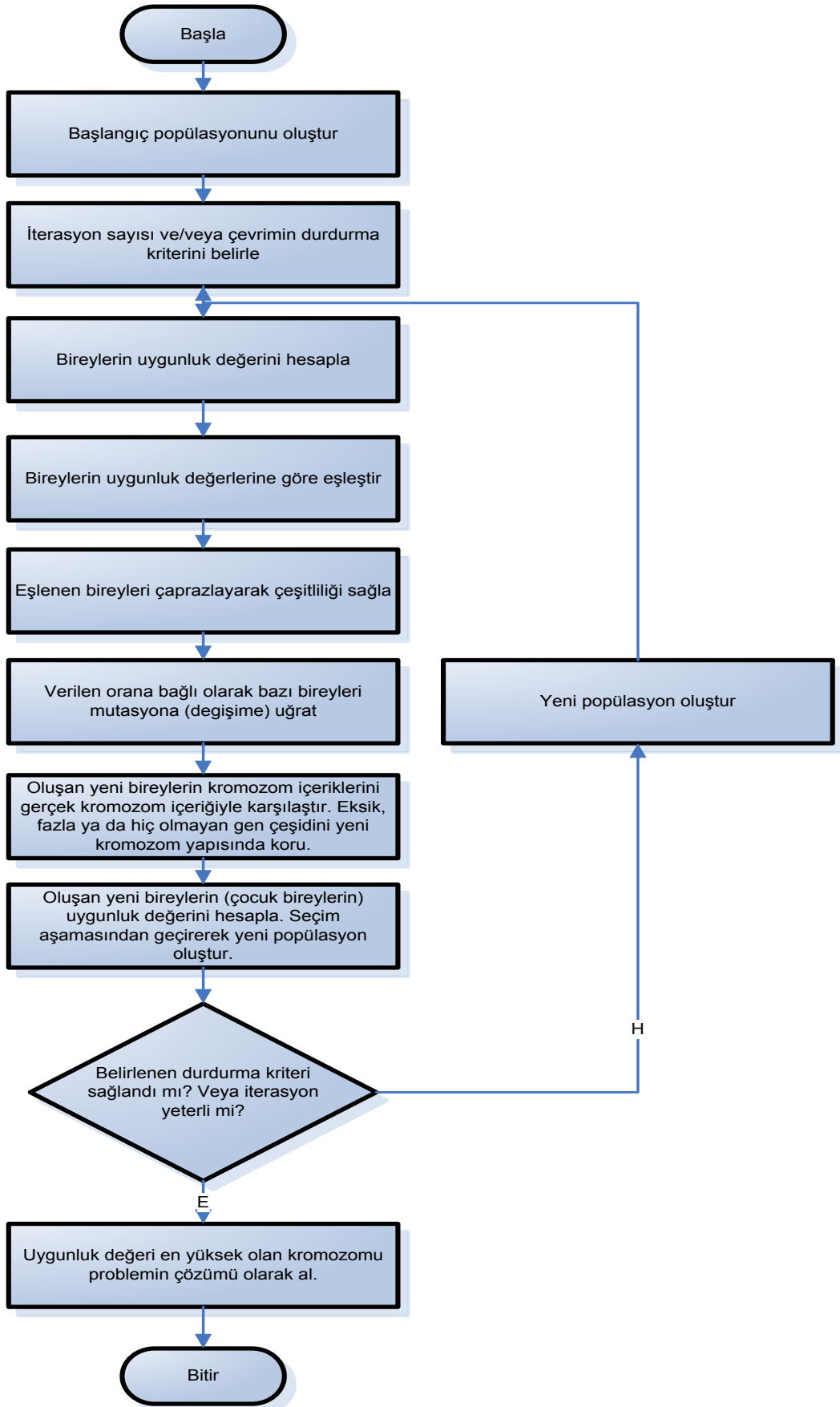
1. Başlangıç:  $n$  adet kromozom içeren popülasyonun oluşturulması (problemin uygun bir çözümü)(Koyuncuoğlu 2012)
2. Uygunluk: Her  $x$  kromozomu için uygunluğun  $f(x)$  değerlendirilmesi,
3. Yeni popülasyon: Yeni popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımların tekrar edilmesi,

- 3.1. Seçim: İki ebeveyn kromozomun uyumluluğuna göre seçimi (daha iyi uyum seçilme şansını artırır.),
  - 3.2. Çaprazlama: Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanması. Eğer çaprazlama yapılmazsa yeni fert anne veya babanın kopyası olacaktır.
  - 3.3. Mutasyon: Yeni ferdin mutasyon olasılığına göre kromozom içindeki konumu değiştirilir.
  - 3.4. Ekleme: Yeni bireyin yeni popülasyona eklenmesi.
4. Değiştirme: Algoritmanın yeniden çalıştırılmasında oluşan yeni popülasyonun kullanılması,
  5. Test: Eğer sonuç tatmin ediyorsa algoritmanın sona erdirilmesi ve son popülasyonun çözüm olarak sunulması.
  6. Döngü: 2. adıma geri dönülmesi

#### 5.4.4 Genetik Algoritmanın Adımları

Genetik algoritmalar doğal biyolojik evrimin özelliklerini taklit eden stokastik arama yöntemleridir. Genetik algoritmalar, potansiyel çözümlerden oluşan bir nüfus üzerinde, en iyiyi yaşatma prensibi doğrultusunda çalışarak kesin çözüme yakın çözümler elde etmeye çalışırlar. Her bir nesilde, bireyler uygunluk değerlerine göre seçilir ve doğal genetikten ilham alınarak ortaya konan operatörler yardımıyla birbirleriyle eşleştirilir. Bu süreç, tıpkı doğal adaptasyonda olduğu gibi nüfus içerisinde yer alan bireylerin mevcut durumlarına göre daha uygun bir çevreye taşınmasını sağlayarak nüfusun gelişimini sağlar.

Hesaplamanın başlamasının ardından, nüfusu meydana getiren bir grup birey oluşturulur. Bu bireylerin uygunluk değerlerinin hesaplanmasıyla ilk nesil oluşturulmuş olur. Eğer optimizasyon ölçütü sağlanamaz ise yeni nesil oluşturulur. Oğul bireylerin oluşturulması için uygunluk değerlerine göre ebeveynler seçilir. Bütün oğul bireyler belirli bir mutasyon oranına göre mutasyona tabi tutulur. Bu işlemin ardından oğul bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır. Oğul bireyler, ebeveynlerin yerini almak suretiyle nüfusa dâhil edilir. Bu çevrim optimizasyon ölçütü sağlanıncaya kadar devam eder.



Şekil 5.1: GA'nın Akışı (Koyuncuoğlu 2012)

Bu şekilde tek bir nüfustan oluşturulmuş genetik algoritma kuvvetlidir ve birçok problem türü için iyi sonuçlar üretir. Ancak, çoklu alt nüfusların tanımlanması ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Her bir alt nüfus, diğer alt nüfuslarla değişim yapmaması için izole edilir ve tıpkı tek nüfuslu genetik algoritma gibi işlem uygulanır. Çok nesilli genetik algoritmalar tek nesilli genetik algoritmalara nazaran doğal evrim kurallarına daha benzer yapıda faaliyet gösterir.

### *Başlatma*

Algoritma nüfus adı verilen ve kromozomlarla temsil edilen bir çözüm kümesi ile başlamaktadır. Bir toplumdaki çözümler yeni toplumların üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem, yeni toplumun eskisinden daha iyi olacağı umuduyla yapılmaktadır. Yeni çözümler (oğul) üretmek için alınan çözümler uygunluklarına (fitness) göre seçilmektedir. Daha uygun olan tekrar üretim için daha fazla şansa sahiptir. Bu süreç belli bir durum (örneğin belli sayıda toplum veya en iyi çözümün gelişmesi) karşılanana kadar tekrar edilmektedir.

### *Yeniden üretim*

Yeniden üretimde yapılan ilk işlem çaprazlamadır. Ebeveynler değişik yollarla eşleştirilerek tamamen yeni bireyler oluşturulur. Yeni oluşturulan bireyler daha sonra mutasyon işlemine tabi tutulabilirler. Mutasyonun anlamı, kromozomlar üzerinde değişikliklerin meydana gelmesidir. Bu değişiklikler, genellikle ebeveynlerden genlerin kopyalanması sırasında meydana gelir.

### *Seçim*

Seçim, en temel genetik işlemdir ve ilk kez Darwin tarafından öne sürülen en uygun olanın yaşamını sürdürmesi esasına dayanır. Her bireye yeniden üremesi için fırsat veren bir işlemdir. Bir sonraki nüfusta üremeleri için nüfus içerisinde en yüksek uygunluğa sahip olan bireylerden birer kopya alınarak eşleştirme havuzuna atılır. Eşleştirme havuzunun boyutu nüfus boyutuyla aynıdır. İyi derecede uygunluğa sahip olmayan bireylerin üreme havuzuna kopyalarının alınması mümkün değildir. Kopyalama işleminden sonra, birey çiftleri eşleştirme havuzundan rastgele alınır ve çiftleştirilir. Bu işlem, eşleştirme havuzunda birey kalmayınca kadar devam eder.

### 5.4.5 Genetik Operatörler

#### *Çaprazlama operatörü*

Çaprazlama, ebeveynlerden bazı genleri alarak yeni bireyler oluşturma işlemidir. Çaprazlama yapılacak konum rastgele seçilir. Oluşan yeni birey ebeveynlerinin bazı özelliklerini almış ve bir bakıma ikisinin kopyası olmuştur. Çaprazlama işlemi başka şekillerde de yapılabilir. Birden fazla çaprazlama noktası gibi daha iyi performans almak amacıyla değişik çaprazlamalar kullanılabilir (Kurt 2001).

