

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR KONTEYNER TERMİNALİNDE İSTİF VİNÇLERİNİN META
SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANARAK ÇİZELGELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Ulaş KOYUNCUOĞLU**

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Programı: Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman KULAK

KASIM 2012

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 101261002 nolu öğrencisi Mehmet Ulaş KOYUNCUOĞLU tarafından hazırlanan “**BİR KONTEYNER TERMİNALİNDE İSTİF VİNÇLERİNİN META SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANARAK ÇİZELGELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:
(Jüri Başkanı)

Prof. Dr. Osman KULAK (PAÜ-TUBİTAK)



Eş Danışman :

Jüri Üyesi :

Doç. Dr. Yetiş Şazi MURAT (PAÜ)




Jüri Üyesi :

Yrd. Doç. Dr. Aliye Ayça SUPÇİLLER (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06/03/2013 tarih ve 05/25.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

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 atfedildiğini beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı: Mehmet Ulaş KOYUNCUOğLU

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, konteyner terminalindeki istif vinçlerinin çizelgeleme problemi incelenerek, toplam elleçleme süresinin etkileyen dağıtım stratejileri ve müşteri öncelik kuralları analiz edilmiştir. Bu amaçla, meta sezgisel yöntemler ile yapısal/geliştirme esaslı sezgiseller bir arada kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Hazırlanan deneyler optimum parametreler altında test edilmiş ve sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Farklı dağıtım stratejilerinin toplam elleçleme süresi üzerindeki etkisi ortaya konarak, literatüre yeni sezgisel tabanlı çözüm yöntemi kazandırılmıştır. Gerek lisans eğitimim gerekse de lisansüstü eğitimim boyunca kendisinden akademik hayata dair birçok şey öğrendiğim, akademisyenlik yolunda bana ilerlemem için cesaret veren, kendi özgeçmişinin kalitesiyle yoluma ışık tutan, her konuda desteğini eksik etmeyen, çok değerli saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Osman KULAK' a; Kişisel gelişim konusunda, gerek vermiş olduğu dersler gerekse de nasihatler ile üzerimde büyük emekleri olan, özgür çalışma ortamının daha verimli olduğunu düşünerek bizlere esnek çalışma koşulları sağlayan ve her daim destek olan değerli hocalarım Prof. Dr. Aşkîner GÜNGÖR ve Yrd. Doç. Dr. Aliye Ayça SUPÇİLLER'e; Tezimin başlangıcından bu yana çalıştığım kurumda her anlamda anlayışlarını eksik etmeyen, hem akademik hem de iş hayatı konusunda yol gösteren başta Uzm. Tevfik YILDIRIM olmak üzere Bilgi İşlem Daire Başkanlığı çalışanlarına ve değerli arkadaşım Uzm. M. Egemen TANER' e; Her şeyden önemlisi, benim bugünlere gelmemde en büyük emeği olan, her zaman her yerde ve her durumda bana güvenen, destek olan biricik anneme, babama ve kardeşlerime; Hayatımda çok değerli yeri olan, sabrına ve dürüstlüğüne gıpta ettiğim Ayşe KARABULUT' a çok teşekkür ederim.

Kasım 2012

Mehmet Ulaş KOYUNCUOĞLU
Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1.GİRİŞ	1
2.KONTEYNER VE KONTEYNER TERMİNALİ	4
2.1 Konteyner Tanımı	4
2.2 Konteyner Tarihçesi ve Kullanım Alanları	4
2.3 Konteynerlerin Özellikleri ve Sahip Olması Gereken Standart Kriterler .	5
2.4 Genel Konteyner Türleri	6
2.4.1 Standart yük konteynerleri 20'	7
2.4.2 Standart yük konteynerleri 40'	7
2.4.3 Üstü açık konteynerler 40'	7
2.4.4 Soğutmalı (reefer) konteynerler 20' 40' 40' yüksek tavanlı versiyon	8
2.4.5 Flat rack konteyner 20' yüksek tavanlı versiyon	8
2.4.6 Havalandırmalı konteynerler 20'	9
2.4.7 Platform konteynerler 20'	9
2.4.8 Tank konteynerler 20'	9
2.4.9 Dökme yük (bulk) konteynerler	10
2.5 Konteyner Terminaleri	10
2.6 Konteyner Terminalinin Fonksiyonları	13
2.7 Konteyner Terminalinde Gerçekleştirilen Operasyonlar ve Amaçları	15
2.8 Konteyner Terminalindeki Problemler	16
2.9 Konteyner Taşımacılığının Avantajları ve Dezavantajları	17
2.9.1 Konteyner taşımacılığının avantajları	17
2.9.2 Konteyner taşımacılığının dezavantajları.....	19
2.10 Konteyner Gemileri	20
3.KONTEYNER TERMİNALİ OPERASYONLARI	23
3.1 Rıhtımla Depolama Alanı Arası	23
3.1.1 Streddle taşıyıcı sistemi	23
3.1.2 Şasi sistemi.....	24
3.1.3 Forklift sistemi	25
3.1.4 Reach stacker sistemi	26
3.1.5 Konteyner ro-ro sistemi	26
3.1.6 Karışık sistem.....	27
3.1.7 Komputerize sistem.....	27
3.1.8 Çoklu treyler sistemi	27
3.2 Rıhtım Alanında (Apron)	28

3.3 Depolama Alanında.....	29
3.4 Depolama Alanından Hinterland Taşımacılığına	31
4. İSTİF VİNCİ ÇİZELGELEME	33
4.1. İstif Blokları ve İstif Lojistiği.....	33
4.2. İstif Vinci Çizelgeleme (İVÇ) Problemi İçin Geliştirilen Stratejiler	36
4.2.1 Tek istif vinci dağıtım - serbest - müşteri gruplu (TV-S-MÖV).....	38
4.2.2. Tek istif vinci dağıtım - serbest - tek müşteri (TV-S-MÖY)	39
4.2.3. Çift istif vinci dağıtım - paylaşımlı - müşteri gruplu (ÇV-P-MÖV).....	39
4.2.4. Çift istif vinci dağıtım - paylaşımlı - tek müşteri (ÇV-P-MÖY)	39
4.2.5. Çift istif vinci dağıtım - serbest - müşteri gruplu (ÇV-S-MÖV)	39
4.2.6. Çift istif vinci dağıtım - serbest - tek müşteri (ÇV-S-MÖY).....	39
4.3 İstif Vinci Çizelgeleme Alanındaki Literatür Araştırması.....	40
4.4 Çalışmanın Özgünlüğü	45
4.5 Matematiksel Model ve Operasyon Algoritması.....	45
4.5.1 Matematiksel model	45
4.5.2 Operasyon algoritması	48
5. SEZGİSEL ALGORİTMALAR	52
5.1 Sezgisel Algoritmalar ve Kullanım Alanları.....	52
5.2 İVÇ Problemünde Kullanılan Sezgisel Algoritmalar	53
5.2.1 Genetik algoritmalar (GA) esaslı geliştirilen model	57
5.2.1.1 Giriş.....	57
5.2.1.2 Genetik algoritmanın tarihçesi	57
5.2.1.3 Genetik algoritmalara giriş.....	58
5.2.1.4 Genetik algoritmanın çalışma prensibi.....	58
5.2.1.5 Genetik algoritmanın adımları: başlatma, yeniden üretim ve seçim.....	61
5.2.1.6 Genetik operatörler: çaprazlama ve mutasyon operatörleri	62
5.2.1.7 Geliştirilen yöntem.....	63
5.2.1.8 GA ile çözümün kodlanması	64
5.2.1.9 İlk nüfusun oluşturulması.....	65
5.2.1.10 Uygunluk.....	66
5.2.1.11 Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması	67
5.2.1.12 Çaprazlanacak bireylerin seçilmesi.....	68
5.2.1.13 Çaprazlama operatörleri	70
5.2.1.14 Mutasyon operatörleri	72
5.2.1.15 Elitizm	74
5.2.1.16 Tamir fonksiyonu	75
5.2.2 Tabu arama (TA) esaslı geliştirilen model.....	77
5.2.2.1 Tabu arama stratejileri.....	80
5.2.2.2 Tabu arama algoritması için açıklayıcı bir örnek.....	82
5.2.2.3 Tabu arama esaslı geliştirilen modelin yapısı	86
5.2.3 En yakın komşu sezgiseli (EYK)	86
5.2.4. Lin-Kernighan (LK) algoritması	89
5.3 İstif Vinci Dağıtım Stratejileri İçin Konteyner İstif Blok Yapıları	91
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	93
6.1 Geliştirilen Program ve Özellikleri	93
6.2 En İyi Parametre Setinin Belirlenmesi.....	94
6.2.1 Normallik testi.....	95
6.2.2 F testi	96
6.2.3 Çoklu karşılaştırma testleri	97
6.3 Geliştirilen Yöntemlerin Stratejiler İçin Karşılaştırılması	99

6.4 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	100
7.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	112
KAYNAKLAR	115
EKLER.....	120

KISALTMALAR

ISO	International Organisation of Standardization; Uluslararası Standartlar Örgütü
ASA	American Association of Standardization; Amerikan Standartlar Örgütü
TEU	Twenty-Foot Equivalent Unit; 20 ft'lik konteynere eşdeğer hacim
FEU	Forty- Foot Equivalent Unit; 40 ft'lik konteynere eşdeğer hacim
Ft	Feet; Uzunluk birimi
İnç	Inch; Uzunluk birimi
L	Length; Uzunluk
B	Breadth; Genişlik
D	Draft; Derinlik
m	Metre; Uzunluk Birimi
t	Tonne; Ton
sn	Saniye
AGV	Automated Guided Vehicle; Otomatik Kılavuzlu Araç
ALV	Automated Lifting Vehicle; Otomatikleştirilmiş Yük Kaldırıcılı Araç
FLT	Forklift
SC	Straddle Carrier
RS	Reach Stacker
MTS	Multi Trailer System; Çoklu Treyler Sistemi
RTQC	Rubber Tyred Quay Crane; Lastik Tekerlekli Rıhtım Vinci
RMQC	Rail Mounted Quay Crane; Raylı Rıhtım Vinci
RTGC	Rubber Tyred Gantry Crane; Lastik Tekerlekli İstif Vinci
RMGC	Rail Mounted Gantry Crane; Raylı İstif Vinci
ASC	Automated Stacking Crane; Otomatik İstif Vinci
MTS	Multi Trailer System; Çoklu Treyler Sistemi
ECT	Europe Container Terminals, Rotterdam/Hollanda
YCS	Yard Crane Scheduling
İVÇ	İstif Vinci Çizelgeleme
KOP	Kombinatöryel Optimizasyon Problemleri
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
ARP	Araç Rotalama Problemi
GA	Genetic Algorithm; Genetik Algoritma
TA	Tabu Arama
TB	Tavlama Benzetimi
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
KKA	Karınca Kolonisi Algoritması
YSA	Yapay Sinir Ağları
EA	Evrimsel Algoritma
NN	Nearest Neighbor; En Yakın Komşu
L-K	Lin-Kernighan Algoritması
ÇV-P	Çift Vinç-Paylaşım

ÇV-S	Çift Vinç-Serbest
TV-P	Tek Vinç-Paylaşım
TV-S	Tek Vinç-Serbest
MÖV	Müşteri Önceliği Var
MÖY	Müşteri Önceliği Yok

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: ISO Tarafından Kabul Edilen Konteyner Boyutları	6
Tablo 2.2: Konteyner Terminali İle Bağlantılı Taşıma Modlarının Özellikleri.....	14
Tablo 2.3: Konteyner Gemilerinin Gelişimi	20
Tablo 5.1: Seçim olasılığı ve uygunluk değeri.....	69
Tablo 6.1: Deneysel Çalışmada Kullanılan GA Parametre Değerleri.....	94
Tablo 6.2: Deneysel Çalışmada Kullanılan TA Parametre Değerleri	94
Tablo 6.3: ANOVA Testi İçin Seçilen GA Parametre Grupları	95
Tablo 6.4: ANOVA Testi İçin Seçilen TA Parametre Grupları.....	95
Tablo 6.5: GA İçin Normallik Testi Sonuçları.....	96
Tablo 6.6: TA İçin Normallik Testi Sonuçları	96
Tablo 6.7: GA F-Test İstatistiği Sonuçları.....	97
Tablo 6.8: TA F-Test İstatistiği Sonuçları	97
Tablo 6.9: GA Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları.....	98
Tablo 6.10: GA Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları	98
Tablo 6.11: Kullanılacak GA Parametreleri.....	99
Tablo 6.12: Kullanılacak TA Parametreleri	99
Tablo 6.13: Konteyner Listelerine Ait Bilgiler	99
Tablo 6.14: 80 Konteyner Filo Büyüklüğü İçin Deney Sonuçları	101
Tablo 6.15: 100 Konteyner Filo Büyüklüğü İçin Deney Sonuçları	101
Tablo 6.16: 120 Konteyner Filo Büyüklüğü İçin Deney Sonuçları	102
Tablo 6.17: 150 Konteyner Filo Büyüklüğü İçin Deney Sonuçları	102
Tablo 6.18: Konteyner Toplam Elleçleme Süresi İçin Normallik Testi Sonuçları..	105
Tablo 6.19: 80 Konteynerlik Deney Sonuçları İçin F Testi	105
Tablo 6.20: 100 Konteynerlik Deney Sonuçları İçin F Testi	105
Tablo 6.21: 120 Konteynerlik Deney Sonuçları İçin F Testi	106
Tablo 6.22: 150 Konteynerlik Deney Sonuçları İçin F Testi	106
Tablo 6.23: 80 Konteyner-Dağıtım Stratejisi HSD Testi Sonuçları	106
Tablo 6.24: 80 Konteyner-Sezgisel Yöntem HSD Testi Sonuçları.....	106
Tablo 6.25: 100 Konteyner-Dağıtım Stratejisi HSD Testi Sonuçları	107
Tablo 6.26: 100 Konteyner-Sezgisel Yöntem HSD Testi Sonuçları.....	107
Tablo 6.27: 120 Konteyner-Dağıtım Stratejisi HSD Testi Sonuçları	107
Tablo 6.28: 120 Konteyner-Sezgisel Yöntem HSD Testi Sonuçları.....	107
Tablo 6.29: 150 Konteyner-Dağıtım Stratejisi HSD Testi Sonuçları	108
Tablo 6.30: 150 Konteyner-Sezgisel Yöntem HSD Testi Sonuçları.....	108
Tablo 6.31: ÇV-P-MOV Dağıtım Stratejisi İçin Sezgisel Yöntemlerinin Karş.....	110
Tablo 6.32: ÇV-P-MOY Dağıtım Stratejisi İçin Sezgisel Yöntemlerinin Karş.....	110
Tablo 6.33: ÇV-P-MOV ve ÇV-P-MOY Dağıtım Stratejilerinin Karşılaştırılması	111
Tablo A.1: Örnek 100 Konteyner İçin Müşteri Grupları ve Koordinatları	123
Tablo A.2: 100 Konteyner GANNLK Yöntemi ÇV-P-MÖV Stratejisi Çizelgesi...	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Standart Yük Konteynerleri (20 TEU).....	7
Şekil 2.2: Standart Yük Konteyner (40 TEU).....	7
Şekil 2.3: Üstü Açık Konteyner (40 TEU).....	8
Şekil 2.4: Soğutmalı Konteyner	8
Şekil 2.5: Flat Rack Konteyner	8
Şekil 2.6: Havalandırılmalı Konteyner.....	9
Şekil 2.7: Platform Konteyner.....	9
Şekil 2.8: Tank Konteyner	9
Şekil 2.9: Dökme Yük (Bulk) Konteyner	10
Şekil 2.10: Otomatikleştirilmiş Konteyner Terminali Yerleşim Örneği.....	12
Şekil 2.11: Pana-Max Tipi Konteyner Gemisi.....	21
Şekil 2.12: Post-Pana-Max Tipi Konteyner Gemisi.....	22
Şekil 3.1: Straddle Taşıyıcı	24
Şekil 3.2: Şasi Sistemi.....	25
Şekil 3.3: Forkliftler.....	26
Şekil 3.4: Reach Stackers.....	26
Şekil 3.5: Çoklu Treyler Sistemi.....	27
Şekil 3.6: Otomatik Kılavuzlu Araç.....	28
Şekil 3.7: Rıhtım Vinci	28
Şekil 3.8: Lastik Tekerlekli Vinç	30
Şekil 3.9: Raylı Portal Vinç	30
Şekil 3.10: Otomatik İstifleme Vinci	31
Şekil 3.11: Konteyner Terminali Giriş/Çıkış Kapısı.....	32
Şekil 4.1: Örnek İstif Bloğu ile İstif Vinçleri.....	38
Şekil 5.1: GA'nın akışı (Şahin, 2009)	60
Şekil 5.2: Müşteri ve İstif Vinci Numarası Gösterimine Dayalı Kromozom Yapısı .	64
Şekil 5.3: Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması (Kulak, 2007).....	68
Şekil 5.4: Rulet tekeri seçimi	68
Şekil 5.5: Rulet tekerleği ile kromozom seçim süreci	69
Şekil 5.6: Sıralı Çaprazlama Operatörü	71
Şekil 5.7: Pozisyon Tabanlı Çaprazlama Operatörü	72
Şekil 5.8: İkili Yer Değiştirme Yöntemi	73
Şekil 5.9: Yerine Koyma Yöntemi.....	73
Şekil 5.10: Sola Rotasyon Yöntemi	73
Şekil 5.11: Sağa Rotasyon Yöntemi	74
Şekil 5.12: Yeni Nesil Seçimi (Kulak, 2007).....	75
Şekil 5.13: Tamir stratejisi (Kulak, 2007).....	76
Şekil 5.14: Geliştirilen GA Esaslı Yöntemin İş Akışı (GANNLK).....	76
Şekil 5.15: Geliştirilen TA Esaslı Yöntemin İş Akışı (TANNLK).....	79
Şekil 5.16: Tabu Listesinin Yapısı.....	81

Şekil 5.17: Gezgin Satıcı Problemi Başlangıç Turu.....	83
Şekil 5.18: Nokta Çiftlerinin Yer Değişimi İçin Tabu Veri Yapısı	84
Şekil 5.19: İterasyon 0 İçin Durum	84
Şekil 5.20: İterasyon 1 İçin Tabu Veri Yapısı.....	85
Şekil 5.21: Tabu Arama Algoritması Tabu Sayısı Uygulama	86
Şekil 5.22: En Yakın Komşu Seçimi İçin Örnek Nokta Gösterimi.....	87
Şekil 5.23: Lin-Kernighan Algoritmasının Uygulama Gösterimi.....	90
Şekil 5.24: Lin-Kernighan Algoritmasının Kromozoma Uygulaması	91
Şekil 5.25: Tek Vinç Dağıtım Stratejisi	92
Şekil 5.26: Serbest Dağıtım Stratejisi	92
Şekil 5.27: Paylaşımlı Dağıtım Stratejisi	92
Şekil 6.1: 100 Konteyner İçin Toplam Elleçleme Süresi (sn).....	103
Şekil 6.2: 150 Konteyner İçin Toplam Elleçleme Süresi (sn).....	103
Şekil 6.3: 250 Konteyner İçin Toplam Elleçleme Süresi (sn).....	104
Şekil 6.4: 300 Konteyner İçin Toplam Elleçleme Süresi (sn).....	104
Şekil B.1: GA - TA Parametrelerini Girme Ekranı.....	120
Şekil B.2: Ortam Verilerini Girme Ekranı	120
Şekil B.3: Test Verilerini Girme Ekranı	121
Şekil B.4: Sonuçlara Ait Çözüm Detay Ekranı	121
Şekil B.5: Sonuç Görüntüleme Ekranı	122
Şekil B.6: Çözüm Detayı Görüntüleme Ekranı.....	122
Şekil B.7: Çözüm Grafiği Görüntüleme Ekranı	122

ÖZET

BİR KONTEYNER TERMINALİNDE İSTİF VİNÇLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK ÇİZELGELENMESİ

Uluslararası konteyner dağıtım ağlarının çıkış kapıları olan konteyner terminallerinin rekabet koşullarını, terminallerin verimliliği belirlemektedir. Rıhtımlarda ve depolama alanlarındaki vinçler ile bu iki bölge arasındaki taşıyıcı araçlar gibi terminal ekipmanlarının etkin kullanımı, terminal verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesidir. Depolama alanlarındaki operasyonlarda kullanılan istif vinçlerinin çizelgelenmesi, terminal verimliliğinin artırılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu tez çalışmasında, istif vinci çizelgeleme (İVÇ) probleminde kullanılan, serbest ve paylaşımlı atama kurallarına yeni bir yaklaşım sunulmuş; müşteri önceliği ve atama kuralları kombinasyonlu olarak incelenmiştir.