#### *Sıralı Çaprazlama*

İki noktalı çaprazlama, tek noktalı çaprazlama kullanıldığında yaşanan zorlukları aşma amacı güder. Bunlardan en önemlisi de çaprazlama esnasında ortaya çıkan uzun şemanın bozulmasıdır. Bu durum, klasik tek noktalı çaprazlama kullanıldığında kolaylıkla birleşemeyen şemanın kombinasyonunda görülür (Kulak ve diğ. 2008).

#### *Pozisyon Tabanlı Çaprazlama*

Literatürde kullanılan diğer bir çaprazlama yöntemi ise pozisyon tabanlı çaprazlamadır. Bu yöntemde ilk olarak, Şekil 5.7’de gösterildiği gibi rastsal olarak seçilmiş genler bir ebeveynden çocuğa kalıtsallaştırılır. Boş yerlere ise diğer ebeveyndeki konteynerlerin sırasında diğer konteynerler yerleştirilir. Pozisyonadaki sayılar  $[0, 1]$  olarak rastsal tamsayılar olarak seçilmiştir. Her pozisyonun çaprazlama olasılığı %50’dir (Kulak ve diğ. 2007).

#### *Mutasyon operatörü*

Canlılarda gen rekombinasyonlarının dışındaki diğer nedenlerle ve ani olarak meydana gelen kalıtsal değişimlere mutasyon denir. Mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı değişmeyerek sabit kalır. Mutasyon frekansının büyüklüğü GA’nın performansını etkilemektedir. Mutasyon, kazara kaybolan gen değerlerini yeniden ortaya çıkarmaktan sorumlu, genetik yığılmayı önleyen ve rastgele aramada etkili bir operatördür (Beasley ve Chu 1996).

Mutasyonun asıl amacı, nüfus içerisinde yer alan bireylerin çeşitliliğinde artış sağlamaktır. İyi oluşturulamayan başlangıç nüfusu, çözüm kümesinde çeşitliliği sağlayamaz. Ayrıca evrim süresi içerisinde bireylerin bir noktada birbirine çok yaklaşımları yani genetik yığılma da çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır. Çeşitliliğin sağlanması için mutasyon, seçim aşamasında veya çaprazlamadan sonra uygulanabilmektedir. Fakat yaygın olarak çaprazlama operatöründen sonra kullanılır.

## 5.5 Geliştirilen Yöntem

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Genetik algoritmalar diğer klasik arama tekniklerinden farklı olarak, topluluk olarak adlandırılan başlangıç rassal çözümler kümesi ile çözüme başlarlar (Gen ve Cheng 1997). Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde nüfus adını alır. Nüfuslar vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir.

Mevcut problem için bir çözümü temsil eden topluluktaki her bir birey kromozom olarak adlandırılır. Kromozomlar bir dizi kısımlardan oluşur ve her bir kısım gen olarak ifade edilmektedir. Kromozomlar başarılı iterasyonlar vasıtası ile evrim geçirirler ve yeni nesilleri oluştururlar. Her bir nesil ya da iterasyon için, topluluktaki her bir kromozom uygunluk fonksiyonu (fitness function) ile değerlendirilir. Çocuk (offspring) olarak adlandırılan yeni kromozomlar hem çaprazlama (crossover) operatörü kullanılarak mevcut nesildeki iki kromozomun eşleştirilmesi, hem de mutasyon (mutation) kullanılarak bir kromozomun modifikasyonu ile ortaya çıkarılırlar. Aile (parent) kromozomlarının ve oluşturulan çocukların bir kısmı uygunluk değerlerine göre seçilir. Geri kalanlar topluluk hacminin sabit tutulması için elenir. Bu uygulama sonucunda yeni bir nesil oluşturulur. Belli bir iterasyon sonucunda ilgili probleme en iyi çözüm üreten kromozomun ortaya çıkması sağlanır.

Genetik algoritmayı diğer arama tekniklerinden farklı kılan özellikleri şöyledir (Goldberg 1989):

- Genetik algoritma, parametrelerin kendileri ile doğrudan ilgilenmez, parametre setlerinin kodları ile ilgilenir,
- Genetik algoritmanın arama alanı, yığının veya nüfusun tamamıdır; tek nokta veya noktalarda arama yapmaz,
- Genetik algoritmalarda amaç fonksiyonu kullanılır, sapma değerleri veya diğer hata faktörleri kullanılmaz,
- Genetik algoritmaların uygulanmasında kullanılan operatörler stokastik yöntemlere dayanır, deterministik yöntemler kullanılmaz.

### 5.5.1 GA ile Çözümün Kodlanması

GA'nın önemli bir kısmını çözümün kodlanması oluşturmaktadır. GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması gerekir. Geliştirilen genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması büyük önem taşımaktadır.

Şekil 5.2'de RVCÇ problemini çözmek için, görev numaraları ve rıhtım vinci numaralarını içeren çift katmanlı bir kromozom yapısı oluşturulmuştur. Kromozomun üst katmanındaki her gen bir göreve karşılık gelirken, alt katmandaki her bir gen üstündeki görevin hangi rıhtım vinci tarafından elleçleneceğini göstermektedir. Üst katmandaki görevlerin elleçlenme sırası ise kromozomun solundan sağına doğru olmaktadır. Yani birinci rıhtım vincine atanan görevler sırasıyla; 4, 12, 2, 13, 15, 9, 14: ikinci rıhtım vincine atanan görevler de sırasıyla; 1, 10, 7, 6, 5, 3, 8, 11 şeklindedir.

<b>Görev</b>	4	1	10	7	12	2	13	15	6	5	3	8	11	9	14
<b>RV</b>	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1

Şekil 5.2: Kromozom Yapısı

### 5.5.2 İlk Nüfusun Oluşturulması

Genetik algoritma ile yapılan çalışmalarda, başlangıç popülasyonu olarak bilinen ve rassal olarak belirlenmiş büyük bir kromozom kümesi ile çözüme başlanır. Başlangıç çözümü, genetik algoritmanın çözüme hızlı ulaşmasında önemli bir

etkendir. Bu çalışmada başlangıç popülasyonunun oluşturulmasını bir örnek üzerinden şu şekilde özetleyebiliriz;

Gemide bulunan her bir konteyner grubu bir görev olarak tanımlanmış ve sürelerle lokasyonlar Tablo 5.1'deki gibidir. Tablonun ilk satırı görev numaralarını, ikinci satır görev sürelerini ve üçüncü satır da görevlerin bulunduğu konteyner bölme numaralarını göstermektedir. Aynı konteyner bölümünde bulunan görevlerin önceliği ise; (12,13), (11,14), (6,5), (5,8) şeklindedir. Yani T12 bitmeden T13'ün, T11 bitmeden T14'ün, T6 bitmeden T5'in, T5 bitmeden de T8'in başlamadığıdır. Bu veri setinde konteyner elleçlemek için atanmış iki adet rıhtım vinci mevcuttur.

**Tablo 5.1:** Gemideki Görev Bilgileri

Görev	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
Süre	11	25	35	27	45	53	7	10	8	8	21	57	6	17	34
Konum	12	6	15	9	14	14	11	14	8	13	5	3	3	5	7

Öncelikle boş bir kromozomun üst katmanına rassal olarak, aynı zamanda görevlerin önceliğini de dikkate alarak iş sırası oluşturulur. kromozomun alt katmanına da yine rassal olarak vinç atamaları yapılır (Şekil 5.3). Böylelikle bir tane kromozom oluşturulmuştur.

Görev	4	1	10	11	14	12	2	13	7	6	5	3	8	15	9
RV	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1

**Şekil 5.3:** Kromozomda İş Sırası ve Vinç Ataması Gösterimi

### 5.5.3 Uygunluk

Her nesil için topluluktaki tüm kromozomlar uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilirler. Uygunluk değeri daha iyi olan kromozomlar yeni çocukları oluşturmak için eşleştirme havuzuna seçilirler. Uygunluk değeri daha iyi olan kromozomların eşleştirilmesi GA' nın çözüme daha kısa zamanda ulaşmasını sağlamaktadır. Geliştirilen GA' da uygunluk fonksiyonu oluşturulan çizelgeye göre tüm görevlerin tamamlandığı süredir. Tüm kromozomlar içerisinde görevlerin tamamlanma süresi en kısa olan kromozom en iyi çözüm olarak değerlendirilir. Geliştirilen sezgisele göre kromozomda görevlerin sırası oluşturulurken görev

öncelikleri dikkate alınmıştır. Geliştirilen yöntemde uygunluk fonksiyonu tüm görevlerin tamamlandığı zamandır.

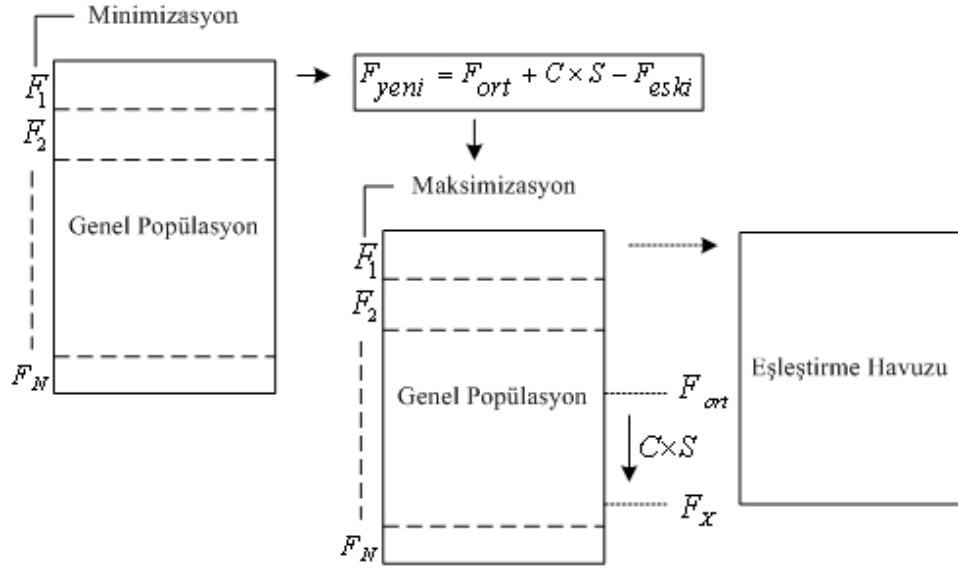
#### 5.5.4 Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması

Eşleştirme süreci ile seçilmiş aile kromozomlarından bir ya da daha fazla çocuk üretilmesi amaçlanmaktadır. Her nesil için eşleştirme havuzu oluşturulmadan belirtilen süreç gerçekleştirilemez. Topluluk içinden eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomların belirlenmesi de GA'nın iyi performans vermesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomların belirlenmesi için  $\sigma$ -truncation olarak adlandırılan uygunluk derecelendirme tekniği (fitness scaling technique) kullanılmıştır (Goldberg 1989).  $\sigma$ , nüfus içinde yer alan kromozomlara ait sürelerin standart sapmasını ifade etmektedir ve yeniden derecelendirilmiş uygunluk fonksiyonu Denklem 5.1'de gösterilmiştir.

$$Uygunluk_{yeni} = (Uygunluk_{ort} + C \times S \text{ tan dart Sapma}) - Uygunluk_{eski}$$

$$F_{yeni} = (\bar{F} + C \cdot \sigma) - F_{eski} \quad (5.1)$$

Şekil 5.4'te kromozomların eşleştirme havuzuna alınmadan önce gerçekleştirilen yeniden derecelendirme işlemi gösterilmektedir. Uygunluk değerleri yeniden derecelendirilen genel nüfusta, hangi bireylerin eşleştirme havuzuna alınacağı noktasında nüfus ortalamasının ne kadar altına inileceği c katsayısı ile belirlenir. Bu formülasyon sayesinde, belirlenen sınırın altında kalan çözümlerin yeni uygunluk değerleri sıfırın altında olacağı için bu çözümler, çözüm kümesi dışında bırakılmaktadır. Sadece eşleştirme havuzuna alınan bireylere çaprazlama uygulanır. Buradaki amaç, iyi çözümlerin birbirleri ile eşleştirilmesini sağlamaktır.



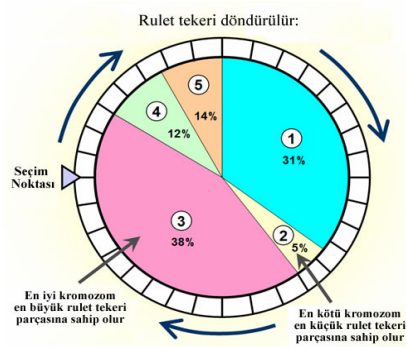
Şekil 5.4: Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması (Kulak 2007)

### 5.5.5 Çaprazlanacak Bireylerin Seçilmesi

Yine çaprazlama operatörü uygulaması için eşleştirme havuzundan aile kromozom çiftlerinin belirlenmesi gerekir. Bu noktada kullanılan yöntemler, rulet tekeri, sıra esaslı ağırlıklandırma ve turnuva metotlarıdır.

#### Rulet tekeri

Rulet seçiminde kromozomlar uyumluluk fonksiyonuna göre bir rulet etrafına gruplanır. Uygunluk fonksiyonu herhangi bir ölçüte uyan bireylerin seçilmesi için kullanılır. Bu rulet üzerinden rastgele bir birey seçilir. Daha büyük alana sahip bireyin seçilmeansı daha fazla olacaktır.



Şekil 5.5: Rulet Tekerini Seçimi

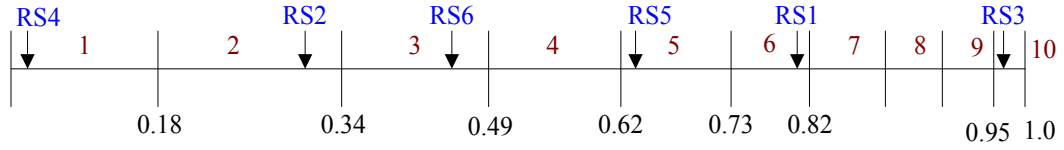
Tablo 5.2’de 11 adet kromozomun uygunluk fonksiyonları ve seçim olasılıklarını göstermektedir. 1 numaralı kromozom en yüksek uygunluk değerine sahip olduğu için rulet tekeri üzerinde en büyük alanı kaplayacaktır. 11 numaralı kromozomun seçim şansı bulunmamaktadır.

**Tablo 5.2:** Seçim Olasılığı ve Uygunluk Değeri

Kromozom No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Uygunluk	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0
Seçim Olasılığı	0.18	0.16	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.03	0.02	0.0

Bu kromozomlar arasından eşleştirme havuzuna seçim yapmak için 0 ile 1 arasında rastgele sayılar üretilir. Altı tane rastgele sayı örneği aşağıda sunulmuştur. 6 sayısı rastgele belirlenmiş bir sayıdır. 0.81, 0.32, 0.96, 0.01, 0.65, 0.42.

Şekil 5.6 rulet tekeri yöntemi ile kromozomların seçim sürecini göstermektedir.



**Şekil 5.6:** Rulet Tekerleği ile Kromozom Seçim Süreci

Seçimden sonra meydana gelen eşleştirme nüfusu 1, 2, 3, 5, 6, 9 olacaktır. Rulet tekeri seçim algoritması ön yargılı bir seçim yapmanın önüne geçer, ancak sapmanın minimum olmasını da garanti etmez (Kulak ve diğ. 2008; Şahin 2009).

#### *Sıralama seçimi*

Rulet tekeri basit bir yöntem olmasına karşın, eğer bireylerin uygunluk değerleri arasındaki fark çok fazla ise kötü çözümlere çok az bir seçim şansı tanımaktadır. Sıra esaslı seçim yönteminde ise en kötü çözüme 1 numaralı sıra verilerek en iyi çözüme kadar her bir çözüme 1 arttırarak  $N_{iyi}$ 'e kadar sıra numarası verilmektedir. Burada  $N_{iyi}$  eşleştirme havuzuna eşleştirilmek üzere seçilen kromozom sayısını ifade etmektedir. n ise bir kromozomun sıra numarasına karşılık gelmektedir.

Tüm bu durumlar dikkate alındığında bir kromozomun seçim ihtimali ( $P_n$ ) Denklem 5.3'deki eşitlik ile hesaplanır (Kulak ve diğ. 2008; Şahin 2009).

$$P_n = \frac{n}{\sum_{n=1}^{N_{iyi}} n} \quad (5.3)$$

#### *Turnuva seçimi*

Topluluktaki bireyler arasından rastgele belirli miktarda bireyler seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan birey tutulur geriye kalanlar atılır. Yeni topluluk bireyleri belli sayıdaki bireyler arasında yapılan yarışma sonucu oluşturulur. Yığın genişliğine ulaşıncaya kadar bu işlem devam eder. Bu yöntemin avantajı herhangi bir kromozomun süreç sırasında kaybedilme olasılığı rulet tekeri seçim tekniğine göre daha azdır (Şahin 2009).

### **5.5.6 Genetik Operatörler**

Genetik algoritmaların en önemli özelliği arama uzayında çeşitliliği sağlamak için genetik operatörlerin kullanılmasıdır. Çaprazlama, mutasyon, swap ve replace çeşitliliğin sağlanması amacıyla kullanılan genetik operatörlerdendir. Önerilen Genetik algoritma esaslı yaklaşımda, Pozisyon Tabanlı çaprazlama yöntemleri kullanılmıştır.

#### *Pozisyon Tabanlı Çaprazlama*

Çalışmada kullanılan çaprazlama yöntemi pozisyon tabanlı çaprazlamadır. Pozisyonundaki sayılar [0, 1] olarak rassal tamsayılar olarak seçilmiştir. Her pozisyonun çaprazlama olasılığı %50'dir (Kulak 2007). Bu yöntemde ilk olarak, Şekil 5.7'de gösterildiği gibi rassal olarak seçilmiş genler Ebeveyn 1'den yavruya kalıtsallaştırılır. Yavrudaki boş genlere ise Ebeveyn 2'de seçili olmayan genler yerleştirilir. Böylelikle yeni bir birey (uygunluk değeri) oluşturulmuş olur. Çaprazlamada Ebeveyn 2'nin seçili olmayan genleri sırayla yavruya aktarıldığı için yavru bireyde oluşan gen yapısında görevlerin öncelik kuralları bozulmamış olacaktır.

Rassal Sayı	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	
Ebeveyn 1	Task	4	1	11	14	12	2	13	7	6	5	3	8	15	9	10
	QC	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1
				↓		↓		↓		↓				↓		
Yavru	Task	4	14	11	3	12	2	1	7	6	13	10	8	15	9	5
	QC	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1
		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ebeveyn 2	Task	4	14	3	11	1	2	13	10	6	9	12	8	15	5	7
	QC	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1

Şekil 5.7: Çaprazlama Gösterimi

### Mutasyon

Seçim aşamasında veya çaprazlamadan sonra kullanılabilen mutasyon operatörü bu çalışmada çaprazlama işleminden sonra uygulanmıştır. Mutasyon ile bireyler rassal olarak değiştirilirler. Bu değişimler (mutasyon adımları) genellikle küçüktür. Bireylerin değişkenlerine küçük bir olasılıkla (mutasyon olasılığı) uygulanırlar. Mutasyon operatörü yalnızca, kromozomun alt katmanında bulunan vinçlere uygulanmıştır. İkili yer değiştirme (swap) ve yerine koyma (inversion) yöntemleri çalışmada kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan mutasyon yöntemlerinin probleme uygulanışı sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Mutasyonlar gen dizilimi üzerindeki küçük modifikasyonlardır fakat kromozoma ait uygunluk fonksiyonunun değerini iyileştirebilirler.

rassal	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Önce	Task	4	1	11	14	12	2	13	7	6	5	3	8	15	9	10
	QC	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1
Sonra	Task	4	1	11	14	12	2	13	7	6	5	3	8	15	9	10
	QC	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2