Bu kapsamda, bir veya iki istif vincinin eş zamanlı olarak konteynerlere atanması ve rotalama problemlerinin (NP-Zor) çözümü için karma tamsayılı matematiksel bir model, operasyonların toplam tamamlanma süresini minimize etmek amacıyla önerilmiştir. Genetik Algoritma (GA), Tabu Arama (TA), Nearest Neighbor (NN) ve Lin-Kernighan (LK) sezgiselleri tabanlı bir yaklaşım kullanılarak çözümlenen modelin sonuçları istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konteyner terminali, istif vinci çizelgeleme, sezgisel yöntemler

ABSTRACT

YARD CRANE SCHEDULING IN A CONTAINER TERMINAL USING META HEURISTIC METHODS

Conditions of competition in container terminals which are the exit gates of the international container handling networks depend on efficiency of the operations in these terminals. Effective use of the terminal equipments such as cranes in berths and in storage areas, transporter vehicles between these existing areas is one of the most important factor which affects the efficiency of terminals. Yard Crane Scheduling (YCS) which is used in the operations executed in storage area has an important role in improving the efficiency of a container terminal. In this study, a novel approach for free and restrictive deployment rules, which are used in yard crane scheduling, is presented and also customer priority and assignment rules are investigated in combination.

In this context, for the purpose of minimizing the total completion time of the YC operations, a mixed-integer linear mathematical model is proposed to solve one or more yard cranes assignment problem and routing problem simultaneously. Results of this model which is analyzed by using Genetic Algorithm (GA), Tabu Search (TA), Nearest Neighbor (NN), and Lin-Kernighan (LK) heuristics, are presented with their statistical analysis.

Keywords: Container terminal, yard crane scheduling, heuristic methods

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 milyonun TEU (Twenty-Foot Equivalent Unit) altında iken 2011 yılında 6.61 milyon TEU'ya çıkmıştır.

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 ile 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. Yükleme ve boşaltma işlemleri aynı rıhtım vinciyle aralıklı olarak yürütebilir. Bu çalışmaların tam zamanında yürütülebilmesi için ise gemilerin uygun rıhtım sahasına atanması çalışması söz konusudur. Bu operasyonlar öncesinde yapılan bu çalışma terminaldeki tüm ekipmanların etkin kullanılması ve saatler sürececek 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 istiflemesi yapılabilmektedir.

İstif vinçleri aynı blok üzerinde “paylaşımli” ve “serbest” dağıtım kurallarına göre operasyonlarını sürdürebilmektedirler. İki veya daha fazla istif vincinin özel boyutları sayesinde birbirleri içerisinden geçerek konteyner elleçlemesi serbest (free) dağıtım; önceden tanımlanmış alanlarda birbirlerinin alanına müdahale etmeden kendi alanındaki konteynerlerin elleçlemesi ise paylaşımli (restrictive) dağıtım kuralıdır. Dünyadaki büyük otomatikleştirilmiş konteyner terminallerinde istif vinçlerinin serbest operasyonlarına daha sık rastlanmaktadır. Bu şekilde paylaşımli operasyona göre daha etkin operasyonların gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Öte yandan paylaşımli istif vinci operasyonlarının da terminalin özelliğine göre birçok avantajı mevcuttur. Terminal yönetiminin belirlediği stratejilere göre müşteri önceliği kuralı uygulanabilmektedir. Konteyner bloğuna istiflenen konteynerlerin sırasına, konteyner içinde taşınan maddenin cinsine ve büyüklüğüne bağlı olmaksızın ikili anlaşmalar (müşteriler-konteyner yönetimi) gereği herhangi bir müşterinin konteynerlerine öncelik tanınabilir. Bu önceliklendirme hem yükleme hem de boşaltma için geçerlidir. Diğer yandan konteynerlerin istif sırası, taşınan maddenin özelliği ve bloğun kapasitesine bağlı olarak elleçleme işlemleri müşteriler arasında karışık olarak yapılabilir.

Bu tez çalışması ile amaçlanan; istif vinçlerinin operasyonlarını genetik algoritma ve tabu arama algoritması esaslı bir yöntem geliştirerek çizelgelemek, dağıtım stratejileri ve müşteri öncelik kuralları uygulayarak minimum toplam elleçleme süresini veren en iyi stratejiye karar vermektir. Tek konteyner bloğu üzerinde tek veya ikili istif vincinin yukarıda tanımlanan çizelgeleme stratejilerine göre performansları ölçümlenecektir. Bir istif bloğundaki konteynerlerin elleçleme zamanının minimizasyonu amaç fonksiyonunu oluşturacaktır.

Bu çalışma, genetik algoritmalar, tabu arama ve yapısal sezgisel-geliştirme sezgiselinin 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 gibi bilgiler açıklanmıştır. Üçüncü bölümde konteyner terminali operasyonları, kullanılan ekipman ve sistemler ile birlikte incelenmiştir. Dördüncü bölümde istif vinci çizelgeleme problemi ele alınmış, istif vinçlerinin dağıtım stratejileri açıklanmış, istif vinci çizelgeleme operasyonlarıyla ilgili literatür araştırmasına bu bölümde yer verilmiştir. Çalışmanın özgünlüğü yine dördüncü bölümde açıklanmış, matematiksel model ve operasyon algoritması sunulmuştur. Beşinci bölümde sezgisel yöntemlere yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan meta sezgiseller, yapısal sezgiseller ve geliştirme sezgiselleri elleçleme operasyonlarına uyarlanarak sunulmuştur. Genetik Algoritma'da kullanılan kromozom yapısı, seçim, çaprazlama, mutasyon yöntemleri ve sonlandırma kriterleri açıklanmıştır. Altıncı bölümde yapılan deneysel çalışmalar ile geliştirilen yöntemlerin ve istif vinci dağıtım stratejileri için tasarlanan senaryoların karşılaştırmaları sunulmuştur. Altıncı yani son bölümde çalışmanın özeti verilerek sonuç ve öneriler sıralanmıştır.

2. KONTEYNER VE KONTEYNER TERMİNALİ

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 kullanmaya olanak verecek şekilde özel, dayanıklı yapabilen 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 (Url-3).

2.2 Konteyner Tarihçesi ve Kullanım Alanları

Konteynerizasyonun babası Amerikalı Malcolm McLean'dir. 1930'lu yılların sonlarına doğru McLean, Hoboken limanında parça yüklerin elleçlenmesi ve bir yerden başka bir yere nâkilin (birden çok parçanın) bir defada yapılabilmesi düşüncesinden yola çıkarak önce yükleri araçlara (treylar) 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 treylarların daha az yer tuttuğunu ve gemiye daha fazla treylar sığdığını görmüş. Bundan sonra treylarları 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.

Literatürde 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 yapmış 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-boşlatmalarda 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.

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 (Özyılmaz, 2007).

2.3 Konteynerlerin Özellikleri ve Sahip Olması Gereken Standart Kriterler

Konteynerler aşağıdaki özellikleri sayesinde faydalı taşıma kaplarıdır (Bartan, 2007):

- Güvenilir,
- Mal zayıtı minimum düzeydedir,
- Hava geçirmez,
- Tehlikeli eşyaları taşıyabilecek ve saklayacak biçimde tasarlanmış,
- Kilitlenebilir,
- Bir alana katlarca yığılabilir,
- 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 (Öztürk, 2007).

ISO tarafından belirlenen standart bir konteynerin boyutları Tablo 2.1'de gösterilmiştir (Yüksel, 2006).

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 ³	m ³	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 (Bartan, 2007).

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 Konteynerleri (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 "havaleli", fakat havalesine oranla ağırlığı az olan taşımalarda kullanılır (beyaz eşya, tütün, tekstil, gıda vb.). uygunsuz taşıma yapılmaması açısından, forklift cepleri yoktur (Bartan, 2007).



Şekil 2.2: Standart Yük Konteyner (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 20' 40' 40' yüksek tavanlı versiyon

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 taşımaya sağlar (Bartan, 2007).



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 Havalandırmalı 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: Havalandırmalı 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 konteynerinin üzerinde bulunan 3 kapaktan yapılıdır. Kapaklar arası mesafe 1.83 cm'dir (Bartan, 2007).



Şekil 2.9: Dökme Yük (Bulk) Konteyner

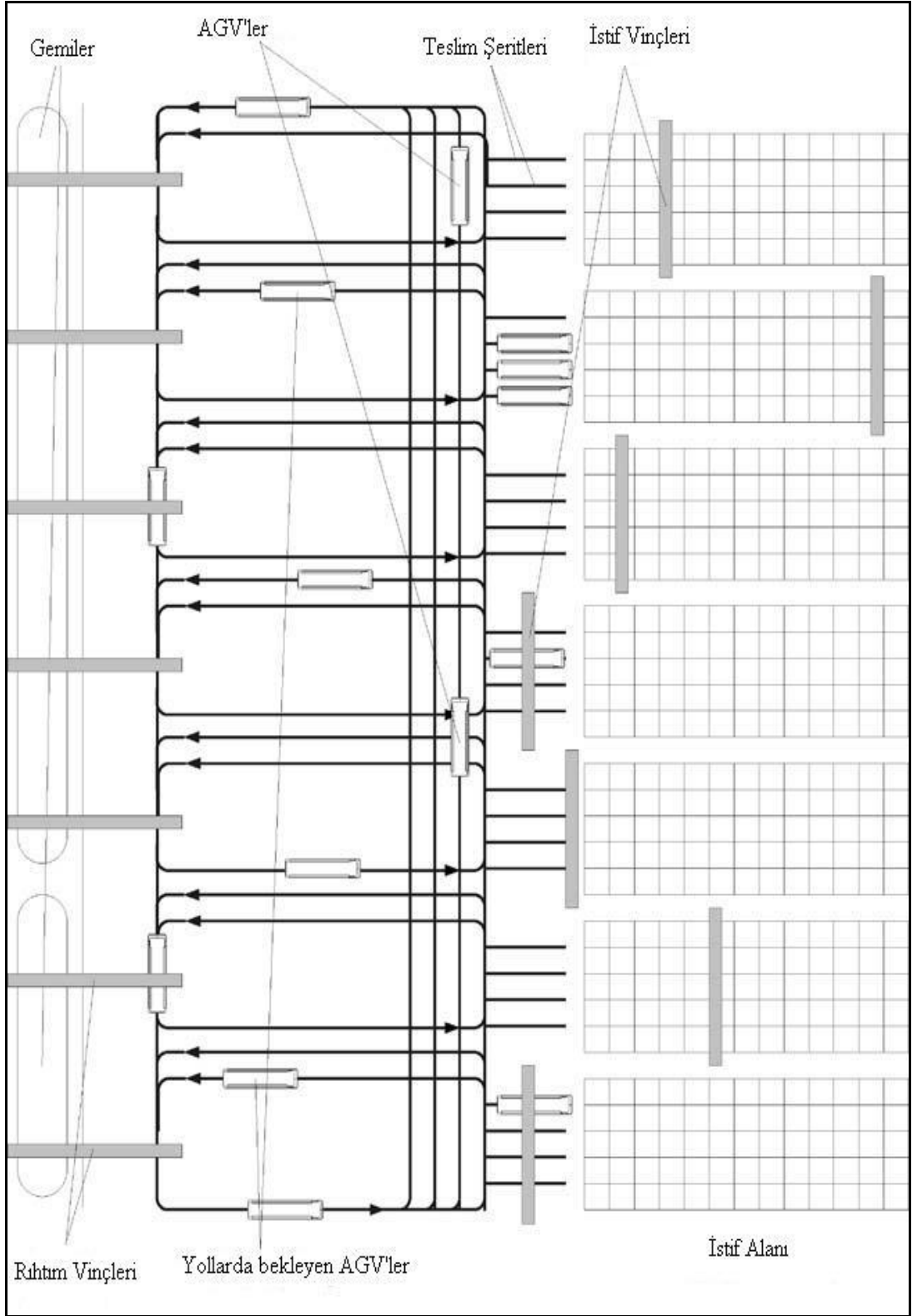
2.5 Konteyner Terminalleri

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).

Günümüzde gerek yükleme/boşaltmada, gerekse taşımada büyük kolaylık getirmesi, liman ve taşıma masraflarını azami seviyelere çekmesi nedeniyle, artık taşımacılığın büyük bir kısmı konteynerlerle yapılmaktadır. Bu durumda; konteyner terminali için liman içerisinde konteyner yük trafiğinin amacına yönelik olarak belirli tesislere, teknik ve işletme modellerine sahip olan limanlara veya alt kesimlere sahip olan liman anlayışı ortaya çıkmıştır. Basitçe konteyner terminalini, gemilerle gelen veya gemilere yüklenecek olan konteynerlerin elleçlenmesinin yapıldığı terminaller olarak tanımlayabiliriz (Bayar, 2005).

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. Bu tip terminale ait bir yerleşim örneği Şekil 2.10'da gösterilmiştir. 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 (Stenken ve diğ., 2004).



Şekil 2.10: Otomatikleştirilmiş Konteyner Terminali Yerleşim Örneği

Konteyner terminalleri; gerçekleştirilen operasyonları kontrol altına alabilmek, hangi bölgede hangi operasyonun yapıldığını net bir şekilde izleyebilmek, operasyonların daha hızlı bir şekilde yürütülmesini sağlamak ve operasyonlar sırasında sorun çıkan yerleri daha kolay tespit edebilmek için belirli alanlara ayrılmıştır. Bu alanlar Kamyon ve Tren Operasyon Alanı, İthalat/İhracat (Import/Export) Stok Alanı, Boş Konteyner Stok Alanı, Hangarlar ve Gemi Yükleme - Boşaltma Alanı'dır (Stenken 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 terminalleri buluşma noktalarıdır. Bu, konteyner terminallerinin aktarma fonksiyonunu da tanımlamakta; yani konteyner terminalleri, 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 İle Bağlantılı Taşıma Modlarının Özellikleri

Özellikler	Deniz Yolu Taşımacılığı		Demir Yolu Taşımacılığı	Kara Yolu Taşımacılığı
	Ana Hatlar	Ara Hatlar		
Bir Seferdeki Konteyner Miktarı	Büyük partiler halinde	Orta büyüklükteki partiler halinde	Küçük partiler halinde	Tek tek
Hizmetler	Düzenli, periyodik	Düzenli, periyodik	Düzenli, periyodik	Düzensiz ve zaman zaman
Elleçleme Süresi	Sınırlı	Sınırlı	Sınırlı	Sınırsız ama mümkün olduğunca kısa
Elleçlemenin Önceden Planlanması	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 tesadüfi 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 beklemesi” 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 (Takel, 1983).

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 getirirse 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, 2006).

Tablo 2.3: Konteyner 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
Post-Pana-Max				
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
Gelecek İçin Planlanan Gemiler				
Suez-Max		50-57	14,4-16,4	12000
Post Suez-Max		60	21	18000
Post Malaca-Max	470	60	21	18000

Tablo 2.3’de bahsedilen 3. Kuşak gemiler (Pana-Max) güverte üzerinde 13 sıra konteynere sahip olabilirler (Şekil 2.11). 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 2.12). 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-2).



Şekil 2.11: Pana-Max Tipi Konteyner Gemisi



Şekil 2.12: Post-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, 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'lık 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 kabini 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 (Url-1).



Şekil 3.1: Straddle Taşıyıcı

3.1.2 Şasi sistemi

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

1. Konteyner, karayolu treyleri üzerine yerleştirilir ve doğrudan müşteriye gönderilir. Bu yöntem kullanılmamaktadır. Çünkü treyler 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 treyleri 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, 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, 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

elleçlemede 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 büru 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, 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 güverteadaki 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, 2006).

Köprü vinçlerinin lastik tekerlekli, otomatik depolama, raylı olmak üzere üç şekli vardır. Lastik tekerlekli kreynerlerin 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. Kreynerlerin en büyük avantajı, ulaşabildiği mesafedir. Uzun bumlu bir kara kreyneri bir geminin güvertesine ulaşarak 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 kullanılagelmiştir. Ayrıca bu kreyner kapasiteleri 1 tondan 60 tona kadar değişmektedir (Acarer, 1997).