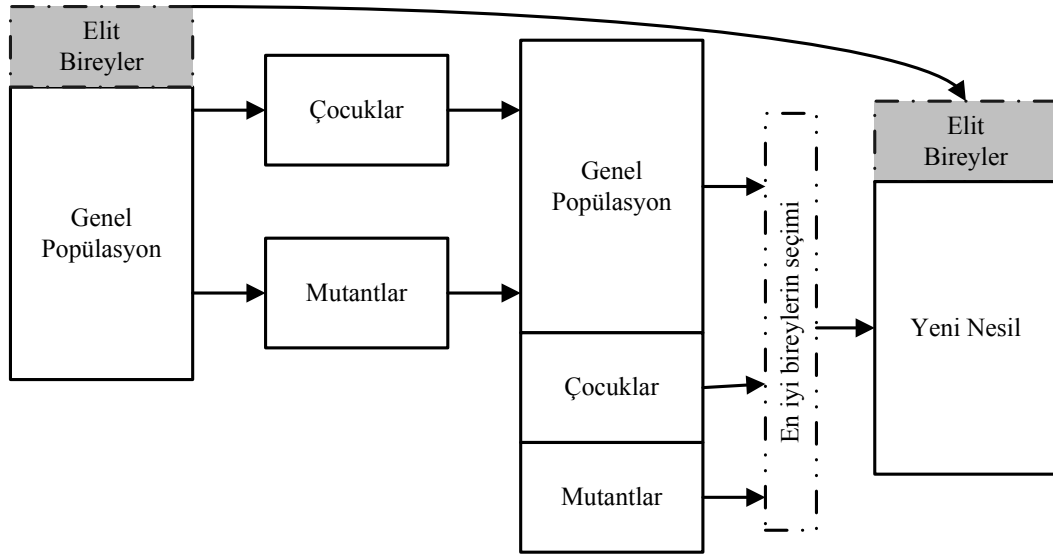
Şekil 5.8: İkili Yer Değiştirme Yöntemi

Önce	Task	x	1	11	14	12	y	13	7	6	y	5	3	8	15	x	9	10
	QC	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
Sonra	Task	x	9	11	14	12	5	13	7	6	2	3	8	15	1	10	x	1
	QC	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
							y				y							

Şekil 5.9: Swap Gösterimi

### 5.5.7 Elitizm

Çalışma kapsamında, yeni nüfusun oluşturulmasında Elitizm işlemi de uygulanmıştır. Elitizm, en iyi bir ya da daha fazla iyi çözümü yeni nesile doğrudan kopyalama işlemini ifade eder. İyi çözümlerin kaybedilmesini önleyerek GA' nın hızlı çözüm vermesini sağlayan önemli bir yöntemdir. Elitler haricinde kalan nüfus çaprazlama ve mutasyon ile elde edilen oğul bireylerden uygunluk değerlerine göre seçilirler. En iyi kromozomların seçimi her nesilde bu şekilde devam eder. Yeni neslin seçimi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Yeni Nesil Seçimi (Kulak 2007)

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Literatürde RVÇP'nin çözümüne yönelik geliştirilen algoritmalarla bu çalışmada geliştirilen algoritmanın kalitesini farklı problem büyüklüklerinde kıyaslamak için (Meisel ve Bierwirth 2011)'in oluşturduğu ve çoğu çalışmada kullanılan veri setleri kullanılacaktır. Ek A'da (Meisel ve Bierwirth 2011)'in oluşturduğu veri setlerinin bir kısmı mevcuttur.

Deneysel çalışmada kullanılan veri setleri (Meisel ve Bierwirth 2011) oluşturdukları veri seti oluşturma yazılımı ile oluşturulmuştur. Veri setlerinde, konteynerlerin bulunduğu konumlar, görevlerin öncelikleri, görevlerin işlem süreleri, rıhtım vinçlerinin başlangıç pozisyonları, vinçlere ait ilerleme zamanları ve güvenlik boşluğu bulunmaktadır. Daha önceki bölümde sunulan GA tabanlı yaklaşım, Java programlama dili ile kodlanmış ve hazırlanan program için bir ara yüz tasarlanmıştır. Ara yüz yardımıyla, konteynerlere, rıhtım vinçlerine ait özellikler, GA'ya ait programa girilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm parametreler ve deney sayısı program ara yüzünde girilebilmektedir. Sonuçlar ara yüzünde yapılan deneyler neticesinde elde edilen çözümler çözüm tarihine göre sıralı olarak görülebilmektedir. Çözüm Detayı ve Çözüm Grafiği ara yüzlerinde deneylerin sonuçlarının ayrıntılarına ulaşılabilmektedir. Uygulamanın yukarıda bahsedilen ara yüz ekran görüntüleri EKLER 'de bulunmaktadır.

En uygun parametrelerin belirlenmesi için 8 GB RAM ve 2.60 Ghz i7 işlemcili standart bir bilgisayarda deneyler gerçekleştirilmiştir. ANOVA testinin uygulanarak en iyi parametre setinin belirlenebilmesi için farklı parametre değerleri kullanılarak Şekil 6.1 'deki veri seti kullanılarak toplam 11.520 deney yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan parametre değerleri sırasıyla Tablo 6.1 'de özetlenmektedir.

### 6.1 En İyi Parametre Setinin Belirlenmesi

Tablo 6.1'de belirtilen parametre değerleri kullanılarak 5 tekrarlı deneylerin yapılmasının ardından, en iyi ortalama uygunluk değerine sahip 15 parametre seti

seçilerek Tekyönlü Varyans Analizi (One–Way ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Deneysel 15 görevli problem büyüklüğünün çözelgelemesi (operasyon süresi) üzerinden yapılmıştır. Seçilen parametre grupları Tablo 6.2 'de gösterilmektedir. Tablonun ilk sütununda bulunan “Parametre Grubu” ifadesi o parametre grubu ile yapılan deneylere karşılık gelmektedir.

**Tablo 6.1:** Deneysel Çalışmada Kullanılan GA Parametre Değerleri

Parametre	Kullanılan Değerler
Deney Tekrar Sayısı	5
Popülasyon Büyüklüğü	500 - 1000
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyona Tabanlı , Injection
Çaprazlama Oranı	%30 - %60 - %90
Elitizm Oranı	%1 - %5
Kromozom Seçim Yöntemi	Rulet Tekerleği - Turnuva
Replacement Sayısı	5 - 15 - 25
Swap Sayısı	2 - 4 - 8 - 10
Mutasyon Yöntemi	Ters Çevirme
Mutasyon Yüzdesi	%30 - %60 - %90
Mutasyon Azalma Oranı	%0 - %20
“c” Değeri	3
Sonlanma Oranı	0
Uygulanan Yaklaşımlar	GA

Tekyönlü Varyans Analizi’ ni, normal dağılım gösteren k toplumdaki alınan k bağımsız grup denemelerinden elde edilen nicel verilerin analizinde yararlanılan bir yöntem olarak tarif etmektedir. Bu analiz k grup ortalamalarının birbirine eşitliğini test eder (Şahin 2009).

**Tablo 6.2:** ANOVA Testi İçin Seçilen GA Parametre Grupları

Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk
1	513	6	513	11	513
1	518	6	517	11	515
1	518	6	518	11	518
1	522	6	519	11	520
1	523	6	520	11	520
2	513	7	513	12	513
2	517	7	518	12	515
2	520	7	518	12	517
2	521	7	521	12	518
2	523	7	522	12	522
3	513	8	513	13	513
3	519	8	517	13	517
3	519	8	517	13	519
3	522	8	520	13	520
3	527	8	521	13	521
4	513	9	513	14	513
4	516	9	515	14	518
4	519	9	518	14	519
4	520	9	520	14	520
4	521	9	521	14	520
5	513	10	513	15	513
5	517	10	515	15	520
5	519	10	518	15	520
5	519	10	518	15	520
5	520	10	520	15	524

### 6.1.1 Normallik Testi

Tek yönlü ANOVA' da, k toplumun  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$  ortalamalı ve ortak  $\sigma^2$  varyanslı normal dağılım gösterdiği varsayımı kabul edilir. Tek yönlü varyans analizini verilere uygulamadan önce grup verilerinin normal dağılım gösterip göstermediği normallik testlerinden uygun birisi ile (Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov vb.) test edilmelidir. Veri analizi için SPSS 20 paket programı kullanıldığı için, bu testlerden Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır. Yapılan normallik testlerinin sonuçları Tablo 6.3' te verilmektedir. Bütün parametre grupları için anlamlılık değeri 0,05' ten büyük olduğu için verilerin normal dağılım gösterdiği söylenebilir.

**Tablo 6.3:** GA İçin Normallik Testi Sonuçları

Parametre Grubu	Kolmogorov-Smirnov		
	İstatistik	df	Anlamlılık
1	0,220	5	0,200
2	0,221	5	0,200
3	0,222	5	0,200
4	0,243	5	0,200
5	0,292	5	0,190
6	0,241	5	0,200
7	0,255	5	0,200
8	0,224	5	0,200
9	0,180	5	0,200
10	0,267	5	0,200
11	0,216	5	0,200
12	0,184	5	0,200
13	0,224	5	0,200
14	0,300	5	0,161
15	0,360	5	0,095

### 6.1.2 F testi

ANOVA sonuçları, SPSS çıktı sayfasında ANOVA tablosu ile gösterilir. Tek yönlü ANOVA' da toplam varyasyon iki bileşen halinde bölümlendirilir. "Gruplar arası" grup ortalamaların genel ortalama etrafında değişimini ifade ederken, "Grup içi" ilgili grup içerisinde yer alan her bir değer için grup ortalaması etrafındaki çeşitliliğini ifade eder. Tabloda yer alan "Anlamlılık" ifadesi yapılan F testinin anlamlılık düzeyini göstermektedir. Küçük anlamlılık değerleri ( $<0.05$ ) gruplar arasında farklılığın bulunduğu gösterir (Şahin 2009). Tablo 6.4'den de görüleceği üzere GA örneklem deney sonuçları, "Anlamlılık"  $> 0,05$  olduğu için "parametre grupları arasında anlamlı bir farklılık yoktur" denir.

### 6.1.3 Çoklu Karşılaştırma Testleri

Varyans analizi neticesinde F test istatistiği sonucu "önemli düzeyde farklılık var" şeklinde ortaya çıkmışsa, hangi grup ortalamasının farklı olduğu belirlemek ve

ortalamaları farklı olan grupları bulmak için çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilir (Şahin 2009). SPSS içerisinde yer alan testlerden Tukey HSD testi çoklu karşılaştırma testi olarak seçilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucu ortaya çıkan gruplar Tablo 6.5'de verilmektedir. Deney sonuçlarına göre 15 parametre seti içinde 10 numaralı parametre seti en iyi parametre seti seçilmiştir.

**Tablo 6.4:** GA F-Test İstatistiği Sonuçları

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
<b>Gruplar Arası</b>	51,147	14	3,653	0,313	0,990
<b>Grup İçi</b>	700,800	60	11,680		
<b>Toplam</b>	751,947	74			

**Tablo 6.5:** Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Parametre Grubu	N	1
10	5	516,80
12	5	517,00
11	5	517,20
6	5	517,40
9	5	517,40
5	5	517,60
8	5	517,60
4	5	517,80
13	5	518,00
14	5	518,00
7	5	518,40
1	5	518,80
2	5	518,80
15	5	518,80
3	5	520,00
<b>Anlamlılık</b>		0,974

10 numaralı parametre setine ait parametre değerleri Tablo 6.6' da verilmiştir. En iyi parametre setlerinin belirlenmesinin ardından 10 ve 20 görevli problemlerden oluşan toplamda 20 tane veri seti için ayrı ayrı deneylere tabi tutulmuştur.

**Tablo 6.6:** Deneyleerde Kullanılan Parametre Grubu

Parametre	Kullanılan Değerler
Deney Tekrar Sayısı	5
Popülasyon Büyüklüğü	500
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyona Tabanlı
Çaprazlama Oranı	%90
Elitizm Oranı	%5
Kromozom Seçim Yöntemi	Turnuva
Replacement Sayısı	5
Swap Sayısı	10
Mutasyon Yöntemi	Ters Çevirme
Mutasyon Yüzdesi	%90
Mutasyon Azalma Oranı	%20
“c” Değeri	3
Sonlanma Oranı	0
Uygulanan Yaklaşımlar	GA

## 6.2 Deney Veri Setlerinin Yüklenmesi

Uygun parametrelerin belirlenmesinden sonra deneylere başlayabilmek için veri setlerinin uygulamaya yüklenmesi gerekmektedir. Şekil 6.1’da da görüldüğü gibi 10 görevden, 10 tane konteyner sırasından, 2 tane rıhtım vincinden oluşan veri setine bakıldığında her bir görevin işlem süreleri (p) ve gemi üzerindeki konumları (l) görünmektedir. Ayrıca birinci vincin başlangıç pozisyonu 1 numaralı konteyner sırası, ikinci vincin başlangıç pozisyonu da 2 numaralı konteyner sırasıdır. Beşinci görevin elleçlenebilmesi için öncelikle dördüncü görevin, onuncu görevin elleçlenebilmesi için de öncelikle dokuzuncu görevin elleçlenmesi gerekmektedir.

Vinçlerin hareket hızları birim sürede bir konteyner sırası kadardır ve iki vinç arasında en az bir konteyner sırası kadar güvenlik boşluğu bulunmak zorundadır.

```
/******  
* Name: QCSP_n10_b10_c200_f50_uni_d100_g0_q2_t1_s1_001  
* Type: Instance for the Quay Crane Scheduling Problem with Container Groups  
* Generated by QCSPgen, author: Frank Meisel  
*****/  
  
// number of tasks n, number of bays b  
n = 10;  
b = 10;  
  
// group index i, processing times p, and bay locations l  
//i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10  
p = [131,190, 8, 69, 8, 2,200,192, 99,101];  
l = [ 1, 2, 3, 4, 4, 6, 7, 8, 10, 10];  
  
// set of precedence constrained task pairs Phi  
Phi = {< 4, 5>,< 9, 10>};  
  
// set of non-simultaneous task pairs Psi  
Psi = {};  
  
// number of cranes q  
q = 2;  
  
// crane index k, ready times r, initial bay locations l0  
//k = 1, 2  
r = [ 0, 0];  
l0 = [ 1, 3];  
  
// travel time t, safety margin s  
t = 1;  
s = 1;  
  
// --- end of file ---
```

**Şekil 6.1:** Veri Seti Ekran Görüntüsü

### 6.3 Parametrelerin Girilmesi ve Uygulamanın Çalıştırılması

Tablo 6.6’da da görüldüğü gibi en iyi parametreler belirlendikten ve veri setleri yüklendikten sonra sıra parametreleri uygulamanın parametre giriş ara yüzünden girmeye gelmektedir. Şekil 6.2’de uygulamanın parametre giriş ekranı görünmektedir. Bu ara yüz aracılığıyla her bir problem büyüklüğü için en iyi parametreler girilmekte ve uygulama istenilen tekrar sayısı kadar çalıştırılmaktadır. Bu örnekte aynı veri seti üzerinde 5 defa deney yapılmıştır.

Parametreler | Sonuçlar | Çözüm | Çözüm Detayı | Çizelge | Çözüm Grafiği | Test Verisi

Test Verisi

Tarih	Sıra	Bay	Task	Kıyı Vinci	Seyahat Zamanı	Güvenlik Mesa...	Deney Sayısı
2014-08-06	1	10	10	2	1	1	5

Plan Tipi: freeGenetic

Popülasyon Büyüklüğü: 1000    [1000]

Elitizm Oranı: 15    [5]

Çaprazlama Tipi: injection    [uniform]

Çaprazlama Oranı: 0    [90]

Kromozom Seçim Tipi: tournament    [roulette]

Mutasyon Tipi:    [replacement]

Replacement Sayısı: 5    [5]

Swap Sayısı: 4    [4]

Mutasyon Oranı: 70    [30]

Mutasyon Azalma Oranı: 0    [20]

Sonlanma Oranı: 0    [0]

Sabit - c: 2    [3]

En Uzun Süre (s): 60    [240]

Şekil 6.2: Parametre Giriş Ekranı

## 6.4 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

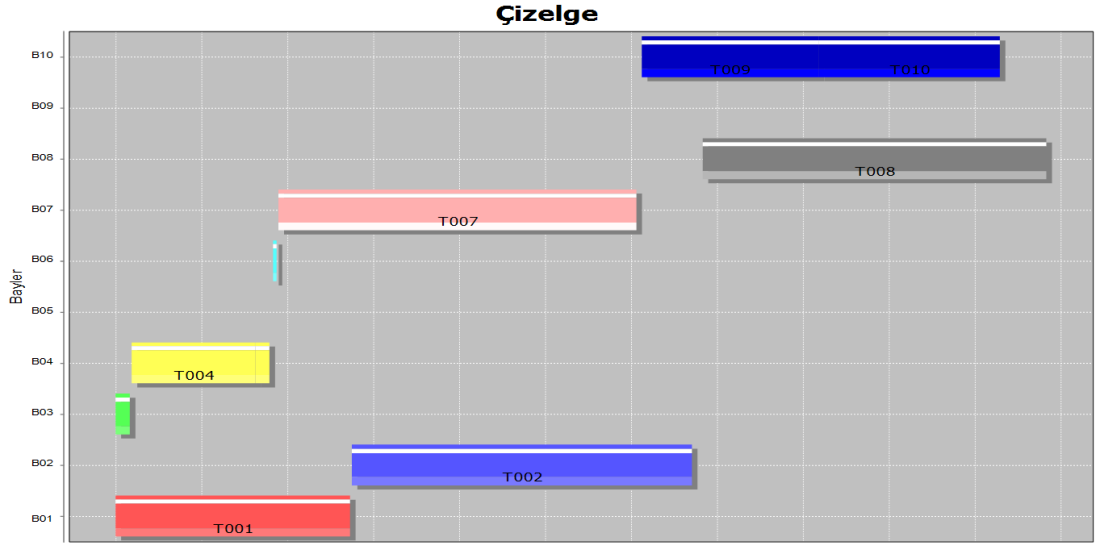
Uygulama bu örnekte 5 defa olmak üzere istenilen deney sayısına ulaştıktan sonra işlemlerini bitirmekte ve sonuçları ara yüzdeki ilgili bölüme yazmaktadır (Şekil 6.3). Bu örnekte de görüldüğü gibi uygulama, 10 görevli veri setlerinin ilkinde literatürdeki en iyi çözüm olan 520 uygunluk değerine 0,66 saniyede ulaşmıştır.

Parametreler | Sonuçlar | Çözüm | Çözüm Detayı | Çizelge | Çözüm Grafiği | Test Verisi

Deney	Uygunluk	Geçen Süre (s)	Popülasyon Bü...	Elitizm Oranı	Çaprazlama Tipi	Çaprazlama Or...	Kromozom Se...	Mutasyon Tipi	Replacement S...	Swap Sayısı	Mutasyon Oranı	Mutasyon Azal...	Sabit - c	En Fazla Süre
4	520,0	0,66	1000	5	uniform	90	roulette	replacement	5	4	30	20	3	240
3	520,0	0,78	1000	5	uniform	90	roulette	replacement	5	4	30	20	3	240
5	520,0	0,89	1000	5	uniform	90	roulette	replacement	5	4	30	20	3	240
2	520,0	1,12	1000	5	uniform	90	roulette	replacement	5	4	30	20	3	240
1	520,0	1,26	1000	5	uniform	90	roulette	replacement	5	4	30	20	3	240

Şekil 6.3: Örnek Deney Sonuçları

Şekil 6.5'de uygulamanın 10 görevli veri seti 1 için çıktığı olarak verdiği başlangıç popülasyonunun en iyi çözümünün ( $f_{best}$ ) ve popülasyonun uygunluk değeri ortalamasının ( $f_{ort}$ ) değişim grafiğini görebilirsiniz. Aynı veri seti için uygulamanın verdiği çözümün gannt diyagramı Şekil 6.4'de, çizelge ekran görüntüsü de Şekil 6.5'de gösterildiği gibidir.