Limandaki vinçlerden biri rıhtım vinçleridir. Rıhtım vinçlerinin tipik özelliği, seviye hareketidir. Başka bir deyişle; yatay hareket esnasında yükü yerden belli bir yükseklikte tutabilme özelliğidir. Bu, vinç kolunu kaldırma ve indirme ile yapılabilir. Rıhtım ve güverteden yükü çok kısa bir mesafe kaldırmak gerektiğinde çok önemli bir özelliktir (Güler, 1991).

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, 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 yararlanılır (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 vincinin operatörleridir ve ayrı koordinatlarda hareket ederler.

Bu istif vinçleri boyutları sayesinde bir blok üzerinde birbirleri içerisinden geçerek hareket etmektedirler. Bu sayede beklemler 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 suyuolu “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, 2006).



Şekil 3.11: Konteyner Terminali Giriş/Çıkış Kapısı

4. İSTİF VİNCİ ÇİZELGELEME

4.1.İstif Blokları ve İstif Lojistiği

Bir terminaldeki depolama alanı genellikle depolama blokları ya da bloklar olarak adlandırılan dikdörtgenel alanlara ayrılmıştır. Tipik bir blok alanın altı tanesi konteynerleri sıralarda ya da sütunlarda depolamak için, 7.' si kamyon geçişleri için kullanılan 7 istif alanından (ya da line) oluşmuştur. Her dizi, tipik olarak, uç uca boylu boyunca sıra ile dizilmiş yirmi 20' lik konteyner sırasından oluşur. Bir 40'lik konteyner istiflemek için, iki 20'lik istif alanı kullanılır. Her istifte, konteynerler diğer birinin üzerine konur. Bir istiftteki konteyneri konumlandırmak için ya da bir istiftten almak için alan vinçleri olarak isimlendirilen büyük vinçler kullanılır.

Depolama sahasındaki bir konteynerin lokasyonu bulunduğu blok, sıra, kolon ve kat ile adreslenmektedir. Operasyonel ihtiyaçlara göre depolama sahası farklı alanlara ayrılır. Reefer, tehlikeli madde ya da hasarlı konteynerler için özel alanlar ve ithal ve ihraç konteynerler için farklı alanlar vardır. Avrupa'daki büyük konteyner terminallerinin ortalama günlük saha kullanımı yaklaşık 15-20.000 konteynerdir. Bu da günlük 15.000 hareket anlamına gelmektedir. Sahadaki konteynerlerin kalış süresi ortalama 3-5 gün aralığındadır. Depolama planlaması ve istifleme karar sistemi depolanacak bir konteynerin hangi blok ve hangi lokasyona yerleştirileceğine karar vermek zorundadır. Konteynerler üst üste istiflenmektedirler ve her birinin istifleme ekipmanı ile direk erişimi mümkün değildir. Gerekli olan bir konteynere ulaşmak için öncelikle onun üzerinde yer alan diğer konteynerlerin alınması gerekmektedir (Steenken, ve diğ., 2004).

Depolama planlaması ve istifleme karar sistemi depolanacak bir konteynerin hangi blok ve hangi lokasyona yerleştirileceğine karar vermek zorundadır. Konteynerler üst üste istiflenmektedirler ve her birinin istifleme ekipmanı ile direk erişimi mümkün değildir. Gerekli olan bir konteynere ulaşmak için öncelikle onun üzerinde yer alan diğer konteynerlerin alınması gerekmektedir. Birkaç nedene bağlı olarak yeniden

elleçleme oluşmaktadır. Bu nedenlerden en önemlisi de istiflenecek konteynere ait verinin eksik ya da yanlış olmasıdır. Avrupa terminallerinde, terminale gelen ihraç konteynerlerinin %30-40'ının doğru veri eksikliği vardır. İyi bir depolama kararı için gereken veriler: ilgili gemi, tahliye limanı ve konteyner ağırlığıdır. Konteynerin terminale varışından sonra bile gemi hattı tarafından tahliye limanı ve gemisi değiştirilebilmektedir. Gemilerden boşaltılan ithal konteynerler için ise durum daha da kötüdür. Bir geminin boşaltılması esnasında sahada bir lokasyon belirlenmesi aşamasında boşaltılan konteynerlerin en çok %10-15'lik kısmının kara tarafındaki taşıma modu bilinmektedir.

Durumu kolaylaştırmak ve gemi tren veya tır operasyonlarına yüksek performans sağlamak için konteynerler bazen yükleme yerine yakın bir yerde ve yükleme sırasına uyacak biçimde ön-depolanmaktadırlar. Bu, yükleme planı tamamlandıktan ve gemi yüklemeye başlamadan önce yapılır. Çünkü ön-depolama ilave taşıma gerektirir, bunun da maliyeti yüksektir ve terminaller normalde sahadaki istiflemeyi optimize ederek bundan kaçınmaya çalışırlar. Ama geminin yüklenmesi mümkün olduğunca hızlı olması gerektiğinde yapılmaktadır. Depolama ve istif lojistiği giderek daha karmaşık ve sofistike hale gelmektedir ve terminalin toplam performansında önemli bir rol oynamaktadır.

İki çeşit depolama lojistiği ayırt edilmektedir. Depolama ve saha planlama sistemlerinde beklenen ithal ve ihraç konteynerlerin sayısına göre istif alanlarının ve depolama kapasitelerinin geminin varışından önce tahsis edilmesi bunlardan ilkidir. Bloklarda ve sıralarda uygun sayıdaki lokasyon, belirli bir gemi için rezerve edilmektedir. Planlama stratejisine bağlı olarak, ihraç konteynerleri için rezervasyon tahliye limanı, konteyner tipi/uzunluğu ve konteyner ağırlığı için ayrılabilir.

İhraç konteynerleri için ortak bir strateji tahliye limanı ve tipi aynı olan konteynerler için bir sıra içindeki lokasyonların rezerve edilmesidir. Geminin stabilizesinin sağlanması için de ağır konteynerlerin önce yüklenmesi gerektiğinden sahada ağır konteynerler hafiflerin üzerine konulurlar. İthal konteynerler için ise daha ileri bir ayırıştırma yapılmaksızın sadece ilgili büyüklük için saha kapasitesinin rezervasyonu yapılır. Çünkü tahliye esnasında teslimatın ulaştırma şekli ve verisi genellikle bilinmemektedir. Eğer ulaştırma şekli biliniyor ise ithal alanlar buna göre ayrılabilir. İthal konteynerler için ortak strateji ithalat alanındaki herhangi bir lokasyonun seçilmesi ve aynı depolama tarihli konteynerlerin orada kümelenmesidir.

Saha ve planlama nadir olarak gerçek teslimatla uyuşmaktadır çünkü konteynerin teslimi önceden tam olarak tahmin edilemeyen stokastik bir süreçtir. Bu saha konseptinin kalitesi iyi bir istif konfigürasyonunun nasıl belirleneceği stratejisine ve konteyner geliş dağılımının iyi bir tahminine bağlıdır. İki faktörün de çözülmesi zordur ve yüksek oranda yeniden düzenleme hareketi ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca, saha lokasyonlarının rezervasyonu da istif kapasitesini işgal eder.

Bütün bu dezavantajları yüzünden bazı terminaller (scattered stacking) dağınık istifleme diye adlandırılan bir istif konsepti kurmuşlardır. Dağınık istiflemeye, artık sahanın belli kısımları belli bir geminin gelişine atanmıyor ama belli bir demirleme yerine atanıyor. Bir konteyner geldiğinde, bilgisayar sistemi geminin programından hareketle gemi için uygun demirleme yerini seçmekte ve otomatik olarak bu demirleme yeri için ayrılmış olan alan içinde iyi bir istif lokasyonu aramaktadır.

Gerçek zamanlı olarak bir istif lokasyonu seçilmekte ve -gemi, konteyner tipi/uzunluğu, tahliye limanı ve ağırlığı- aynı olan aynı kategorideki konteynerler birbirlerinin üstüne kümelenmektedirler. Bir gemiye ait konteynerler kendi istif alanları içerisinde stokastik olarak dağılmaktadırlar; saha lokasyonlarının rezervasyonu artık gerekli olmamaktadır. Bu konsept daha yüksek bir saha kullanımı sağlamaktadır çünkü herhangi bir lokasyon rezerve edilmemektedir. Ayrıca istifleme kriteri ile geminin yükleme kriteri örtüştüğü için yeniden düzenleme miktarı dikkate değer biçimde azalmaktadır.

Konteyner özellikleri saha istif konseptlerinde önemli bir rol oynasa da lojistik süreçlerin iyileştirilmesi için ilave parametreler dikkate alınmalıdır. Örneğin yükleme operasyonuna yüksek performans sağlamak amacıyla taşıma uzaklığını minimum yapacak şekilde konteynerler gelecekteki yükleme yerine yakın bir yerde istiflenmelidirler. Rıhtım vinçlerinin performansı istif ve taşıma ekipmanının performansından daha yüksek katlıdır. O nedenle, aynı kategoriye sahip konteynerlerin, taşıtların gereksiz bekleme sürelerinden ve sıkışıklıklardan kaçınmak için birkaç blok ve sırada dağıtılmaları gerekmektedir. Diğer istif ekipmanının ve istif vincinin gerçek iş yükü de dikkate alınmalıdır çünkü kullanımı fazla olan ekipmanlara ilave görevlerin verilmesi bekleme sürelerine yol açmaktadır. Her bir faktörün ağırlığı parametrelerle ölçülerek, tüm bu faktörler bir algoritmaya entegre edilebilmektedir (Steenken ve diğ., 2004).

İhraç, ithal ve boş konteynerler arasında her birinin terminale getiriliş şeklini etkileyen farklılıklar vardır. Konteynerin gemiden direk demiryolu veya karayolu aracına transfer edilebileceği bazı yakın deniz trafiği (short sea traffic) hariç, transfer işleyişinde iki adım mevcuttur: gemiden önce ithal konteynerler alınır ve karaya veya tekerlekli treyler'e yerleştirilir. Buradan rıhtıma bitişik olmayan bir istif alanına götürülür, daha sonra (genellikle birkaç gün sonra) bu istif yerinden alınarak iç noktalara ulaştırılmak üzere kara veya demiryolu araçlarına yerleştirilir. İhraç konteynerler, gemi gelişinden günler önce getirilerek, rıhtım vincinin ulaşım alanı içinde bir yer olmamak kaydıyla, yükleme rıhtımına yakın bir alana istiflenirler. Bu yerden daha önce yapılmış olan bir planlamaya göre belli bir sırada alınarak, rıhtım vincinin altındaki alana ulaştırılırlar ve gemide ayrılmış olan yerlerine yerleştirilirler. Gemiyle gidecek olan boş konteynerlerde de, ihraç konteynerler için geçerli olan planlama şekli uygulanmaktadır. Deniz veya karayolu ile gelen boş konteynerler genelde ithalat konteynerlerinden ayrılarak, özel bir depolama alanında istiflenmektedir. İthal konteynerlerin terminaldeki yerleşimine ayrıca ileri aşamadaki teslim modu da etki etmektedir; karayolu ile ulaşımı sağlanan, demiryolu ile ulaşımı sağlanan ve parsiyel konteynerleri terminale doğru farklı rotalar izlerler ve rıhtım vincini terk eder etmez ayrılabilirler (Branch, 1986).

4.2. İstif Vinci Çizelgeleme (İVÇ) Problemi İçin Geliştirilen Stratejiler

Lastik Tekerlekli Vinç, Raylı Portal Vinç ve Otomatik İstifleme Vinci farklı fiziksel özellikteki istifleme vinçleridir. Bu istif vinçleri konteyner terminalinin özelliğine göre farklı şekillerde çalışabilmektedirler. Konteyner terminalinin yönetim stratejilerine göre bu istif vinçleri uygun olarak çalışmaktadır.

Konteyner liman terminaline denizyolu veya karayolu ile ulaşan konteynerlerin taşıyıcı araçlar ile depolama alanına ulaştırılması ile başlayan ve depolama alanında taşıyıcı araçlara konteynerlerin yüklenmesi ile sonlanan sürecin planlanması literatürde İstif Vinci Çizelgeleme olarak bilinmektedir (Javanshir ve Ganji, 2010).

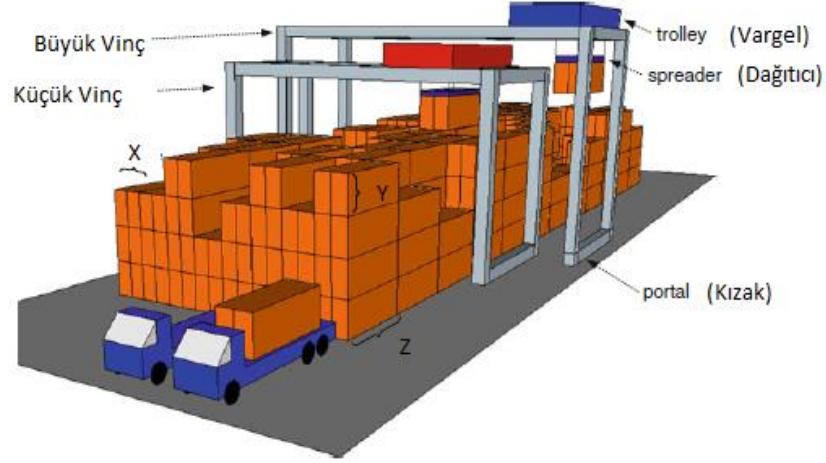
Taşıyıcı araçlar türlerine göre fark etmekle birlikte genellikle konteynerleri depolama sahasında "transfer point" denen noktalara bırakırlar veya blok boyunca uzanan depolama sahası içinde ayrılmış alanda istif vincinin kolaylıkla elleçleyeceği bir noktaya taşıyarak beklerler. İstif vinçleri otomatik ise uzaktan kumanda aracılığıyla veya operatörün kullanımı ile sahada aktif olarak hareket eder ve belirli bir konteyner

sırasına göre yükleme/boşaltma işlemini yaparlar. Buradaki sıra müşterilerin önceliğine veya yükleme/boşaltma operasyonlarının kendi içindeki önceliğine göre belirlenebilmektedir. Konteyner bloğu üzerinde rastgele, önceden belirlenmiş veya en yakındaki alana konteyner istiflenir. Boşaltma operasyonu ise bu sürecin tam tersi şeklinde işler. Genellikle istif bloğundaki boşaltılacak tüm konteynerler elleçlendikten sonra yüklemeler yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda göze çarpan bu strateji bu çalışmaya da aynen uygulanmıştır.

İstif vinci konteyner bloğu üzerinden bir müşteriye ait konteyner(ler)i boşaltacağı (bloktan taşıyıcı araca yükleme) zaman istif vinci mekanik özelliği sayesinde eş zamanlı olarak üç boyutta (en, derinlik, uzunluk) hareket eder. Bu boyutlar matematiksel olarak X, Y, Z boyutu olarak tanımlanabilmektedir. Z boyutu konteyner bloğunun yatayda uzunluğunu, Y boyutu yükseklik olarak üst üste istiflenmiş konteynerlerin derinliğini, X boyutu ise istif vincinin üzerinden bakıldığında konteyner bloğunun enini göstermektedir.

Dünyadaki ileri teknoloji ile donatılmış konteyner terminallerinde çeşitli büyüklükte ve özellikte istif vinçleri mevcuttur. Bu istif vinçleri boyutları sayesinde bir blok üzerinde birbirleri içerisinden geçerek hareket etmektedirler. Bu sayede beklemler 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. Çalışmanın kapsamında kullanılan Otomatik İstif Vinci'ne Şekil 4.1'de yer verilmiştir. İstif vincinin hızlarıyla ilgili bilgi matematiksel model kısmında verilecektir.

İVÇ problemi, belli bir noktadan başlayarak alt katmana kadar giden bir ağ yapısının minimum yolunu bulmaya dönüştürülebilir (Yan, 2011).



Şekil 4.1: Örnek İstif Bloğu ile İstif Vinçleri (Kempe, 2011)

İstif vinçleri aynı blok üzerinde “paylaşımli” ve “serbest” dağıtım kurallarına göre operasyonlarını sürdürebilmektedirler. İki veya daha fazla istif vincinin özel boyutları sayesinde birbirleri içerisinden geçerek konteyner elleçlemesi serbest dağıtım; önceden tanımlanmış alanlarda birbirlerinin alanına müdahale etmeden kendi alanındaki konteynerlerin elleçlemesi ise paylaşımli dağıtım kuralıdır. Dünyadaki büyük otomatikleştirilmiş konteyner terminallerinde istif vinçlerinin serbest operasyonlarına daha sık rastlanmaktadır. Bu şekilde paylaşımli operasyona göre daha etkin operasyonların gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Serbest dağıtım kuralında istif vinçleri mevcut konumlarından kendilerine daha yakın konteynerleri elleçleyebildiğinden, istifleme alanında serbest hareket etmeleri zaman açısından kazanç sağlamaktadır. Öte yandan paylaşımli istif vinci operasyonlarının da terminalin özelliğine göre birçok avantajı mevcuttur. Paylaşımli dağıtım kuralında istif vinçleri bloğun tamamı için elleçleme yapamadığından yani kısa mesafede hareket ettiğinden daha etkin çalışabilmektedirler.

Yukarıda özetlenen dağıtım kuralları müşteri önceliklendirme kuralları ile kombinasyonlu olarak uygulandığında aşağıdaki stratejilere karar verilmiştir:

4.2.1 Tek istif vinci dağıtım - serbest - müşteri gruplu (TV-S-MÖV)

Bir konteyner bloğu üzerinde sadece bir istif vincinin çalışmasıdır. Konteynerlerin ait olduğu müşteri grubunun önceden belirlenen elleçleme sırasına göre elleçlenmesi stratejisidir.

4.2.2. Tek istif vinci dağıtım - serbest - tek müşteri (TV-S-MÖY)

Bir konteyner bloğu üzerinde sadece bir istif vincinin çalışmasıdır. Konteynerlerin ait olduğu müşteri grubunun sıralama olmaksızın elleçlenmesi stratejisidir. Sıralama olmadığı için tek müşteri gibi düşünülür.

4.2.3. Çift istif vinci dağıtım - paylaşımlı - müşteri gruplu (ÇV-P-MÖV)

Bir konteyner bloğu üzerinde iki istif vincinin bir arada çalışmasıdır. İstif vinçleri bloğun Z koordinatını baz alarak alanı paylaşırlar. İstif vinçlerinin boyutu birbirinden farklı olabilmekle beraber kendilerine ayrılmış blok alanı dışında elleçleme yapamazlar. Konteynerlerin ait olduğu müşteri grubunun önceden belirlenen elleçleme sırasına göre elleçlenmesi stratejisidir.

4.2.4. Çift istif vinci dağıtım - paylaşımlı - tek müşteri (ÇV-P-MÖY)

Bir konteyner bloğu üzerinde iki istif vincinin bir arada çalışmasıdır. İstif vinçleri bloğun Z koordinatını baz alarak alanı paylaşırlar. İstif vinçlerinin boyutu birbirinden farklı olabilmekle beraber kendilerine ayrılmış blok alanı dışında elleçleme yapamazlar. Konteynerlerin ait olduğu müşteri grubunun sıralama olmaksızın elleçlenmesi stratejisidir. Sıralama olmadığı için tek müşteri gibi düşünülür.

4.2.5. Çift istif vinci dağıtım - serbest - müşteri gruplu (ÇV-S-MÖV)

Bir konteyner bloğu üzerinde iki istif vincinin bir arada çalışmasıdır. İstif vinçleri boyutlarının sağladığı avantajdan dolayı birbirleri içinden paralel olarak geçerek bütün blok üzerinde elleçleme yapabilirler. Konteynerlerin ait olduğu müşteri grubunun önceden belirlenen elleçleme sırasına göre elleçlenmesi stratejisidir.

4.2.6. Çift istif vinci dağıtım - serbest - tek müşteri (ÇV-S-MÖY)

Bir konteyner bloğu üzerinde iki istif vincinin bir arada çalışmasıdır. İstif vinçleri boyutlarının sağladığı avantajdan dolayı birbirleri içinden paralel olarak geçerek bütün blok üzerinde elleçleme yapabilirler. Konteynerlerin ait olduğu müşteri grubunun sıralama olmaksızın elleçlenmesi stratejisidir. Sıralama olmadığı için tek müşteri gibi düşünülür.

Terminal yönetiminin belirlediği stratejilere göre müşteri önceliği kuralı uygulanabilmektedir. Konteyner bloğuna istiflenen konteynerlerin sırasına, konteyner içinde taşınan maddenin cinsine ve büyüklüğüne bağlı olmaksızın ikili

anlaşmalar (müşteriler-konteyner yönetimi) gereği herhangi bir müşterinin konteynerlerine öncelik tanınabilir. Bu önceliklendirme hem yükleme hem de boşaltma için geçerlidir. Diğer yandan konteynerlerin istif sırası, taşınan maddenin özelliği ve bloğun kapasitesine bağlı olarak elleçleme işlemleri müşteriler arasında karışık olarak yapılabilir.

İstif blokları ithal ve ihraç olmak üzere konteyner depolama sahasında ayrıştırılmaktadır. Çalışmamızda operasyonların bir istif bloğu üzerinde gerçekleşeceğini düşünürsek öncelikle boşaltma işlemlerinin daha sonra yükleme işlemlerinin yapılması gerektiğine karar verilmiştir.

Depolama sahasındaki İVÇ problemi farklı şekillerde incelenmiştir. Çalışmalar genellikle konteyner blokları arasında birden fazla istif vincinin blokları paylaşarak elleçlemesi üzerine yoğunlaşmıştır. Kullanılan istif vinçlerinin boyutları çoğu terminalde aynıdır ve birbirleri içinden geçerek operasyon yürütmeye imkân vermemektedir. Bu nedenle çalışmalar çoğunlukla paylaşımlı alanlar üzerine yapılmıştır. Bu çalışmalarda ise sadece istif vincinin kızığının sadece blok boyunca doğrusal hareketi göz önüne alınmıştır. Çalışmalar genellikle çizelgeleme problemlerinin farklı özelliklerine göre matematiksel modeller ile formüle edilmiş ve herhangi bir sezgisel/meta sezgisel algoritmayla çözümlenmiştir.

4.3 İstif Vinci Çizelgeleme Alanındaki Literatür Araştırması

Konteyner terminalerinde istif vinçlerinin operasyonlarının sezgisel yöntemlerle çizelgeleyen çalışmalar Türkiye’de bulunmamaktadır. Yurtdışında yapılan çalışmalarda ise spesifik bir alana odaklanılmıştır. Çalışmalar, farklı büyüklükteki konteyner terminali kapasitesinin, paylaşımlı-serbest alan vinçleri karşılaştırmasının, istif vinci hazırlık sürelerinin düşürülmesi vb. alanlara uygulanmaktadır. Aşağıda yurtdışında istif vinci çizelgeleme konusunda yapılan çalışmalara değinilmiştir:

Taleb-Ibrahimi ve diğ. (1993), bir terminaldeki ihraç konteynerler için elleçleme ve depolama stratejileri tanımlamışlar ve bunların performansını gerekli olan elleçleme hareketi sayısı ve alan miktarı ile ölçmüşlerdir. Verilen belirli bir trafik için önerdikleri stratejilerin uygulanabilmesi için gereken minimum alan miktarını belirlemişlerdir. Operasyonel düzeyde de elleçleme hareketi miktarının nasıl tahmin ve minimize edileceğini tanımlamışlardır.

Castilho ve Daganzo (1993), istif yüksekliğinin aynı olmasını sağlamaya çalışan ve geliş zamanlarına göre konteynerleri ayırmak ya da gruplandırmak olan 2 strateji altında ithal konteynerler operasyonları için gereken elleçleme miktarını ölçen metodlar sunmuşlar. Bu stratejileri ideal hale getirilen bir durumda kıyaslamışlardır.

Bruzzone ve Signorile (1998), terminalde konteynerlerin yerleşiminin planlanması ve optimizasyonu için simülasyon aracını kullanmışlardır. Genetik algoritma ile de konteyner kümelerinin oluşumunu ve sahadaki yerleşim yerlerinin belirlenmesini planlamışlardır.

Wilson ve Roach (2001), birçok limana uğrayan bir konteyner gemisinde konteynerler için uygun yerleşimin belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Yükleme planlama problemini ilgili stratejik problemler ve taktik planlama seviyelerine göre iki alt sürece ayırmışlardır. Bir gemide genel olarak konteynerlerin bir bloğa atanması olan ilk problemi çözmek için Dal-sınır algoritmasını kullanmışlardır. İkinci aşamada, belirli konteynerleri bir blokta belirli lokasyonlara veya pozisyonlara atayan daha detaylı bir plan, Tabu Arama algoritması ile bulunmuştur. Her zaman optimal olmamakla birlikte makul bir sürede iyi sonuçlar bulunabilmektedir.

Zhang ve diğ. (2002), çalışmada konteyner terminallerindeki RTGC'lerin dağıtım problemi üzerine odaklanmışlardır. İstif vinçlerinin günlük periyottaki iş yükleri göz önüne alındığında toplam iş içindeki gecikme zamanlarını minimize etmek istemişlerdir. Problem karma tamsayılı programlama ile formüle edilmiş ve "Lagrangean Relaxation" ile çözülmüştür. Bu yaklaşımın performansını artırmak için çözüme ek kısıtlamalar getirmiştir. "Lagrangean Relaxation" yönteminin kısa sürede mükemmel çözümler ürettiği ortaya konmuştur.

Zhang ve diğ. (2003), ithal, ihraç ve transit konteynerların aynı blokta istiflendiği kompleks bir terminalde depolama yeri belirleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Devinimli ufuk yaklaşımının her bir planlama periyodunda, problem iki seviyeye ayrılmış ve her seviye için matematiksel modeller geliştirilmiştir. İlk aşamada bloklar arasındaki iş yükü dengelenmiştir. İkinci aşamada ise gemi ile bloklar arasındaki taşıma mesafesini minimize edecek şekilde her bir gemideki konteynerlerin toplam sayısının bloklara atanması çözülmüştür. Sayısal deneyler iş yükü dengesizliklerinin önemli ölçüde azaldığını ve böylece darboğazların önlendiğini göstermiştir.

Bish (2003), çalışmasında konteyner terminalindeki taşıyıcı araçların konteynerlere atanması ve yükleme-boşaltma işlemlerinin yürütüldüğü depolama alanındaki istif vinçlerini birlikte çizelgeleyerek toplam elleçleme süresinin en küçüklenmesi üzerine çalışmıştır. Bu problemi çözmek için bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Sezgisel algoritmanın etkinliği en kötü senaryolar ile çalıştırılarak test edilmiştir.

Ng ve Mak (2005), çalışmalarında yavaş işleyen ve darboğaz oluşturan istif vinci işlemlerini geliştirmek için Dal-Sınır Algoritması kullanmışlardır. Hazırlık zamanlarını düşürerek yükleme/boşaltma işlemlerini hızlandırmaya çalışmışlardır. Önerilen Dal-Sınır Algoritması'nın, işlem sürelerinin alt ve üst sınırlarını bulmak için etkin ve verimli olduğu ortaya konmuştur.

Akoğlu (2006), bir konteyner terminalinin optimum depo alanını, envanter yöntemi ve kuyruk yöntemi gibi bazı optimizasyon yöntemleri kullanılarak belirlemeye çalışmıştır. Çalışmanın amacı, terminal sahasında depolanacak konteyner sayısını optimum bir şekilde belirlemektir. Konteyner istatistikleri, Genetik Algoritma prensiplerine göre derlenmiş ve değerlendirilmiştir. Genetik algoritmadan elde edilen sonuçları Monte-Carlo simülasyonundan elde edilenlerle karşılaştırmıştır.

Chen ve diğ. (2007) çalışmalarında, konteyner terminallerinde ekipman çizelgeleme için entegre bir model geliştirmişlerdir. Temel amaçları gemi hizmet süresini minimize etmek olan çalışma, karışık akış tipi çizelgeleme problemi gibi önceliklendirme ve engelleme kısıtları ile ele alınmıştır. Problemin çözümünde Tabu Arama algoritması önerilmiştir. İki tip yaklaşım kullanılarak uygulanan tabu arama algoritmasının sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Javanshir ve Ganji (2008), istif vinci çizelgelemede Matlab 7 ile geliştirilen GA ve LINGO ile geliştirilen Dal-Sınır Algoritması modelini karşılaştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda GA'nın daha etkin sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

Lau ve Zhao (2008), otomatikleştirilmiş bir konteyner terminalinde üretkenliği arttırmak için farklı tiplerdeki elleçleme ekipmanlarını entegre bir şekilde çizelgelemeye çalışmışlardır. Bunun için çok katmanlı genetik algoritma olarak bilinen bir sezgisel yöntem kullanmışlardır. Bu algoritmanın hesaplama karmaşıklığını azaltmak içinse artı maksimum eşleme olarak bilinen bir genetik algoritma kullanmışlardır. İki algoritma birbirleriyle karşılaştırılmıştır ve elde edilen sonuçlar çok katmanlı genetik algoritmanın daha iyi olduğunu göstermiştir.

Meng ve diğ. (2008), farklı uzunluk ve genişlikteki istif vinçlerinin bir blok üzerinde birlikte işlem yaparken, birbirleri içinden geçerek daha etkin şekilde çalıştıklarını düşünmüşlerdir. Çalışmalarında, konteyner yükleme/boşaltma işlemlerini daha verimli hale getirmeye odaklanmışlardır. Tavlama benzetimi algoritması ile bir sezgisel algoritma kombine edilerek problem çözümü için tasarlanmıştır. İki yaklaşımın bir arada kullanılmasının ayrı ayrı kullanılmasına göre daha verimli sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

Mak ve Sun (2009), çalışmalarında istif vinci ile gerçekleştirilen yükleme/boşaltma işlemlerinin hazırlık sürelerinin düşürülmesi üzerine odaklanmışlardır. İstif vinci toplam çalışma süresini en küçükleyecek algoritmalar geliştirmişlerdir. GA, TA kombinasyonundan TA Çaprazlama ve TA Mutasyon algoritmalarını geliştirilmişlerdir. Önerilen bu algoritmalar ile GA karşılaştırılarak aralarındaki maliyet verimliliğini hesaplamışlardır. TA Çaprazlama ve TA Mutasyon algoritmalarının birlikte kullanılmasının daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermişlerdir.

Li ve diğ. (2009), çalışmalarında İVÇ problemi için geliştirilen model ile vinçler arası paylaşımı dikkate alarak gerçekçi şekilde yükleme/boşaltma işlemlerini çizelgelemişlerdir. Önerilen modelin etkin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu sezgisel algoritma ve formülasyonun diğer problemler için de kullanılabilir esneklikte olduğunu belirtmişlerdir.

Bazzazi ve diğ. (2009), bir konteyner terminalinde genişletilmiş depolama yeri atama problemini çözmek için GA kullanmışlardır. Farklı tipteki konteynerlerin (kuru yük, sıvı soğuk gıda vb.) depolama operasyonu için birden fazla GA modeli ile çalışılmıştır. Geliştirilen GA modellerinin uygulanması durumunda, istif vinçlerinin konteyner çizelgelenmesinde verimlilik sağlayacağı vurgulanmıştır.

Wenying ve diğ. (2010), yaptıkları çalışmada, lastik tekerlekli istif vinçlerinin çizelgelenmesinde, bu araçların terminalin iç kısmına kaydırılması sonucu darboğazların giderileceğini düşünmüşlerdir. GA'nın etkin çözümler sunduğunu gözlemlemişlerdir.

Cao ve diğ. (2010), konteyner terminalinde çalışan kamyon ve alan vincinin bütünleşik olarak çalışmalarını çizelgelemişlerdir. Karma tamsayılı programlama ve Banders' in ayrıştırma metotları uygulayarak aralarında karşılaştırma yapmışlardır.

Bu karşılaştırmada Banders' in önerdiği yöntemin daha verimli sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

He ve diğ. (2010), istif vinçlerinin çizelgelenmesi için yeni bir strateji geliştirmeye çalışmışlardır. Bu amaçla, istif vinci çizelgeleme problemi için nesnel programlama kullanarak dinamik bir çizelgeleme modeli geliştirmişlerdir. İstif vinci çizelgeleme problemini çözmek için bir sezgisel algoritma ve Paralel Genetik Algoritma'yı kombine olarak kullanmışlardır. Daha sonra bu yaklaşımı değerlendirmek için bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, geliştirilen melez modelin belirli bir konteyner terminalindeki istif vinçlerinin çizelgeleme problemini sayısal deneylerin sonucunda verimli olarak çözdüğünü ortaya koymuşlardır.

Yan ve diğ. (2011), istif vinci çizelgeleme problemi hakkında bilgi toplanmış, bu bilgiler sıralanarak taksonomik ağaç yapısı ve bilgi edinme yapısı oluşturulmuştur. Daha sonra, istif vinci çizelgelenmesi için bu model yapıları önerilmiştir. Ayrıca, bilgi aklı için bir mekanizma konuşlandırılmıştır. Sonuç olarak, bir bilgi-tabanlı sistem istif vinci çizelgeleme problemi için kurulup örnek bir çalışma üzerinde kullanılmıştır.

Chang ve diğ. (2011), literatürde yapılan çalışmalara atıfta bulunarak, problemlere bulunan çözümlerin genellikle yerel optimuma takıldığını vurgulamıştır. Bu sorunu aşmak için tamsayı matematiksel model kurulmuş, gecikmeleri azaltmak için bir simülasyon modeli ve genetik algoritma geliştirilerek etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Modelde geliştirilen stratejinin etkinliğini kanıtlamıştır.

Guo ve diğ. (2012), istif vinci operasyonları üzerine odaklanarak taşıyıcı araçların bekleme sürelerini minimize etmeye çalışmışlardır. Bazı sezgisel yöntemlerin optimal bir çözümü garanti edemezken, aynı zamanda çözüm süresi açısından da kötü olduklarını iddia etmektedirler. Bu nedenle, A* arama algoritması adıyla bilinen bir sezgisel yöntem "backtracking" algoritması bir arada kullanılarak çözümler üretilmiştir. Bulunan çözümlerin optimuma yakın çözümler olduğu küçük problemler üzerinden gösterilerek kanıtlanmıştır.

Li ve diğ. (2012), konteyner terminallerinde darboğaz oluşturan istif vinçlerinin bekleme sürelerini azaltmak için karma tamsayı matematiksel model önermişlerdir. Önerilen modelde istif vinçlerinin hızlanıp/yavaşlaması, depolaması/boşaltması, birbirleri içinden eş zamanlı geçişleri gerçeğe yakın olarak benzetilmiştir. Modelde

kullanılan tamsayı sayısı bu alanda yapılan çalışmalardan daha az olmasına rağmen çözüm kalitesi açısından daha iyi sonuçlar ürettiği kanıtlanmıştır. Bir sezgisel ve planlama ufku algoritması birlikte kullanılmış, literatürdeki diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar ürettiği ortaya konmuştur. Aynı zamanda, geliştirilen yöntem polinom zaman açısından daha hızlı sonuçlar üretmiştir.