**Şekil 6.4:** Veri Seti 1 İçin Uygun Çözüm Gannt Diyagramı

Sıra	Kod	Başlangıç	Bitiş
1	T001	0	131
8	T002	132	322
9	T008	328	520
2	T003	0	8
3	T004	9	78
4	T005	78	86
5	T006	88	90
6	T007	91	291
7	T009	294	393
10	T010	393	494

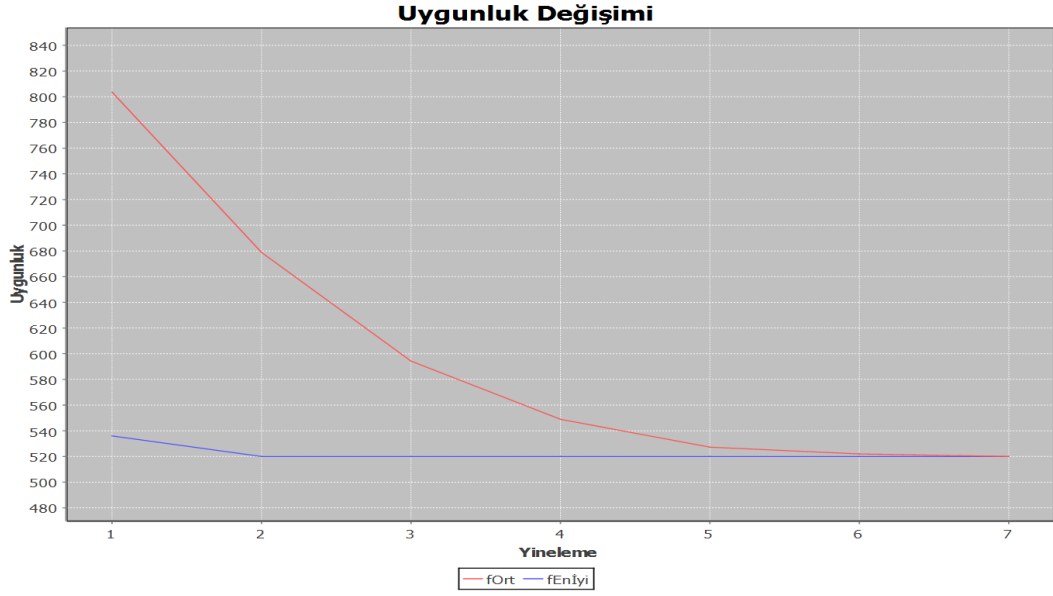
**Şekil 6.5:** Rıhtım Vinci Çizelgesi

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar (Meisel ve Bierwirth 2011)'in kullandığı UDS yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Tablo 6.7'ye göre 10 görevli veri setinden on farklı veri seti ve 15 görevli veri setinden on farklı veri seti olmak üzere yirmi farklı veri seti için literatürdeki en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 6.7:** Deney Sonuçlarının Karşılaştırma Tablosu

	10 Görev		15 Görev	
	UDS	Geliştirilen Sezgisel	UDS	Geliştirilen Sezgisel
Veri Seti 1	520	520	513	513
Veri Seti 2	508	508	507	507
Veri Seti 3	513	513	513	513
Veri Seti 4	510	510	513	513
Veri Seti 5	514	514	507	507
Veri Seti 6	513	513	508	508
Veri Seti 7	511	511	507	507
Veri Seti 8	513	513	508	508
Veri Seti 9	512	512	507	507
Veri Seti 10	549	549	513	513

Geliştirilen uygulama ile 10 ve 15 görevli problem büyüklükleri için deneyler yapılmış ve sonuçlar literatürdeki çözümlerle karşılaştırılmıştır. Literatürde küçük problem büyüklüklerinde deneylerin işlem süreleri ile ilgili bilgi verilmediğinden çözüm süreleri bazında karşılaştırma yapılamamıştır. Geliştirilen yöntemde küçük problem büyüklüklerinde çözüm süreleri milisaniye düzeyinde olduğu için büyük problemlerde de hızlı sonuçlar alınacağı düşünülmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar devam etmektedir.



**Şekil 6.6:** Uygunluk Değişim Grafiği

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada konteyner terminallerinin verimliliği üzerinde en büyük etkisi olan rıhtım vinçlerinin çizelgelenmesi ele alınmıştır. Paralel makina çizelgeleme problemine benzeyen bu problemde vinçler aynı rayı paylaştığı için birbiri üzerinden geçememeleri bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Vinçlerin büyük ekipmanlar olmalarından dolayı çalışırken aralarında en az bir konteyner sırası kadar güvenlik boşluğu bulunması gerekmekte ve bu da diğer bir kısıtı oluşturmaktadır. Bu iki kısıtla birlikte konteyner gruplarının önceliklerini de dikkate alan bir çözüm gerekmektedir.

Detaylı bir literatür taraması yapılmış, NP-zor olan Rıhtım Vinci Çizelgeleme Problemine (RVÇP) yönelik GA tabanlı bir sezgisel geliştirilmiş, ayrıca karışık tam sayılı programlama (MIP) modeli hazırlanmıştır. Problemin çözümü için Java yazılım dilinde bir program geliştirilmiş, farklı problem büyüklükleri için parametre analizleri yapılmıştır. Her bir problem büyüklüğü için en uygun parametre seti belirlenmiş, deneyler bu parametrelerle gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre geliştirdiğimiz sezgiselin 10 ve 15 görevli problemlerde literatürdeki en iyi çözümleri bulduğu ispatlanmıştır.

Geliştirilen sezgiselin, iyi bir başlangıç popülasyonu olduğundan dolayı daha büyük problemlerde, near-optimal değerlere daha çabuk ulaşacağı için hesaplama süresi açısından literatürdeki çalışmalardan daha hızlı sonuçlar vereceği düşünülmektedir. 20'den başlayıp 100 göreve kadar çıkan 160 tane daha farklı veri setinde de geliştirdiğimiz sezgisel ile deneyler yapılacaktır. Bu konuda yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Daha sonraki çalışmalarımızda zaman pencereli rıhtım atama ve rıhtım vinci çizelgeleme problemleri konusunda çalışmalar yapılacak, konteyner gemisinin limana geliş sürelerini, yük miktarını ve limandaki mevcut vinç sayısını dikkate alan entegre bir planlama süreci konusunda çözümler üretilecektir.

## 8. KAYNAKLAR

- Acarer, Ü. "Türkiye'nin Dış Ticaret Yüklerinin Taşınmasında Kombine Ulaşım Sisteminin Uygulanabilirliği ve Bu Amaçla Kullanılacak Bir Konteyner Gemisinin Maliyet Analizi", Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, (1997).
- Altınçubuk, F., *Liman İdare ve İşletmesi*, 12, İstanbul: Deniz Ticaret Odası, (2000).
- Bartan, D. "Konteyner Terminallerinde Performans Değerlendirmesi ve İzmir Alsancak Limanı Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).
- Bayar, S. "Veri Zarflama Analizi Kullanılarak Liman Verimliliğinin Ölçülmesi: Türk Limanlarından Bir Örnek", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği ABD*, İstanbul, (2005).
- Beasley, J. E., Chu, P. C., "A genetic algorithm for the set covering problem", *European Journal of Operational Research*, 94, 392-404, (1996).
- Bierwirth, C., Meisel, F., "A fast heuristic for quay crane scheduling with interference constraints", *Journal of Scheduling*, 12, 345-360, (2009).
- Bjorndal, M. H., Caprara, A., Cowling, P. I., Della Croce, F., Lourenço, H., Malucelli, F., . . . Salazar, J. J., "Some thoughts on combinatorial optimisation", *European Journal of Operational Research*, 83, 253-270, (1995).
- Boysen, N., Emde, S., Fliedner, M., "Determining crane areas for balancing workload among interfering and noninterfering cranes", *Naval Research Logistics (NRL)*, 59, 656-662, (2012).
- Chen, J. H., Lee, D.-H., Goh, M., "An effective mathematical formulation for the unidirectional cluster-based quay crane scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 232, 198-208, (2014).
- Chung, S. H., Chan, F. T. S., "A workload balancing genetic algorithm for the quay crane scheduling problem", *International Journal of Production Research*, 51, 4820-4834, (2013).
- Chung, S. H., Choy, K. L., "A modified genetic algorithm for quay crane scheduling operations", *Expert Systems with Applications*, 39, 4213-4221, (2012).
- Elver, Ö. "Konteyner Alanlarında Stok Alanlarının Yerleşim Düzenlerinin Simülasyon ile Analizi", Lisans Bitirme Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*, Denizli, (2009).
- Exposito-Izquierdo, C., Gonzalez-Velarde, J. L., Melian-Batista, B., Moreno-Vega, J. M., "Hybrid Estimation of Distribution Algorithm for the Quay Crane Scheduling Problem", *Applied Soft Computing*, 13, 4063-4076, (2013).
- Fogel, L. J., Owens, A. J., Walsh, M. J., *Artificial Intelligence Through Simulated Evolution*, John Wiley & Sons, (1966).
- Gen, M., Cheng, R., *Genetic Algorithms and Engineering Design*, Wiley, (1997).
- Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, (1989).