4.4 Çalışmanın Özgünlüğü

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu tez çalışmasının aksine hiçbir çalışmada konteyner bloğu üzerinde istif vincinin üç koordinat boyunca hareketleri dikkate alınmamış, sadece tek bir koordinatta hareketi baz alarak hesaplama yapmıştır. Çalışmamızda geliştirilen yeni metotta GA ve TA meta sezgiselleri, sezgisel yöntemlerle (Nearest Neighbor, Lin-Kernighan) entegre uygulanarak iki yeni yaklaşım sunulmuştur. Geliştirilen 2 yeni yaklaşım (GANNLK, TANNLK) ve GA, TA meta sezgiselleri İVÇ problemi için her bir çizelgeleme stratejisine ayrı ayrı uygulanmıştır. Paylaşımli istif vinci ve serbest istif vinci stratejilerinin müşteri öncelik kurallarıyla birlikte karşılaştırılması literatürde ilk defa uygulanmıştır. Bu iki yeni yaklaşımın etkinliği testler sonucunda matematiksel olarak ortaya koyulmuştur. Yeni yaklaşım hem çözüm kalitesi (uygunluk değeri) hem de çözüm süresi açısından etkin sonuçlar vermesi, çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

4.5 Matematiksel Model ve Operasyon Algoritması

4.5.1 Matematiksel model

Parametreler;

k = istif vinci; k = 1, 2, K;

i = konteyner; i = 1, 2, ... , I;

m = müşteri grubu; m = 1, 2, ... , M;

j = işlemler; 1: yükleme (ithalat), 0: boşaltma (ihracat), J;

p, q = konteyner elleçleme işlemi/görevi (ij) sırası; $1 \leq p, q \leq P, Q \wedge p \neq q$;

$C_{ij}^m = \{ (X_{ij}^m, Y_{ij}^m, Z_{ij}^m) \}$ m müşteri grubundaki i konteynerinin j işlemi için konumu;

$YC_k = \{ (X_k, Y_k, Z_k) \}$ k istif vinci konumu;

N = Elleçlenen toplam konteyner sayısı

S_k = k istif vincinin X, Y, Z koordinatlarındaki dolu ve boş hızı ($S_g=240$ m/dk,
 $S_t=60$ m/dk, $S_h=39$ m/dk, $S_l=72$ m/dk)

U_k = k istif vincinin elleçleyeceği konteyner kümesi;

D_{ij}^{km} = k istif vincinin i konteynerini elleçlemesi için kat ettiği mesafenin maksimumu
(hedef konteyner konumuna gelene kadar);

PC_{ij}^{km} = m müşteri grubundaki i konteynerini j işlemi olarak k istif vincinin geçici
elleçlemesi için gereken süre;

TC_{ij}^{km} = m müşteri grubundaki i konteynerini j işlemi olarak k istif vincinin
elleçlemesi için gereken süre;

H_{ij}^{km} = k istif vincinin i konteynerini elleçlemesi için yaptığı hazırlık + taşıyıcı araç
gecikme süresi;

$NC_{(X)ij}^{km}$ = k istif vincinin i konteynerini elleçlemesi için X koordinatında geçtiği
konteyner sayısı;

$NC_{(Y)ij}^{km}$ = k istif vincinin i konteynerini elleçlemesi için Y koordinatında geçtiği
konteyner sayısı;

$NC_{(Z)ij}^{km}$ = k istif vincinin i konteynerini elleçlemesi için Z koordinatında geçtiği
konteyner sayısı;

$LC_{(X)}$ = 2,483 m (bir konteynerin X koordinatı uzunluğu – 20TEU);

$LC_{(Y)}$ = 2,591 m (bir konteynerin Y koordinatı uzunluğu – 20TEU);

$LC_{(Z)}$ = 6,096 m (bir konteynerin Z koordinatı uzunluğu – 20TEU);

$|X_k - X_{ij}^m|$ = k istif vinci ile i konteyneri arasındaki X koordinatındaki mesafe;

$|Y_k - Y_{ij}^m|$ = k istif vinci ile i konteyneri arasındaki Y koordinatındaki mesafe;

$|Z_k - Z_{ij}^m| = k$ istif vinci ile i konteyneri arasındaki Z koordinatındaki mesafe;

$$|X_k - X_{ij}^m| = LC_{(X)} * NC_{(X)ij}^{km}$$

$$|Y_k - Y_{ij}^m| = LC_{(Y)} * NC_{(Y)ij}^{km}$$

$$|Z_k - Z_{ij}^m| = LC_{(Z)} * NC_{(Z)ij}^{km}$$

$$D_{ij}^{km} = \max(|X_k - X_{ij}^m|, |Y_k - Y_{ij}^m|, |Z_k - Z_{ij}^m|)$$

$$TC_{ij}^{km} = (D_{ij}^{km} + LC_{(X)} * NC_{(X)ij}^{km} + LC_{(Y)} * NC_{(Y)ij}^{km} + 2 * LC_{(X)}) / S_k + PC_{ij}^{km}$$

Karar Değişkenleri;

$$A_i^m = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i \text{ konteyneri } m \text{ müşteri grubunda ise,} \\ 0, & \text{Aksi takdirde,} \end{cases}$$

$$V_{ij}^{km} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } m \text{ müşteri grubundaki } i \text{ konteynerini } j \text{ işlemi için } k \text{ istif vinci} \\ & \text{elleçleyecekse,} \\ 0, & \text{Aksi takdirde,} \end{cases}$$

$$R_{pq}^{km} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } k \text{ istif vinci } m \text{ müşteri grubundaki } p \text{ görevini } q \text{ görevinden önce} \\ & \text{elleçleyecekse,} \\ 0, & \text{Aksi takdirde,} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar;

$$\min CK = \left[\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{j=0,1}^J (TC_{ij}^{km} + H_{ij}^{km}) \right] * \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq q}}^P \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^Q R_{pq}^{km} \quad (4.1)$$

$$R_{pq}^{km} + R_{qp}^{km} = 1 \quad \forall p \in P, q \in Q, k \in K, m \in M \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^I A_i^m = 1 \quad \forall m \in M \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^I V_{ij}^{km} = N \quad \forall m \in M, k \in K, j \in J \quad (4.4)$$

$$\sum_{k=1}^K U_k = N \quad (4.5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=0,1}^J V_{ij}^{km} A_i^m = U_k \quad \forall m \in M \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=0,1}^J D_{ij}^{km} = \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq q}}^P \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^Q D_{pq}^{km} \quad \forall m \in M, k \in K \quad (4.7)$$

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq q}}^P \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^Q D_{pq}^{km} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (YC_k - C_{ij}^m) \quad \forall m \in M, k \in K \quad (4.8)$$

$$R_{pq}^{km} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall p, q \in N(p, q), k \in K, m \in M \quad (4.9)$$

$$V_{ij}^{km} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i, j \in N(i, j), k \in K, m \in M \quad (4.10)$$

$$R_{pq}^{km} V_{ij}^{km} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall p, q \in N(p, q), i, j \in N(i, j), k \in K, m \in M \quad (4.11)$$

(4.2) numaralı eşitlik (kısıt) bir istif vincinin bir konteyneri (görevi) diğerinden önce elleçlemesini, (4.3) numaralı kısıt bir konteynerin sadece bir müşteri grubunda bulunabileceğini, (4.4) numaralı kısıt planlanan periyottaki konteynerlerin hepsinin istif vinçleri tarafından elleçleneceğini, (4.5) numaralı kısıt istif vincinin elleçlediği konteyner kümesini ifade etmektedir. (4.6) numaralı kısıt bir müşteri grubuna atanan bir konteynerin bir istif vinci tarafından elleçlendiği durumdaki oluşan küme büyüklüğünü ifade etmektedir. (4.7) numaralı kısıt; istif vinçlerinin belli bir müşteri grubundaki konteynerleri elleçlemesi için kat ettiği mesafenin, öncelik sırasına göre elleçlenen konteynerler için kat edilen mesafe ile aynı olduğunu ifade etmektedir (görev=konteyner). (4.8) numaralı kısıt öncelik sırasına göre elleçlenen konteynerler için kat edilen mesafenin, istif vinçleri ile konteynerlerin arasındaki mesafenin farkların toplamını göstermektedir.

4.5.2 Operasyon algoritması

1. Başla
2. Dağıtım stratejisini belirle ($A=Paylaşımlı; B=Serbest$)
3. Eğer $A=Paylaşımlı$ seçilirse;
 - 3.1. Konteyner bloğu üzerinde istif vinçlerinin operasyon alanını (elleçleyeceği konteyner kümesini = U_k) belirle
 - 3.2. İstif vincinin operasyon alanındaki müşterilere ait konteynerleri grupla

3.3.Müşterilere ait öncelik sırası belirle

3.4.Yükleme/boşaltma operasyonu önceliğini belirle

3.5.İstif vincinin başlangıç koordinatı (X_0, Y_0, Z_0) veya rastgele başlat

4. İstif vinci k için ilk müşterinin en yakın " D_{ij}^{km} " koordinattaki konteyner konumunu " C_{ij}^m " bul;

5. Belirlenen müşterinin grubundaki istif vincine en yakın konteyneri elleçle " $R_{pq}^{km} V_{ij}^{km} = 1$ ";

5.1.X, Y, Z koordinatlarında kat edilen mesafeyi yaz " D_{ij}^{km} "

5.2.Konteyneri elleçlemek için yapılan hazırlık + taşıyıcı araç gecikme süresini yaz " H_{ij}^{km} "

5.3.İstif vincinin hızına (S_k) göre operasyonun süresini hesapla

$$TC_{ij}^{km} = (D_{ij}^{km} + LC_{(X)} * NC_{(X)ij}^{km} + LC_{(Y)} * NC_{(Y)ij}^{km} + 2 * LC_{(X)}) / S_k + PC_{ij}^{km}$$

5.4.Toplam süreyi hesapla " $TC_{ij}^{km} + H_{ij}^{km}$ "

6. Konteyneri yükledikten/boşalttıktan sonra mevcut olan Z koordinatında kal (X_0, Y_0, Z_k)

7. Müşteri grubundaki bir sonraki elleçlenecek konteyneri belirlemek için mesafeleri " $D_{(i+1)j}^{km}$ " hesapla ve minimum mesafedeki konteyneri elleçle;

8. Müşteri grubuna ait konteynerler bitti ise Adım 3.3'e git

9. Müşteri grupları ve bu gruplardaki elleçlenecek konteynerler yükleme/boşaltma işlemi olarak k istif vinci için tamamlandı mı?

9.1.Evet; Diğer istif vincinin operasyon alanındaki konteyner kümesinin tamamını elleçleme operasyonları için eş zamanlı olarak Adım 4'ü uygula

9.2.Hayır; Bütün operasyonu tamamla ve diğer istif vincinin toplam operasyon süresine bak

10. İstif vinç (ler)inin operasyon süresini ($k=1$ ve $k=2$) kıyasla (süre dengesi açısından) ve yaz " $TC_{ij}^{km} + H_{ij}^{km}$ ";

11. $TC_{ij}^{km} + H_{ij}^{km} + TC_{ij}^{(k+1)m} + H_{ij}^{(k+1)m}$ toplam operasyon (hazırlık + gecikme dâhil) süresini hesapla ve yaz (k=1 için);

12. Eğer $B=Serbest$ seçilirse; Adım 3.1'den itibaren tekrarla;

13. Bitir.

Varsayımlar;

Aşağıdaki varsayımlar/gereklilikler problemin formülasyonu için sunulmuştur:

- i. Her bir istif vincine bir konteyneri elleçlemeden önce sabit bir hazırlık süresi tanımlanmıştır. Hazırlık süresine taşıyıcı araçların gecikme süreleri de eklenmiştir. Hazırlık süresi her elleçleme gerçekleşmeden önce operasyon süresine eklenerek öncelik sırası belirlenmiştir.
- ii. Elleçleme operasyonu uygulanan bütün konteynerler 20 TEU boyutundadır.
- iii. Taşıyıcı araçlar konteynerleri "Transfer Point" denen noktalar bırakmakta ve yine aynı şekilde istif vincinin boşaltması sırasında bu noktalarda hazır bulunmaktadırlar. Bu noktalar konteynerin boşaltma sırasında mevcut bulunduğu Z koordinatı hizasında istifleme alanı bitişiğinde istif vinci altındadır.
- iv. İstif vinçleri operatörleri boşaltma sırasında elleçlenecek konteynere ulaşmak için X, Y, Z koordinatlarında eşzamanlı hareket etmektedir. İstif vinçleri arasında ve istif vinci-konteyner arasında çarpışma olmamaktadır.
- v. Sadece bir blok üzerinden elleçleme yapılmaktadır. Öncelikle bloktaki boşaltılacak konteynerler elleçlenmekte daha sonra yüklemeler yapılmaktadır. Yüklemeler bittikten sonra bütün operasyonlar tamamlanmış olacak ve hesaplamalar sona erecektir.
- vi. İstif vinçleri aynı anda sadece bir konteyneri elleçlemektedir. Müşteri öncelikleri belirlenirken bu strateji göz önünde bulundurulmuştur. Müşteri önceliklendirme stratejisi uygulanırken, bir müşteri grubundaki konteynerler tamamen elleçlemeden istif vinçleri diğer müşteri grubundan konteyner elleçlememiştir. Bir istif vinci bir müşteri grubundaki son konteyneri elleçlerken diğer istif vinci ancak diğer müşteri grubuna başlayacaktır.
- vii. Geçici elleçlemede yapıldıktan sonra bütün konteynerlerin konumları veri tabanında güncellenmekte ve hesaplamalar ona göre yapılmaktadır.

- viii. Bir konteyner ancak bir müşteri grubuna aittir ve bir defa elleçlenmektedir (yükleme veya boşaltma). Öncelikle boşaltılacak konteynerleri tamamı elleçlenmekte daha sonra yüklemeler yapılmaktadır.
- ix. Geçici elleçleme yapılacağı durumda; hedef konteynerin üzerinde başka bir konteyner varsa, bu konteyner istif vinciinin bulunduğu koordinata göre en yakındaki boş bir alana konumlandırılır. Burada blok boyutları dikkate alınır.

5. SEZGİSEL ALGORİTMALAR

5.1 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, 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 (Karaboğa, 2004).

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 Gezgin Satıcı Problemi (GSP) denilmektedir. GSP'nin en büyük özelliği kombinatoriyal optimizasyona çözüm yolları aranırken kullanılan deneme problemi olarak kullanılmasıdır. Mesafenin en küçüklenmesi bir optimizasyondur. GSP kombinatoriyal 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 istif vinçlerinin operasyonları makine-parça rotalama/atama operasyonlarına benzemektedir. İstif vinçlerinin konteynerleri hangi sırada ve hangi istif vinciyle elleçleyeceğine karar vermek NP-Zor problemdir. Bu problem çözüm konusunda yaşanan zorluklardan ötürü literatürde NP-Hard problem olarak tanımlanmıştır (Wenying, 2010).

5.2 İVÇ Probleminde Kullanılan Sezgisel Algoritmalar

Sezgisel algoritmalar, herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden etkili olanlara karar vermek amacıyla tanımlanan kriterler veya bilgisayar metotlarıdır. Bu tür algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptir, ama kesin çözümü garanti edemezler ve sadece kesin çözüm yakınındaki bir çözümü garanti edebilirler. Bu algoritmalar çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispat edilemeyen algoritmalar olarak da adlandırılırlar. Sezgisel algoritmalara gerek duyulmasının sebepleri aşağıdaki gibidir (Karaboğa, 2004):

- Optimizasyon problemi kesin çözümünü bulma işleminin tanımlanamadığı bir yapıya sahip olabilir.
- Anlaşılabilirlik açısından sezgisel algoritmalar karar verici açısından çok daha basit olabilir.
- Sezgisel algoritmalar, öğrenme amaçlı ve kesin çözümünü bulma işleminin bir parçası olarak kullanılabilir.
- Matematik formülleriyle yapılan tanımlamalarda genellikle gerçek dünya problemlerinin en zor tarafları (hangi amaçlar ve hangi sınırlamalar kullanılmalı, hangi alternatifler test edilmeli, problem verisi nasıl toplanmalı) ihmal edilir. Model parametrelerini belirleme aşamasında kullanılan verinin hatalı olması, sezgisel yaklaşımın üretebileceği alt optimal çözümden daha büyük hatalara sebep olabilir.

Bir problem için geliştirilmiş bir sezgisel algoritma, aşağıdaki faktörler göz önüne alınarak değerlendirilebilmektedir:

- *Çözüm Kalitesi ve Hesaplama Zamanı:* Çözüm kalitesi ve hesaplama zamanı bir algoritmanın etkinliğinin değerlendirilmesi için önemli kriterlerdir. Bundan dolayı bir algoritma, ayarlanabilir parametreler setine sahip olmalı ve bu parametreler kullanıcıya önemlilik açısından hesaplama maliyeti ile çözüm kalitesi arasında bir vurgulamanın yapılabilmesine imkân vermelidir. Diğer bir deyişle, çözüm kalitesi ile hesap zamanı arasındaki ilişki kontrol edilebilmelidir.
- *Kod Basitliği ve Gerçeklenebilirlik:* Algoritma prensipleri basit olmalı ve genel olarak uygulanabilir olmalıdır. Bu durum problem yapısı ile ilgili başlangıçta çok az bilgiye sahip olunması halinde bile algoritmanın yeni alanlara kolaylıkla uygulanabilmesini sağlar.
- *Esneklik:* Algoritmalar modelde, sınırlamalarda ve amaç fonksiyonlarında yapılacak değişiklikleri kolayca karşılayabilmelidir.
- *Dinçlik:* Yöntem, başlangıç çözümünün seçimine bağlı olmaksızın her zaman yüksek kaliteli, kabul edilebilir çözümleri üretebilme kabiliyetine sahip olmalıdır.
- *Basitlik ve Analiz Edilebilirlik:* Karmaşık algoritmalar, esneklik ve çözüm kalitesi açısından basit algoritmalarından daha zor analiz edilebilmektedir. Algoritma kolayca analiz edilebilir olmalıdır.

- *Etkileşimli Hesaplama ve Teknoloji Değişimleri:* Algoritma içinde insan-makina etkileşimini kullanma fikri çoğu sistemde yaygın olarak gerçekleştirilmektedir. Herkesçe bilindiği gibi iyi bir kullanıcı arayüzü herhangi bir bilgisayar sistemini veya algoritmayı daha çekici yapmaktadır. Bunun en önemli avantajı çözümlerin grafiksel olarak sergilenebilmesidir.

Bazı sezgisel-bölgesel araştırma algoritmaları başlangıç çözümüne bağlı olarak bölgesel optimum çözümler üretirler. Bu, genellikle iteratif gelişme metotlarında karşılaşılan bir durumdur. Bölgesel optimal çözüm, global optimum çözümden çok uzak olabilir ve yine çoğu ayrık optimizasyon problemlerinde uygun bir başlangıç çözümünün seçimi için genel bilgiler mevcut olmayabilir. Sezgisel-bölgesel araştırma metotlarının dezavantajlarının bazılarını ortadan kaldırmak için basitlik ve genellik muhafaza edilmek kaydıyla aşağıda sıralanan fikirler değerlendirilebilir (Karaboğa, 2004):

- Çok sayıda başlangıç çözümleri ile algoritmanın tekrar tekrar yürütülmesi sağlanabilir. Bu durumda rastgele farklı başlangıç çözümleriyle hesaplama işlemi oldukça maliyetlidir ve hiçbir zaman optimal çözümün bulunması garanti edilemez.
- Çok daha karmaşık bir komşuluk yapısının tanımlanması suretiyle, çok daha iyi komşu çözümlerin üretilmesinin sağlanması.
- Algoritmanın koşulması esnasında bilgi toplanmasını sağlayan karmaşık öğrenme stratejilerinin kullanılması ve bu bilginin her bir koşma sonunda belirli bölgeleri veya çözümleri cezalandırmak amacıyla kullanılması.
- Bölgesel araştırma metotlarında amaç, sadece fonksiyon değerini azaltan çözümlerin kabul edilmesi olmasına rağmen, bölgesel optimalıktan kaçmak için gelişmeleri önleyen veya kısıtları asan hareketlerin kabullenilmesi.

İstif vinci çizelgeleme problemini çözmek için geliştirilen iyi bir sezgisel algoritma, probleme uygunluk, optimum çözüme yakınlık, bilgisayarın çözüm hızı, basitlik ve açıklayıcı olma, dinamik durumlara göre esnetebilirlik gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Klasik Sezgisel yöntemler genel olarak Yapısal, Çok Aşamalı ve Geliştirme Esaslı olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. Yapısal sezgisel algoritmalarda amaç

fonksiyonu göz önüne alınarak adım adım uygun "fızıbıl" bir çözüm oluşturmaya çalışılır, fakat çoğunlukla bulunan bu çözüm üzerinde iyileştirilme yapılmaz. Çok Aşamalı sezgisellerde problem birden fazla parçaya bölünerek ve her parça için ayrı süreçler izlenerek çözüm bulunmaya çalışılır. İyileştirmeli sezgisel algoritmalarda ise uygun bir çözüm ele alınır, bu çözümün komsu çözümleri taranarak daha iyi bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Yapısal ve iyileştirmeli sezgisel metotlar birleştirilerek yeni yöntemler oluşturulabilir.

Yapısal sezgiseller problemleri çözmek için uygun çözüm üreten yani tur kuran sezgisellerdir. Nearest Neighbor (NN), Saving, Greedy Algoritması vb. yapısal sezgiseller sınıfındadır. Çalışmamızın kapsamında Nearest Neighbor (En Yakın Komşu) yapısal sezgiseli kullanılmıştır. Bu nedenle NN daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

İki aşamalı metotların birinci aşamasında, konteynerler istif vinçlerine en yakın olacak şekilde atanır. İkinci aşamada ise her bir araç için GSP sezgiselleri kullanılarak rota oluşturulur. Önce gruplama-sonra rotalama tipindeki algoritmalar, iki aşamalı metotlara örnek olarak verebilir. Gillet ve Miller'in 1974 yılında geliştirdikleri Süpürme (Sweep) algoritması, Fisher ve Jaikumar'ın 1981 geliştirdikleri algoritma, Christofides, Mingozi ve Toth'un 1980 yılında geliştirdikleri algoritma iki aşamalı algoritmalara örnek olarak verilebilir.

Lin-Kernighan (LK), 2-Opt, 3-Opt, K-Opt, Insertion gibi sezgiseller ise Geliştirme Esaslı sınıfındadır. Geliştirme esaslı sezgiseller bir uygun çözümü bazı metotlar kullanarak daha iyi bir çözüme yükseltmek amacıyla problemlere uygulanır. Çalışmanın kapsamında yapısal sezgisel ile üretilen uygun çözümler Lin-Kernighan geliştirme sezgiseli ile daha iyi çözümler üretmek için kullanılmıştır. Bu nedenle LK daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Metasezgisel algoritmalar, kombinatoriyal problemler için geliştirilmiş parametrik optimizasyon teknikleridir. Bu yöntemlerin en önemli özelliği sadece belli bir tip problem için değil, tüm kombinatoriyal problemlere uygulanabilir esneklikte olmasıdır. Bu sebeple literatürde bu tekniklerin birçok başarı hikayesine rastlanmaktadır. Bir metasezgisel algoritmanın iyi sonuçlar üretmesi için yapılması gereken ilk işlem, yöntemin temel kavramlarının probleme iyi bir şekilde adapte edilmesidir (Hertz ve Widmer, 2003).

Metasezgisel algoritmalar parametrik algoritmalar ve aynı zamanda geliştirme sezgiselleri sınıfına dâhildir. Genetik Algoritma (GA), Tabu Arama (TA), Tavlama Benzetimi (TB), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Karınca Kolonisi Algoritması (KKA), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Evrimsel Algoritma (EA) literatürde en çok kullanılan meta sezgisel yöntemlerdir.

5.2.1 Genetik algoritmalar (GA) esaslı geliştirilen model

5.2.1.1 Giriş

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

5.2.1.2 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 yayınladığı 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 olabilirliğini kanıtladı. Ayrıca kitabında genetik algoritmalara dayalı tam 83

uygulamaya yer vererek GA'nın dünyanın her yerinde çeşitli konularda kullanılmakta olduğunu gösterdi.

5.2.1.3 Genetik algoritmalara giriş

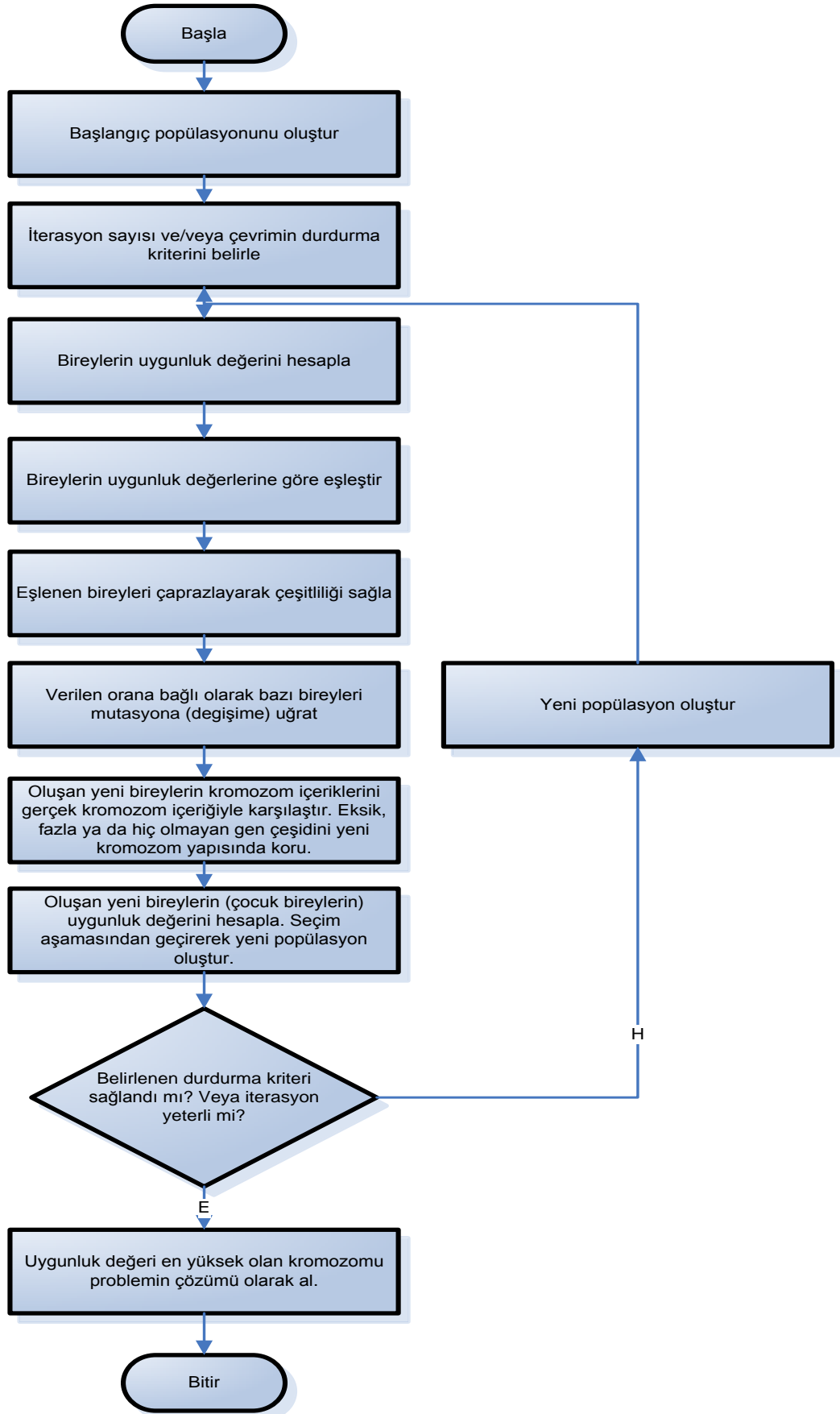
Genetik algoritmalar, doğal seçim ve en uygunun araştırma prensiplerine bağlı olarak biyolojik organizmaların evrim gibi genetik süreçlerini esas alan sezgisel arama algoritmasıdır. Doğal olarak, bir nüfus içerisinde yer alan her bir birey kaynaklar ve çiftleşmek için bir eşi cezbetmek için birbiriyle 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.

5.2.1.4 Genetik algoritmanın çalışma prensibi

Genetik algoritma, belirli sayıdaki kromozomun rastgele oluşturulması ile çözüme başlar ve aşağıdaki adımları tekrar eder. Genetik algoritmanın akışı Şekil 5.1'de verilmektedir (Şahin, 2009).

1. Başlangıç: n adet kromozom içeren popülasyonun oluşturulması (problemin uygun bir çözümü)
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 popölasyonun çözüm olarak sunulması.
6. Döngü: 2. adıma geri dönölmesi



Şekil 5.1: GA'nın akışı (Şahin, 2009)

5.2.1.5 Genetik algoritmanın adımları: başlatma, yeniden üretim ve seçim

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.

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. Leitch (1995)'e göre, genetik algoritmanın seçim işlemindeki rolü üreme havuzuna gidecek bireylerin nasıl seçildiğine bağlıdır.

5.2.1.6 Genetik operatörler: çaprazlama ve mutasyon operatörleri

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 ve Semetay 2001).

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 diğ. 1993).

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.

5.2.1.7 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 rastsal 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.

GA esaslı geliştirilen yöntem, başlangıç popülasyonunun bir kısmının (%25) NN yapısal sezgiseli ile oluşturup, LK geliştirme sezgiseli ile geliştirilerek genetik popülasyonuna dâhil edilmesidir. Geliştirilen bu yeni yaklaşım İVÇ problemine ve çözüm yapısına uygundur (He ve diğ., 2010). GANNLK melez sezgisel yönteminin rastgele popülasyon ile başlayan GA' ya göre etkinliği araştırılacaktır. Araştırmada kullanılacak parametre ise çözüm kalitesi ve çözüm süresi olacaktır.

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

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

5.2.1.8 GA ile çözümün kodlanması

Kodlama GA'nın çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Probleme GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması gerekir. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması çok önemlidir.

Şekil 5.2 de İVÇ problemini çözmek için kullanılacak olan konteyner, müşteri numarası ve istif vinci numarasına esasına dayanan çift katmanlı bir kromozom yapısı oluşturulmuştur. Çift katmanın üst katmanındaki her gen bir konteyner karşılık gelirken, genin içerisinde parantez içindeki sayılar ise o konteynerin bağlı bulunduğu müşteri grubunu ifade etmektedir. Çift katmanın alt katmanı ise belli bir müşteri grubundaki konteynerin hangi istif vinci tarafından elleçleneceğini göstermektedir. Aşağıdaki örnekte çift katmanlı kromozom 6 müşteri, 14 konteyner ve 2 istif vincinden oluşmaktadır. Çift (2) istif vincinin bu kromozom yapısında gösterilmesinin nedeni genel olarak bütün senaryoların bir kromozom üzerinden anlatılması/ anlaşılmasını sağlamaktır. Kromozom yapısı göz önüne alınırsa işlem sırası konteynerler için soldan sağa (→) doğrudur.

Konteyner	4 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾	1 ⁽¹⁾	7 ⁽²⁾	5 ⁽²⁾	6 ⁽³⁾	2 ⁽²⁾	9 ⁽⁴⁾	12 ⁽⁵⁾	13 ⁽⁶⁾	8 ⁽⁴⁾	11 ⁽⁵⁾	10 ⁽⁵⁾	14 ⁽⁶⁾
İstif Vinci	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2
Müşteri	Boşaltma							Yükleme						

Şekil 5.2: Müşteri ve İstif Vinci Numarası Gösterimine Dayalı Kromozom Yapısı

İVÇ probleminde önce boşaltma işlemler daha sonra yükleme işlemlerinin gerçekleştiğini düşünecek olursak (istif bloğunun kapasite kısıtından dolayı öncelikle

boşaltmalar yapılmalı, daha sonra yüklemeler yapılmalıdır), kromozom yapımız yukarıdaki yapıya uygun olmalıdır. İleri bölümlerde de değinileceği üzere GA operatörleri boşaltma ve yükleme operasyon genlerine ayrı ayrı uygulanacak ve oluşturulan bireylere tamir fonksiyonu uygulamaya gerek kalmayacaktır. Sadece GA operatörleri uygulanırken bir istif vincinin elleçleyemeyeceği konteyneri elleçlemesi durumunda (paylaşımlı alan stratejisi) tamir uygulanmaktadır.

Boşaltma operasyonu uygulanacak kromozom parçasından {1, 3, 4} numaralı konteynerler (üst katman genleri) 1 numaralı müşteriye, {2, 5, 7} numaralı konteynerler 2 numaralı müşteriye, {6} numaralı konteyner ise 3. müşteri grubuna bağlı bulunmaktadır. Alt katman genlerine bakacak olursak, {1, 4, 6} numaralı konteynerler 1 numaralı istif vinci tarafından, {2, 3, 5, 7} numaralı konteynerler ise 2 numaralı istif vinci tarafından boşaltılacaktır.

Yükleme operasyonu uygulanacak kromozom parçasından {8, 9} numaralı konteynerler (üst katman genleri) 4 numaralı müşteri grubuna, {10, 11, 12} numaralı konteynerler 5 numaralı müşteri grubuna ve en son olarak da {13, 14} numaralı konteynerler 6 numaralı müşteri grubuna bağlı bulunmaktadır. Alt katman genlerine bakacak olursak, {8, 9, 10, 12} numaralı konteynerler 1 numaralı istif vinci tarafından {11, 13, 14} numaralı konteynerler ise 2 numaralı istif vinci tarafından yüklenecektir.

5.2.1.9 İlk nüfusun oluşturulması

Genetik algoritma kullanılarak yapılan çalışmalarda, başlangıç topluluğu olarak bilinen ve rastsal olarak belirlenmiş büyük bir kromozom kümesi ile çözüme başlar. Başlangıç çözümü, genetik algoritmanın çözüme ulaşmasında çok önemli bir etkidir. Bu nedenle probleme uygun bir "başlangıç nüfusu oluşturma yöntemi" seçilmelidir. Çok iyi uygunluk değerine sahip bir kromozomun başlangıç çözümünde üretilmesi rastsallıktan dolayı oldukça zordur. Bu yüzden, başlangıç nüfusunun %25'lik kısmı En Yakın Komşu (Nearest Neighbor) yapısal sezgiseli ile oluşturulurken geri kalan kısmı rastgele oluşturulmuştur.

Geliştirilen bu yöntem, büyük konteyner filo büyüklüklerine uygulanacak olan elleçleme operasyonlarının toplam elleçleme süresini minimize etmesini kolaylaştıracak başlangıç popülasyonunun, rastgele oluşturulan başlangıç popülasyonuna göre daha iyi çözümler üreteceği düşüncesi ile rotalama için

kullanılacaktır. Daha sonra oluşturulan bu %25'lik NN rotalı başlangıç popülasyonu, Lin-Kernighan (LK) ile daha iyi bir rota bulmak için geliştirilmiştir.

Önerilen çözüm yönteminde, daha iyi uygunluk değerine sahip olan başlangıç nüfusunun yarısı kadarlık bir kısmı GA popülasyonu olarak seçilir (Kulak ve diğ., 2008).

5.2.1.10 Uygunluk

Her nesil için topluluktaki tüm kromozomlar uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir. 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 konteyner elleçleme rotalarının (paylaşımlı ve serbest istif vinci dağıtım stratejileri ve müşteri gruplu veya tek müşteri stratejileri) toplam mesafesinin istif vinci her koordinatta farklı hızlarına bölünerek elde edilen süre olarak belirlenmiştir. Tüm kromozomlar içerisinde rotaların toplam mesafesini en az yapan kromozom en iyi çözüm olarak değerlendirilir.

Her bir stratejiye göre (stratejilerin kombinasyonu ile) elde edilen rotaların %25'lik kısmı NN ile oluşturulmuş ve LK ile geliştirilmiştir. GA ile rastgele oluşturulan %75'lik diğer başlangıç popülasyonu da rotaları oluşturmaktadır. Ayrıca istif vinci her elleçleme operasyonu öncesinde yaptığı hazırlık süresi ve taşıyıcı aracın gecikme süreleri toplamı çalışmada sabit 5 saniye olarak belirlenmiş ve konteynerler elleçlenmeden önce toplam elleçleme süresine eklenmektedir. Buna göre geliştirilen çözüm yöntemi için uygunluk fonksiyonu Denklem 5.1'te gösterilmektedir.

$$F_i = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{j=0,1}^J (TC_{ij}^{km} + H_{ij}^{km}) \quad (5.1)$$

k = istif vinci; k = 1, 2, K;

i = konteyner; i = 1, 2, ... , I;

m = müşteri grubu; m = 1, 2, ... , M;

j = işlemler; 1: yükleme (ithalat), 0: boşaltma (ihracat), J;

$TC_{ij}^{km} = m$ müşteri grubundaki i konteynerini j işlemi olarak k istif vincinin elleçlemesi için gereken süre;

$H_{ij}^{km} = k$ istif vincinin i konteynerini elleçlemesi için yaptığı hazırlık + taşıyıcı araç gecikme süresi;

F_i : Uygunluk Fonksiyonu

Oluşturulan rotaya konteynerler arası mesafe matematiksel model kısmında ayrıntılı olarak hesaplanmıştır.