- Hakam, M. H., Solvang, W. D., Hammervoll, T., "A genetic algorithm approach for quay crane scheduling with non-interference constraints at Narvik container terminal", *International Journal of Logistics-Research and Applications*, 15, 269-281, (2012).
- Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, University of Michigan Press, (1975).
- Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., "The dynamic berth allocation problem for a container port", *Transportation Research Part B: Methodological*, 35, 401-417, (2001).
- Imai, A., Sun, X., Nishimura, E., Papadimitriou, S., "Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach", *Transportation Research Part B: Methodological*, 39, 199-221, (2005).
- Kayeshgar, N., Huynh, N., Rahimian, S. K., "An efficient genetic algorithm for solving the quay crane scheduling problem", *Expert Systems with Applications*, 39, 13108-13117, (2012).
- Kim, K. H., Lee, K. M., Hwang, H., "Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals", *International Journal of Production Economics*, 84, 283-292, (2003).
- Kim, K. H., Park, Y.-M., "A crane scheduling method for port container terminals", *European Journal of Operational Research*, 156, 752-768, (2004).
- Koyuncuoğlu, M. U. "Yard crane scheduling in a container terminal using meta heuristic methods", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2012).
- Kulak, O. (2007). [Sezgisel Yöntemler ve Uygulamaları Ders Notları].
- Kulak, O., Yilmaz, I., Günther, H.-O., "A GA-based solution approach for balancing printed circuit board assembly lines", *OR Spectrum*, 30, 469-491, (2008).
- Kulak, O., Yilmaz, I. O., Günther, H. O., "PCB assembly scheduling for collect-and-place machines using genetic algorithms", *International Journal of Production Research*, 45, 3949-3969, (2007).
- Kurt, M. S., C., *Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları*, 42, Mühendis ve Makina, (2001).
- Legato, P., Trunfio, R., Meisel, F., "Modeling and solving rich quay crane scheduling problems", *Computers & Operations Research*, 39, 2063-2078, (2012).
- Liang, C. J., Huang, Y. F., Yang, Y., "A quay crane dynamic scheduling problem by hybrid evolutionary algorithm for berth allocation planning", *Computers & Industrial Engineering*, 56, 1021-1028, (2009).
- Lu, Z. Q., Han, X. L., Xi, L. F., Erera, A. L., "A heuristic for the quay crane scheduling problem based on contiguous bay crane operations", *Computers & Operations Research*, 39, 2915-2928, (2012).
- Manaadiar, H., Container Stowage Planning and how it works, (07.05), <http://shippingandfreightresource.com/container-stowage-planning-and-how-it-works> (2014).
- Meisel, F., "The Quay Crane Scheduling Problem with Time Windows", *Naval Research Logistics*, 58, 619-636, (2011).
- Meisel, F., Bierwirth, C., "A unified approach for the evaluation of quay crane scheduling models and algorithms", *Computers & Operations Research*, 38, 683-693, (2011).

- Moccia, L., Cordeau, J. F., Gaudioso, M., Laporte, G., "A branch-and-cut algorithm for the quay crane scheduling problem in a container terminal", *Naval Research Logistics*, 53, 45-59, (2006).
- Murty, K. G., Liu, J., Wan, Y.-w., Linn, R., "A decision support system for operations in a container terminal", *Decision Support Systems*, 39, 309-332, (2005).
- Nguyen, S., Zhang, M. J., Johnston, M., Tan, K. C., "Hybrid evolutionary computation methods for quay crane scheduling problems", *Computers & Operations Research*, 40, 2083-2093, (2013).
- Öztürk, E. "Konteynerize yük taşımacılığı ve Marmara Bölgesi projeksiyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı*, İstanbul, (2007).
- Park, Y.-M., Kim, K., "A scheduling method for Berth and Quay cranes", *Container Terminals and Automated Transport Systems*, 159-181, (2003).
- Rechenberg, I., *Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*, Frommann-Holzboog, (1973).
- Şahin, Y. "Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Bir Model", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2009).
- Sammorra, M., Cordeau, J. F., Laporte, G., Monaco, M. F., "A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem", *Journal of Scheduling*, 10, 327-336, (2007).
- Schwefel, H. P., *Numerical Optimization of Computer Models*, John Wiley and Sons, (1981).
- Steenken, D., Voß, S., Stahlbock, R., "Container terminal operation and operations research - a classification and literature review", *OR Spectrum*, 26, 3-49, (2004).
- Taner, M. E. "Bir Konteyner Terminalinde Taşıma Operasyonlarının Simülasyon İle Analizi", Lisans Bitirme Tezi *Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*, Denizli, (2009).
- Unsal, O., Oguz, C., "Constraint programming approach to quay crane scheduling problem", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 59, 108-122, (2013).
- URL-1. Container Ship Types, (06.05), <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/container-types.htm>, (2014).
- Watanabe, I. (2004). Container Terminal Planning- a Theoretical Approach. *World Cargo News*.
- Wenyang, Y., Junqing, S., Fenglian, L., Peng, Y., Mei, H., Meiling, F. (2010, 28-30 June 2010). *A novel multi-RTGC scheduling problem based on genetic algorithm*. Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2010 7th International Conference on.
- Yercan, H. F. (1996). Liman İşletmeciliği ve Yönetimi. Mersin: Mersin Deniz Ticaret Odası.
- Yüksel, Y., Çevik, E., "Liman Mühendisliği", *Deniz Mühendisliği Serisi*, 3, 125, (2006).
- Zeng, Q. C., Yang, Z. Z., Hu, X. P., "Disruption recovery model for berth and quay crane scheduling in container terminals", *Engineering Optimization*, 43, 967-983, (2011).

Zhang, C., Liu, J., Wan, Y.-w., Murty, K. G., Linn, R. J., "Storage space allocation in container terminals", *Transportation Research Part B: Methodological*, 37, 883-903, (2003).

# **EKLER**

## 9. EKLER

### EK A

Geliştirilen uygulamada da kullanılan (Meisel ve Bierwirth 2011)'in oluşturduğu veri seti oluşturma uygulamasının ekran görüntüsü. Burada görünen

n: Gemideki görev sayısı

b: Gemideki konteyner sırası (bay) sayısı

c: Her bir konteyner sırasındaki konteyner kapasitesi

f: Konteynerlerin elleçleme yüzdesi

Loc: Görevlerin gemideki konumlara dağılım türü

d: Görevler arası öncelik yoğunluğu

g: Görevler arasındaki eş zamanlı olmama durumu yoğunluğu

seed: rassal veri seti oluşturma çekirdeği

q: gemideki vinç sayısı

t: vinçlerin bir konteyner sırası ilerlemek için geçirdiği süre

s: iki vinç arasında bulunması gereken güvenlik boşluğu(konteyner sırası cinsinden)

The screenshot shows the QCSPgen application window. The title bar reads "QCSPgen". Below the title bar is a "Parameters:" section divided into two columns: "Task data parameters:" and "Crane data parameters:". The "Task data parameters:" column includes: "number of tasks: n = 50", "number of bays: b = 15", "capacity per bay: c = 400", "handling rate: f = 0,50", "location parameter: Loc = uni", "precedence density: d = 1,00", "non-simultaneity density: g = 0,00", and "random seed number: seed = 1". The "Crane data parameters:" column includes: "number of cranes: q = 4", "crane travel time: t = 1", and "safety margin: s = 1". At the bottom of the parameters section, there is a radio button for "output file format:" with "detailed" selected and "plain" unselected. Below this is a "File name preview:" field showing "QCSP\_n50\_b15\_c400\_f50\_uni\_d100\_g0\_q4\_t1\_s1\_00..." and a "Generate Instance" button. At the very bottom, there is an "Output:" field.

Şekil A. 1: Veri Seti Oluşturma Uygulaması

## EK B

Uygulamada kullandığımız bir veri seti örneğindeki bilgiler; gemideki görev sayısı 10, gemideki konteyner sırası sayısı 10, 1 numaralı görevin işlem süresi 131 birim süre ve pozisyonu da 1 numaralı bay, 5 numaralı görev başlamadan önce 4 numaralı görevin bitmiş olması gerekiyor, 10 numaralı görev başlamadan önce 9 numaralı görevin bitmiş olması gerekiyor, gemideki vinç sayısı  $q=2$ , birinci vincin başlangıç pozisyonu 1 numaralı konteyner sırası, ikinci vincin başlangıç pozisyonu 3 numaralı konteyner sırası, vinçlerin bir konteyner sırası kadar ilerleme süresi eşit ve 1 birim, vinçlerin arasında bulunması gereken güvenlik boşluğu 1 konteyner sırası kadardır.

```
/*
* Name: QCSP_n10_b10_c200_f50_uni_d100_g0_q2_t1_s1_001
* Type: Instance for the Quay Crane Scheduling Problem with Container Groups
* Generated by QCSPgen, author: Frank Meisel
*/

// number of tasks n, number of bays b
n = 10;
b = 10;

// group index i, processing times p, and bay locations l
//i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
p = [131,190, 8, 69, 8, 2,200,192, 99,101];
l = [ 1, 2, 3, 4, 4, 6, 7, 8, 10, 10];

// set of precedence constrained task pairs Phi
Phi = {< 4, 5>,< 9, 10>};

// set of non-simultaneous task pairs Psi
Psi = {};

// number of cranes q
q = 2;

// crane index k, ready times r, initial bay locations l0
//k = 1, 2
r = [ 0, 0];
l0 = [ 1, 3];

// travel time t, safety margin s
t = 1;
s = 1;

// --- end of file ---
```

Şekil B. 1: Örnek Veri Seti

## EK C

Kıyı Vinci Çizelgelenmesi

Dosya

Kıyı Vinci Çizelgelenmesi

Parametreler | Sonuçlar | Çözüm | Çözüm Detayı | Çizelge | Çözüm Grafiği | Test Verisi

Test Verisi

Tarih	Sıra	Bay	Task	Kıyı Vinci	Seyahat Zamanı	Güvenlik Mesa...	Deneysel Sayısı
2014-08-06	1	10	40	2	1	1	5

Plan Tipi: freeGenetic

Popülasyon Büyüklüğü: 0   [1000]

Elitizm Oranı: 0   [5]

Çaprazlama Tipi:   [uniform]

Çaprazlama Oranı: 0   [90]