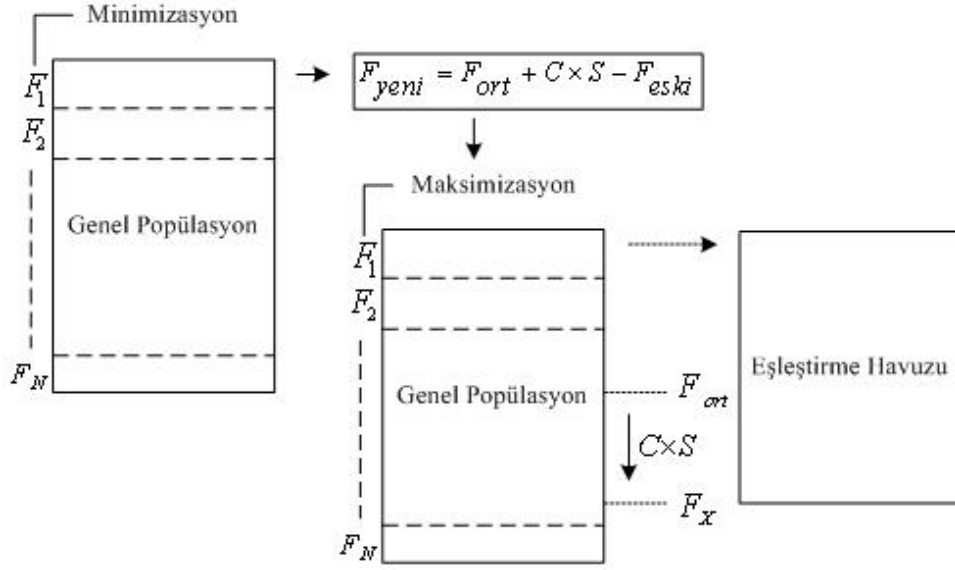
5.2.1.11 Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması

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 σ -truncation olarak adlandırılan uygunluk derecelendirme tekniği (fitness scaling technique) kullanılmıştır (Goldberg 1989). σ , nüfus içerisinde yer alan kromozomlara ait mesafelerin standart sapmasını ifade etmektedir ve yeniden derecelendirilmiş uygunluk fonksiyonu Denklem 5.2'de gösterilmiştir.

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

$$F_{yeni} = (\bar{F} + C \cdot \sigma) - F_{eski} \quad (5.2)$$

Şekil 5.3'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.



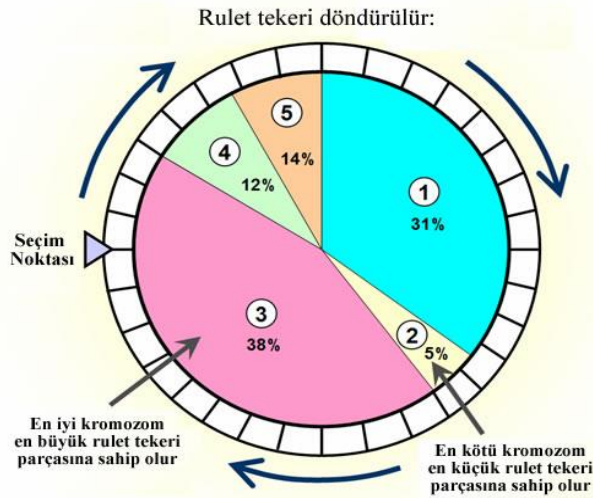
Şekil 5.3: Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması (Kulak, 2007)

5.2.1.12 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 5.4: Rulet tekeri seçimi

Tablo 5.1'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 5.1: Seçim olasılığı ve uygunluk değeri

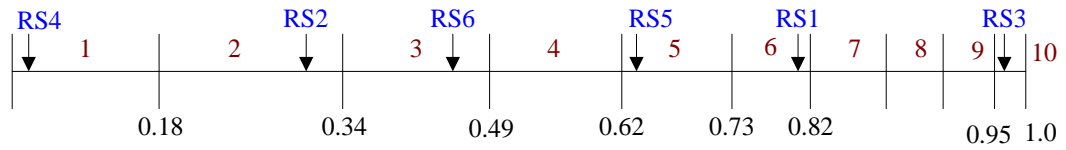
Kromozom No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Uygunluk	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0
Seçim Olasılığı	0.18	0.16	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.03	0.02	0.0

Bu kromozomlar arasından eşleştirme havuzuna seçim yapmak için 0 ile 1 arasında rastgele sayılar üretilir.

6 adet rastgele sayı örneği aşağıda sunulmuştur. 6 sayısı rastgele belirlenmiş bir sayıdır.

0.81, 0.32, 0.96, 0.01, 0.65, 0.42.

Şekil 5.5 rulet tekeri yöntemi ile kromozomların seçim sürecini göstermektedir.



Şekil 5.5: 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 (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 (Şahin, 2009).

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

Turnuva seçimi

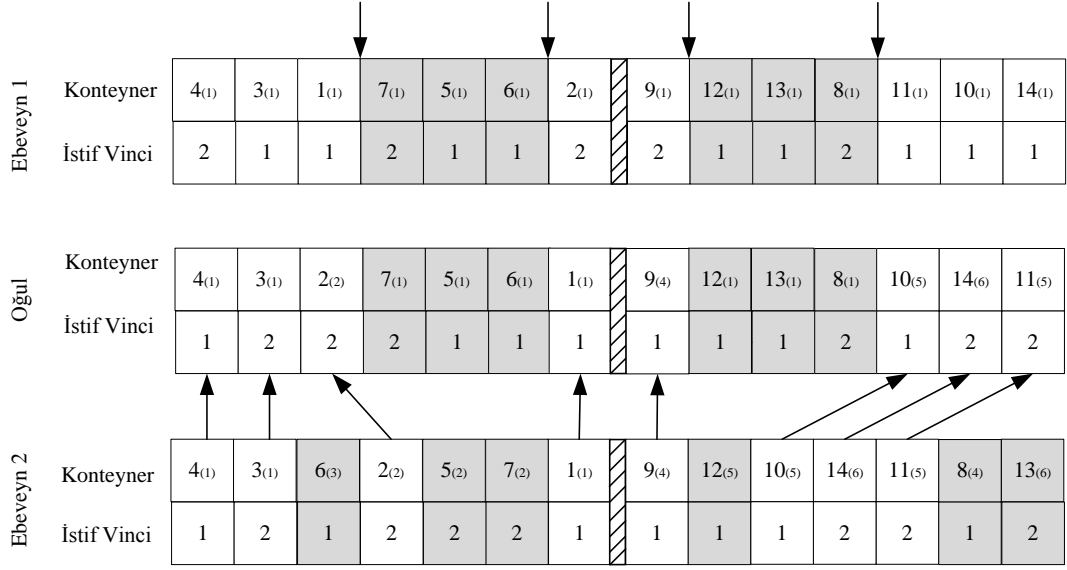
Topluluktaki bireyler arasından rastgele belirli miktarda bireyler seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan birey tutulur geriye kalanlar atılır. Yeni topluluk bireyleri belli sayıdaki bireyler arasında yapılan yarışma sonucu oluşturulur. Yığın genişliğine ulaşıncaya kadar bu işlem devam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

5.2.1.13 Çaprazlama operatörleri

Önerilen Genetik algoritma esaslı yaklaşımda, OX operatörü (Sıralı Çaprazlama) ve Pozisyon Tabanlı (Kulak ve diğ., 2008) çaprazlama yöntemleri kullanılmıştır.

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). İki noktalı çaprazlama operatörünün İVÇ problemi için özelleştirilmiş ufak çaplı bir gösterimi Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Çaprazlama konteynerlere veya istif vinçlerine değil genin çift katmanına birlikte uygulanmıştır. Böylelikle oğul bireyde oluşan gen yapısında istif vinçlerinin elleçlediği konteynerler ve sıraları değişmiş olacaktır. Boşaltılacak ve yüklenecek konteynerlere çaprazlama operatörü farklı farklı uygulanmıştır. Aşağıdaki kromozom yapısı göz önüne alındığında, yükleme kısmındaki gen sayısını aşmayacak şekilde iki tane (2, 4) rastgele sayı üretilir. Üretilen bu iki sayı sırasıyla gen dizilimi üzerinde (12, 13, 8 numaralı genler) işaretlenir. İşaretlenen sayıların temsil ettiği dizilim arasında kalan genler direkt oğul bireye aktarılır. Aynı şekilde üretilen iki rastgele sayı çaprazlama işlemi için boşaltılacak genlere de uygulanır. Daha sonra bu iki sayının dahil olduğu grubun dışında kalan genler, gen sayısını tamamlayacak şekilde, ilk sıradan başlayarak oğul bireye aktarılır. Böylelikle yeni bir birey (uygunluk değeri) oluşturulmuş olur.



Şekil 5.6: Sıralı Çaprazlama Operatörü

Pozisyon Tabanlı Çaprazlama

Çalışmada 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. Pozisyondaki sayılar $[0, 1]$ olarak rastsal tamsayılar olarak seçilmiştir. Her pozisyonun çaprazlama olasılığı %50’dir (Kulak, 2007).

Üretilen $[0, 1]$ sayılarından '1' sayısının pozisyonuna karşılık gelen ebeveyndeki genler direkt olarak oğul bireye aktarılır. Diğer taraftan '0' sayısının pozisyonuna karşılık gelen genler ise kromozomun bütün genlerini tamamlayacak şekilde sırasıyla oğul bireye aktarılır. Böylelikle yeni bir birey (uygunluk değeri) oluşturulmuş olur. Çaprazlama konteynerlere veya istif vinçlerine değil genin çift katmanına birlikte uygulanmıştır. Böylelikle oğul bireyde oluşan gen yapısında istif vinçlerinin elleçlediği konteynerler ve sıraları değişmiş olacaktır. Boşaltılacak ve yüklenecek konteynerlere çaprazlama operatörü farklı farklı uygulanmıştır.

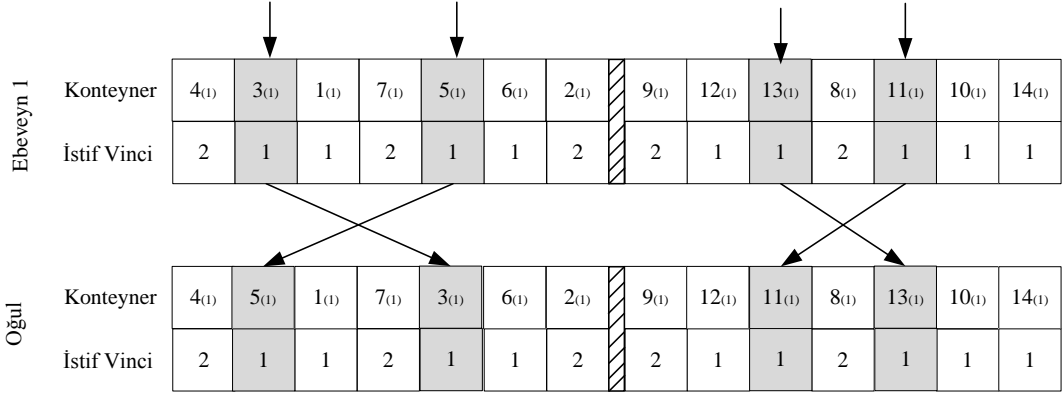
Rastgele Sayı	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0		
Ebeveyn 1	Konteyner	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	1 ₍₁₎	7 ₍₁₎	5 ₍₁₎	6 ₍₁₎	2 ₍₁₎		9 ₍₁₎	12 ₍₁₎	13 ₍₁₎	8 ₍₁₎	11 ₍₁₎	10 ₍₁₎	14 ₍₁₎
	İstif Vinci	2	1	1	2	1	1	2		2	1	1	2	1	1	1
Oğul	Konteyner	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	6 ₍₃₎	7 ₍₁₎	5 ₍₁₎	1 ₍₁₎	2 ₍₁₎		9 ₍₁₎	12 ₍₅₎	14 ₍₆₎	8 ₍₁₎	11 ₍₁₎	10 ₍₁₎	13 ₍₆₎
	İstif Vinci	2	2	1	2	1	1	2		2	1	2	2	1	1	2
Ebeveyn 2	Konteyner	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	6 ₍₃₎	2 ₍₂₎	5 ₍₂₎	7 ₍₂₎	1 ₍₁₎		9 ₍₄₎	12 ₍₅₎	10 ₍₅₎	14 ₍₆₎	11 ₍₅₎	8 ₍₄₎	13 ₍₆₎
	İstif Vinci	1	2	1	2	2	2	1		1	1	1	2	2	1	2

Şekil 5.7: Pozisyon Tabanlı Çaprazlama Operatörü

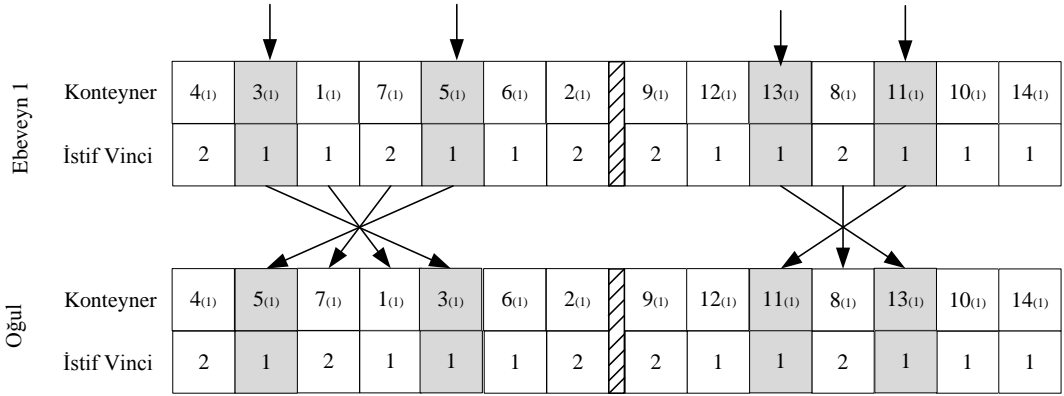
Çaprazlama operatörleri uygulandığında paylaşımlı istif vinci dağıtım stratejisinin özelliğinden dolayı istif vinçleri kendi alanlarının dışında elleçleme yapamamaktadırlar. Bu nedenle çaprazlama sonrasında böyle bir durumla karşı karşıya kalınırsa tamir fonksiyonu uygulanmakta ve çözüm uygun değere dönüştürülmektedir. Çaprazlama operatörleri uygulanan kromozomları ifade eden konteynerlerin bağlı bulunduğu müşteri grupları değişmemektedir.

5.2.1.14 Mutasyon operatörleri

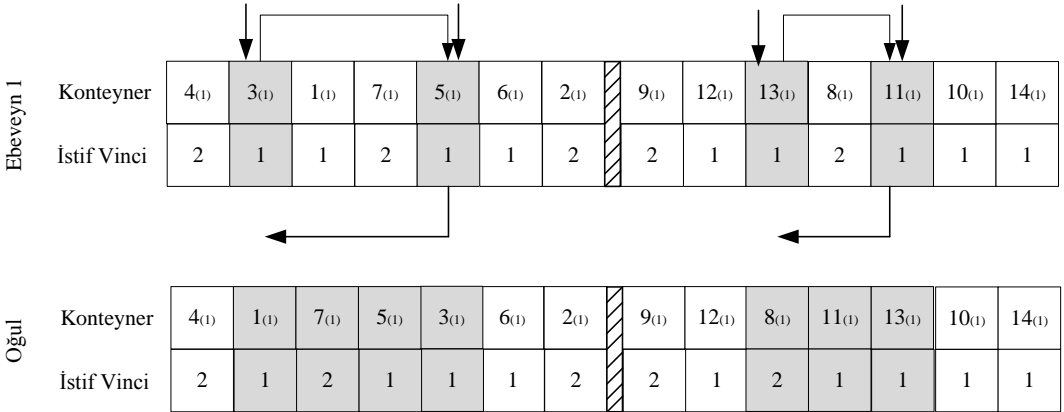
Seçim aşamasında veya çaprazlamadan sonra kullanılabilen mutasyon operatörü bu çalışmada çaprazlama işleminden sonra uygulanmıştır. Mutasyon ile bireyler rastsal olarak değiştirilirler. Bu değişimler (mutasyon adımları) genellikle küçüktür. Bireylerin değişkenlerine küçük bir olasılıkla (mutasyon olasılığı) uygulanırlar. Mutasyon operatörü olarak, ikili yer değiştirme (swap), yerine koyma (inversion), sola rotasyon (left rotation) ve sağa rotasyon (right rotation) yöntemleri çalışmada kullanılmıştır (Kulak ve diğ., 2008). Çalışma kapsamında kullanılan mutasyon yöntemlerinin probleme uygulanışı sırasıyla Şekil 5.8, Şekil 5.9., Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’te gösterilmiştir. Mutasyonlar gen dizilimi üzerindeki küçük modifikasyonlardır fakat kromozoma ait uygunluk fonksiyonunun değerini iyileştirebilirler.



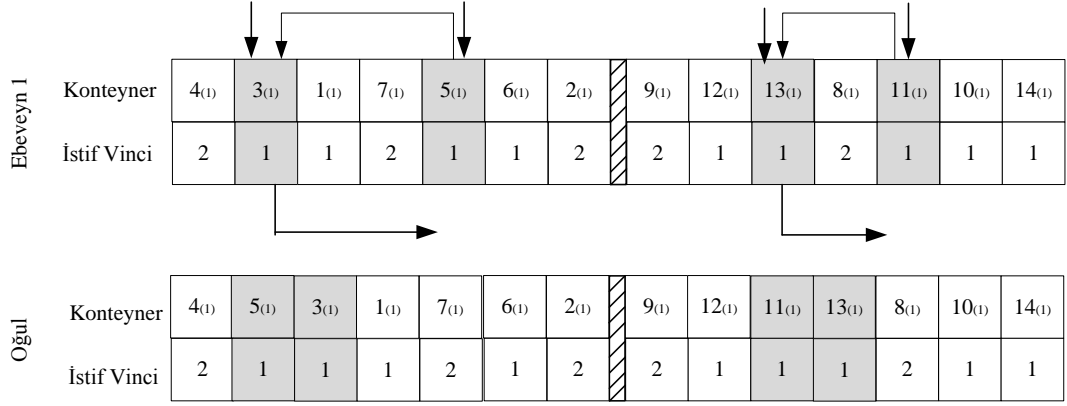
Şekil 5.8: İkili Yer Değiştirme Yöntemi



Şekil 5.9: Yerine Koyma Yöntemi



Şekil 5.10: Sola Rotasyon Yöntemi

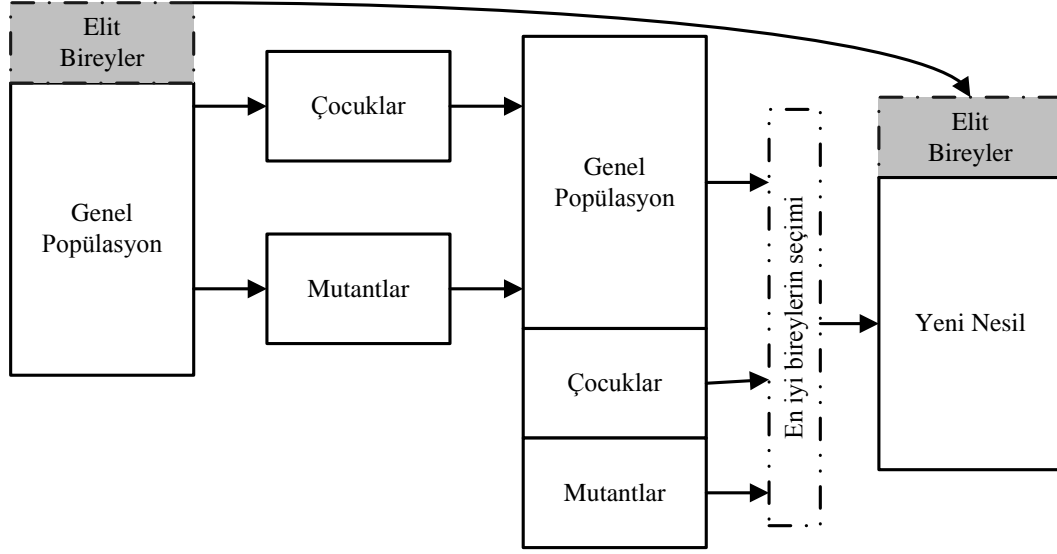


Şekil 5.11: Sağa Rotasyon Yöntemi

Mutasyon operatörleri uygulandığında paylaşımlı istif vinci dağıtım stratejisinin özelliğinden dolayı istif vinçleri kendi alanlarının dışında elleçleme yapamamaktadırlar. Bu nedenle mutasyon sonrasında böyle bir durumla karşı karşıya kalınırsa tamir fonksiyonu uygulanmakta ve çözüm uygun değere dönüştürülmektedir. Mutasyon operatörleri uygulanan kromozomları ifade eden konteynerlerin bağlı bulunduğu müşteri grupları değişmemektedir.