Kromozom Seçim Tipi:   [tournament]

Mutasyon Tipi:   [replacement]

Replacement Sayısı: 0   [10]

Swap Sayısı: 0   [5, 6, 7, 4, 3]

Mutasyon Oranı: 0   [0]

Mutasyon Azalma Oranı: 0   [0]

Sonlanma Oranı: 0   [0]

Sabit - c: 0   [3]

En Uzun Süre (s): 0   [240]

Şekil C. 1: Uygulama Parametre Giriş Ekranı

Kıyı Vinci Çizelgelenmesi

Dosya

Kıyı Vinci Çizelgelenmesi

Parametreler | Sonuçlar | Çözüm | Çözüm Detayı | Çizelge | Çözüm Grafiği | Test Verisi

Tarih	Sıra	Test Tarihi	Test Sırası	Plan Tipi	Deneysel Sayısı
2014-08-06	6	2014-08-06	1	freeGenetic	5
2014-08-06	5	2014-08-06	1	freeGenetic	20
2014-08-06	4	2014-08-06	1	freeGenetic	20
2014-08-06	3	2014-08-06	1	freeGenetic	5
2014-08-06	2	2014-08-06	1	freeGenetic	5
2014-08-06	1	2014-08-06	1	freeGenetic	5

Şekil C. 2: Deneysel Sonuçları Ekranı

Kıyı Vinci Çözülmesi

Dosya

Kıyı Vinci Çözülmesi

Parametreler | Sonuçlar | Çözüm | Çözüm Detayı | Çizelge | Çözüm Grafiği | Test Verisi

Çözüm Detaylarını Göster | Çözümü Dış Aktar | Tüm Çözümleri Dış Aktar

Deneysel	Uygunluk	Geçen Süre (s)	Populasyon Büyüklüğü	Elitizm Oranı	Çaprazlama Tipi	Çaprazlama Oranı	Kromozom Seçim Tipi	Mutasyon Tipi	Replacement Sayısı	Swap Sayısı	Mutasyon Oranı	Mutasyon Azalma Oranı	Sonlanma Oranı	Sabit - c	En Fazla Süre
2	519.0	7.51	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	5	0	0	0	3	240
15	520.0	4.84	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	7	0	0	0	3	240
24	521.0	4.74	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	3	0	0	0	3	240
5	522.0	4.34	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	5	0	0	0	3	240
23	522.0	5.44	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	3	0	0	0	3	240
25	522.0	5.67	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	3	0	0	0	3	240
3	522.0	7.27	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	5	0	0	0	3	240
1	523.0	4.38	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	5	0	0	0	3	240
8	523.0	5.27	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	6	0	0	0	3	240
22	523.0	5.48	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	3	0	0	0	3	240
16	524.0	4.34	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	4	0	0	0	3	240
9	524.0	4.49	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	6	0	0	0	3	240
21	524.0	4.90	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	3	0	0	0	3	240
6	524.0	5.31	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	6	0	0	0	3	240
20	524.0	6.33	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	4	0	0	0	3	240
18	524.0	41.54	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	4	0	0	0	3	240
12	525.0	4.18	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	7	0	0	0	3	240
4	525.0	4.90	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	5	0	0	0	3	240
11	525.0	4.60	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	7	0	0	0	3	240
13	525.0	5.75	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	7	0	0	0	3	240
17	526.0	5.45	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	4	0	0	0	3	240
14	526.0	5.33	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	7	0	0	0	3	240
7	526.0	5.61	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	6	0	0	0	3	240
19	527.0	4.69	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	4	0	0	0	3	240
10	527.0	4.89	1000	5	uniform	90	tournament	replacement	10	6	0	0	0	3	240

Şekil C. 3: Çözümler Ekranı

Kıyı Vinci Çözülmesi

Dosya

Kıyı Vinci Çözülmesi

Parametreler | Sonuçlar | Çözüm | Çözüm Detayı | Çizelge | Çözüm Grafiği | Test Verisi

Tarih - Sıra - Deneysel

2014-08-06 - 6 - 2

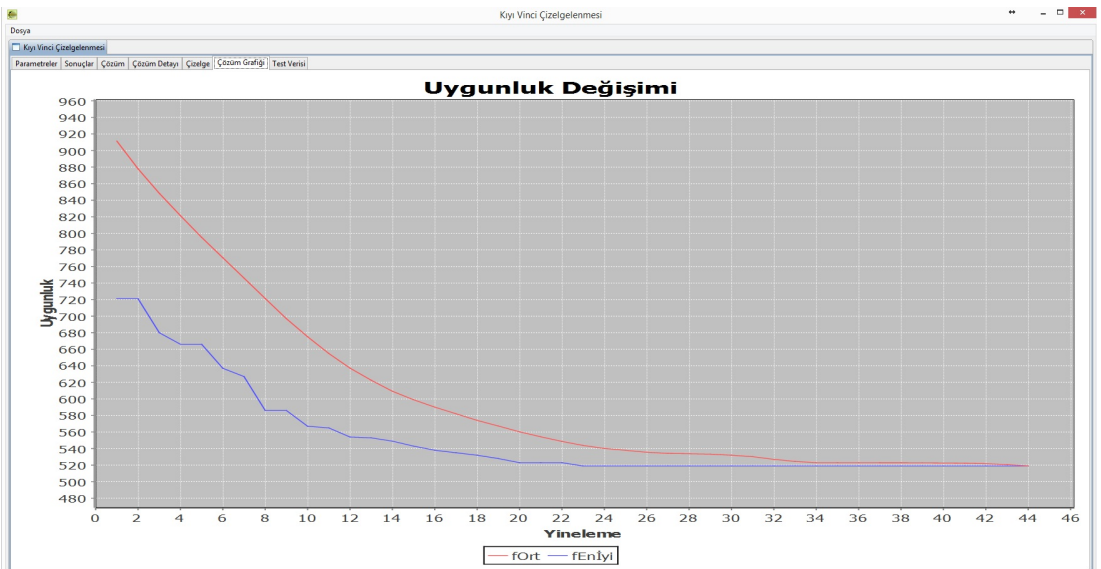
Uygunluk

519.0

| QC01 | T001 T013 T014 T025 T015 T007 T008 T002 T003 T009 T016 T017 T018 T010 T019 T011 T004 T012 T020 T021 T005 T006 | QC02 | T032 T036 T040 T037 T038 T039 T026 T027 T033 T034 T035 T022 T023 T024 T028 T029 T030 T031 |

Kod	Hazır Olma Za...	Başlangıç Kon...	Sıra	Kod	Başlangıç	Bitiş
QC01	0	1	1	T001	0	30
QC02	0	3	3	T013	32	60
			6	T014	60	93
			7	T025	95	114
			11	T015	116	118
			12	T007	119	166
			14	T008	166	196
			15	T002	197	201
			17	T003	201	216
			18	T009	217	247
			19	T016	248	268
			20	T017	268	272
			23	T018	272	275
			24	T010	276	277
			26	T019	278	286
			27	T011	287	373
			32	T004	374	403
			33	T012	404	407
			34	T020	408	425
			35	T021	425	448
			37	T005	450	459
			40	T006	459	518

Şekil C. 4: Uygun Çözüm Detay Ekranı



Şekil C. 5: Çözüm Grafiği Ekranı

## 10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : YUSUF YILMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi: UŞAK – 25.12.1988

Lisans Üniversite : Süleyman Demirel Üniversitesi

Elektronik posta : yusufyilmaz@pau.edu.tr

İletişim Adresi : Pamukkale Üniv. Mühendislik Fak. Endüstri

Mühendisliği Bölümü Kınıklı/DENİZLİ 20070

**Yayın Listesi :**

- Kulak O., Durmuşoğlu M.B., Taner M.E., Yılmaz Y., “Tesis Yerleşim Düzenlemesi ve Hücresel Üretim” in Kulak, O. (Ed.), Durmuşoğlu, M.B. (Ed.), TÜSSİDE Yönetim Serisi: Uygulamalı Üretim Yönetimi El Kitabı, p. 177-204, TÜSSİDE, 2014, ISBN 978-975-403-831-6 (Kitap Bölümü)

**Konferans listesi :**

- Yılmaz Y., Kulak O., Taner M. E., Koyuncuoğlu M. U., (2013), "A Hybrid Algorithm for Quay Crane Scheduling Problem", EURO-INFORMS, 26th European Conference on Operational Research, 1-4 July, Roma, Italy.
- Yılmaz Y., Supçiller A. A., Taner M. E., (2014), “A Green Vehicle Selection Problem For Military”, The 5th International Symposium on Sustainable Development (ISSD2014), May 15-18, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- Kulak O., Supçiller A. A., Yılmaz Y., (2014), “A Green Vehicle Selection Problem For Military Using Hierarchical Fuzzy Axiomatic Design Approach With Risk Factors”, The 5th International Symposium on Sustainable Development (ISSD2014), May 15-18, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.

- Polat O., Yılmaz Y., Kulak O., (2014), “Bozulabilir Gıdaların Dağıtılması İçin Topla&Dağıt Temelli Bir Matematiksel Model”, 15. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, 22-25 Mayıs, Isparta, Türkiye
- Coşkun S., Kara B., Yılmaz Y., Polat O., (2014), “Balanced Scorecard Tabanlı Ve Sistem Güvenliği Esaslı Tedarikçi Seçimi İçin Bir Model Önerisi Ve Uygulaması”,15. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, 22-25 Mayıs, Isparta, Türkiye.
- Supçiller A. A., Yılmaz Y., Durak Z., (2014), “Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi Ve Bir Tekstil Fabrikasında Uygulama Çalışması”,15. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, 22-25 Mayıs, Isparta, Türkiye.
- Kulak, O., Taner, M. E., Yılmaz, Y., (2014), “The Analysis of Factors Affecting Employee Satisfaction in a Healthcare Organization”, V. European Conference on Social and Behavioral Sciences, September 11-14, Baltic Institute of Humanities, St Petersburg, Russia.