5.2.1.15 Elitizm

Çalışma kapsamında, yeni nüfusun oluşturulmasında Elitizm işlemi de uygulanmıştır. Elitizm, en iyi bir ya da daha fazla iyi çözümü yeni nesile doğrudan kopyalama işlemi 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 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12: Yeni Nesil Seçimi (Kulak, 2007)

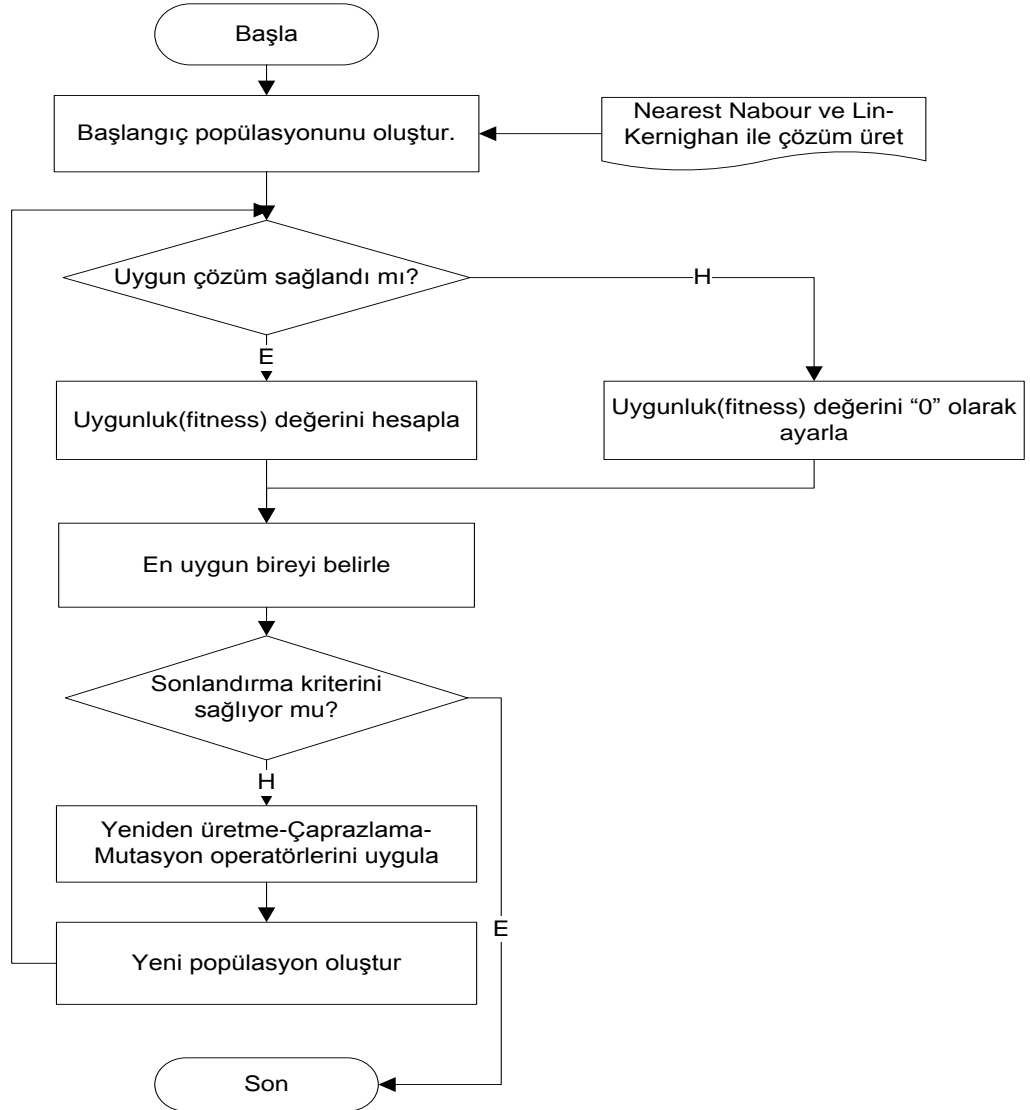
5.2.1.16 Tamir fonksiyonu

Başlangıç popülasyonu oluştururken kromozomlar stratejilere uygun olarak oluşmaktadır. Serbest ve paylaşımlı dağıtım kuralları veya müşteri önceliğinin olduğu ve olmadığı müşteri öncelik kuralları genlere uygun şekilde aktarılmaktadır. Diğer taraftan NN ile oluşturulan ve LK ile geliştirilen kromozomlar tamir fonksiyonu gerektirmemektedir. Fakat çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullandıktan sonra bu şekilde çeşitli kısıtları karşılayamayan kromozomlar ortaya çıkmaktadır. Her kromozomun oluşturulmasından sonra bu kısıtlı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. Örneğin paylaşımlı alan stratejisi uygulanacak olan bir popülasyonda asıl elleçlenmesi gereken istif alanında olmayıp da diğer istif vincinin elleçleme alanına konuşlandırılmış bir konteynere (gen) tamir fonksiyonu uygulanarak uygunluk değeri elde edilmelidir. Bir başka tamir fonksiyonu uygulanması gereken örnek ise yüklenecek bir konteynerin boşaltılacak konteyner gen alanına gelmesidir. Şekil 5.13’de belirtilen durumlar için tamir stratejisini gösteren bir örnek sunulmuştur. 2 ve 11 numaralı konteynerlerin 1 ve 2 numaralı istif vinçleri tarafından elleçlenmesi durumu paylaşımlı istif vinci stratejisine göre ters düşmekte ve uygunsuz çözüm üretilmektedir. Diğer yandan 10 numaralı konteynerin boşaltma sahasında olması ve 3 numaralı konteynerin yükleme sahasında olması yine aynı şekilde uygunsuz çözüme neden olmaktadır. Bu nedenle bu kromozomlara da tamir fonksiyonu uygulanmalıdır.

Uygun Olmayan Kromozom	Konteyner	4 ₍₁₎	10₍₀₎	1 ₍₁₎	7 ₍₁₎	5 ₍₀₎	6 ₍₁₎	2₍₁₎	9 ₍₁₎	12 ₍₁₎	13 ₍₁₎	8 ₍₁₎	11₍₀₎	3₍₁₎	14 ₍₁₎
	İstif Vinci	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1
		Yükleme Kromozomu			2 nolu İstif Vinci			1 nolu İstif Vinci			Boşaltma Kromozomu				
Tamir Edilmiş Kromozom	Konteyner	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	1 ₍₁₎	7 ₍₁₎	5 ₍₁₎	6 ₍₁₎	2 ₍₁₎	9 ₍₁₎	12 ₍₁₎	13 ₍₁₎	8 ₍₁₎	11 ₍₁₎	10 ₍₁₎	14 ₍₁₎
	İstif Vinci	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1

Şekil 5.13: Tamir stratejisi (Kulak, 2007)

Geliştirilen yönteme ait akış Şekil 5.14’de gösterilmektedir.



Şekil 5.14: Geliştirilen GA Esaslı Yöntemin İş Akışı (GANNLK)

5.2.2 Tabu arama (TA) esaslı geliştirilen model

Literatürde en fazla kullanılan metasezgisel yöntem olan Tabu Arama (TA) yöntemi, Glover tarafından 1989’ da geliştirilmiştir. Bu algoritmada arama sırasında lokal optimum noktalara takılmaktan kurtulmak için daha önce arama sırasında elde edilen bilgiler kullanılmaktadır. Kısa dönemli hafıza denilen bu yapıda arama sırasında henüz ziyaret edilen çözümler bir tabu listesinde tutulmakta ve algoritma süresince bu çözümlerin tekrar ele alınması engellenmektedir. TA’ da Tavlama Benzetimi’nden (TB) farklı olarak bir iterasyonda bir çözümün tabu listesinde yer almayan tüm komşu çözümleri taranmaktadır ve en iyi komşu çözüm seçilip başlangıçtaki çözüm tabu listesine atılarak diğer iterasyona geçilmektedir. Tabu listesine çözüm ekleme ve çıkarma işlemleri ise ilk giren ilk çıkar (FIFO) prensibi ile yapılmaktadır. Bu sebeple TA yöntemi literatürde “dinamik komşuluk arama tekniği” olarak da telaffuz edilmektedir. TA algoritması herhangi bir durdurma kriteri sağlanınca veya bir S çözümünün tüm komşu çözümleri $N(S)$, tabu listesinde yer alıyorsa durdurulmaktadır (Blum ve Roli, 2003).

TA algoritması bölgesel optimalite aşmak amacıyla kullandığı temel prensip, değerlendirme fonksiyonu denilen bir fonksiyon tarafından her iterasyonda en yüksek değerlendirme değerine sahip hareketin bir sonraki çözümü oluşturmak amacıyla seçilmesine dayanmaktadır. TA’ nın altında yatan temel fikir araştırma işlemini kontrol etmek amacıyla esnek bir hafıza yapısının kullanılmasıdır. Böyle bir hafıza yapısının kullanım etkisi şu şekilde açıklanabilir:

Araştırma boyunca karşılaşılan durumların seçici bir kaydı (H) tutulur ve $N(x^{\text{mevcut}})$, $N(H, x^{\text{mevcut}})$ ile tanımlanan modifiye edilmiş bir komşuyla yer değiştirir. Bundan dolayı H, mevcut bir çözümden hareketle hangi çözümlere erişilebileceğini ve $N(H, x^{\text{mevcut}})$ komşuluk setinden $x^{\text{birsonraki}}$ çözümün seçimini belirler. TA’ nın temel işlem basamakları aşağıda verilmektedir (Karaboğa, 2004):

Adım 1: Bir başlangıç çözümü (S) al. Başlangıçta değer atanması gereken parametreler için (tabu listesi uzunluğu, durdurma kriteri, vs) değerlerini ata.

Adım 2: Belirlenen bir komşuluk yapısı ile S’ye ait komşu çözümler üret ve bu çözümler arasından tabu listesinde olmayan tüm $S^1 \in N(S)$ en iyi kabul edilebilir olan (S_{eni}) seç.

Adım 3: Mevcut çözümü (S), S_{eni} ile yer değiştir ve tabu listesini yenile.

Adım 4: Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar Adım 2 ve 3'ü tekrar et.

Bu araştırma işlemine göre en iyi kabul edilebilir hareket, mevcut çözümün komşuluğunda bulunan amaç değeri ve tabu sınırlamaları açısından en yüksek değerlendirme değerine sahip olan harekettir. Değerlendirme fonksiyonu, amaç fonksiyonunda en az kötüleşme veya en çok iyileşme sağlayan hareketi seçer. Tabu listesinde kabul edilen hareketlerin karakteristikleri depolanmakta ve bu karakteristikler sonraki iterasyonlarda tabu olacak belirli hareketleri sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Kötüleşme sağlayan hareketlerin kabul edilebilir olması nedeniyle daha önceden denenmiş olan diğer bir deyişle ziyaret edilmiş çözümlere tekrar dönmek mümkün olabilmekte ve böylece bir döngü oluşabilmektedir. Tabu listesini kullanmanın amacı böyle bir olayın oluşmasını önlemektir. Bu yüzden görevi sadece tabu listesini kontrol etmek ve yenilemek olan bir yasaklama stratejisini kullanarak araştırmayı sınırlamak zorunludur. Yasaklama stratejisinin amacı, önceden takip edilmiş araştırma yollarının tekrarlanmamasını sağlamak ve böylece yeni bölgelerin araştırılmasını mümkün kılmaktır. Şekil 5.15'te tez çalışmamız için geliştirilen TA algoritmasının akış seması gösterilmektedir.

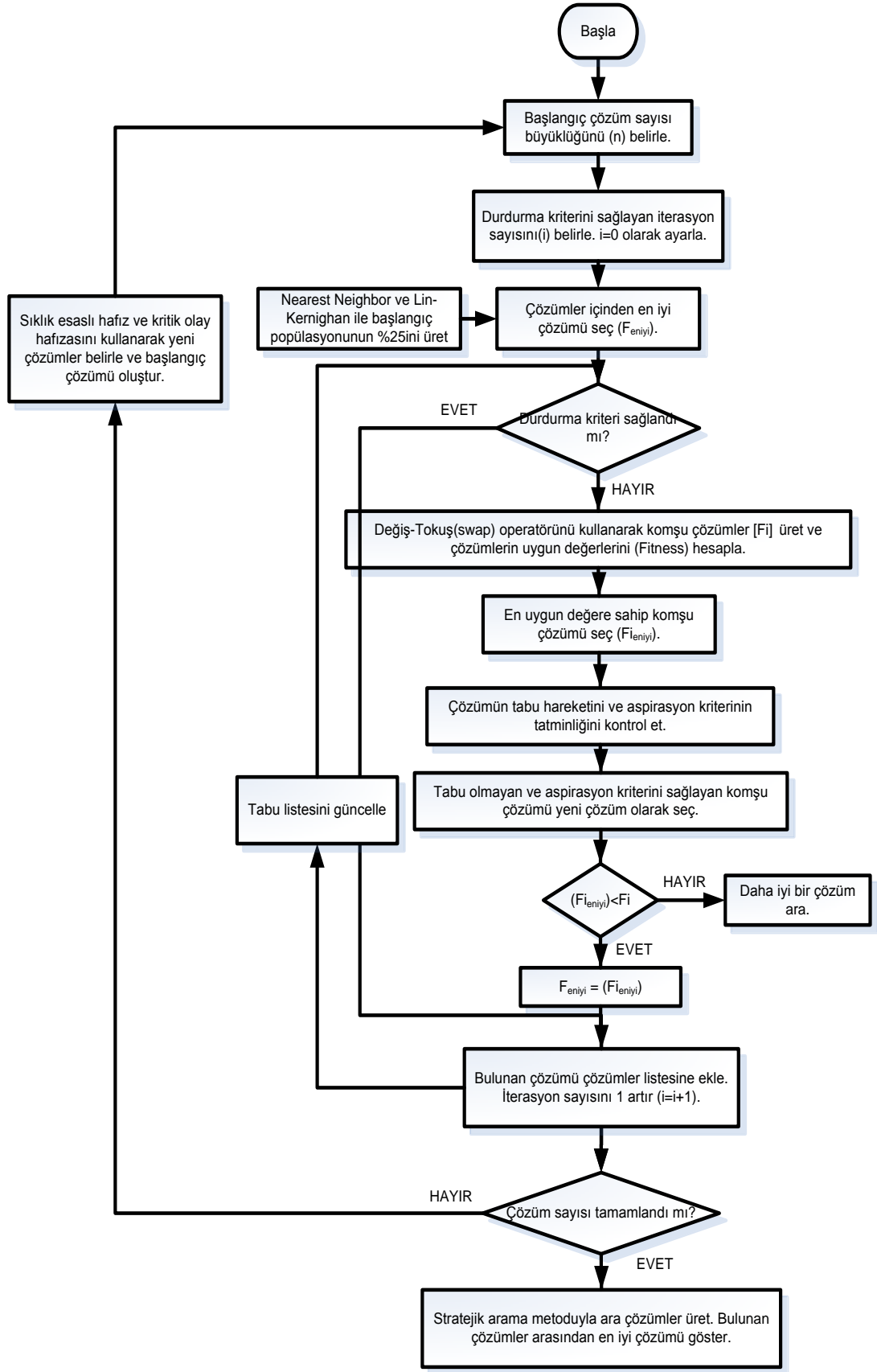
TA, yerel optimalliğin tıkanıklığından kaçınmak ve diğer yöntemlere yol göstermek için geliştirilmiş, optimuma yakın çözüm veren sezgisel bir arama metodudur. Tabu araştırmaları hedefe, kısıt ve tabu kullanarak belirli bir olasılıkla ulaşır. Hedefe ulaşma olasılığının yükselmesi için kısıt ve tabu sayılarını artırmak gerekir (Eren, 2002).

Komşu çözümler aranırken, 'tabu listesine eklenen hareketler' liste tipinin özelliğine göre değişen iterasyonlar boyunca aynı kalmaktadır. Burada tabu hareketlerinin kaç iterasyon boyunca değişmeyeceği, dolayısıyla tabu listesinin uzunluğunu liste tipinin dinamik veya statik olmasına göre belirlemektedir. Tabu iterasyon sayısı problemin büyüklüğüyle doğrudan ilişkilidir. Her bir çözüm bir kromozom olarak düşünülürse;

Kromozom uzunluğu (gen sayısı) = K

Statik liste tipi için komşu çözümlerin tabu iterasyon sayısı = $K^{1/2}$

Dinamik liste tipi için komşu çözümlerin tabu iterasyon sayısı: $0,9 \times K^{1/2}$ veya $1,1 \times K^{1/2}$ olarak hesaplanmıştır. Örneğin; 100 gen uzunluğunda bir kromozom için tabu hareket belirlenmişse, statik liste tipinde $100^{1/2} = 10$ iterasyon boyunca bu hareket değişmeyecektir.



Şekil 5.15: Geliştirilen Tabu Arama Esaslı Yöntemin İş Akışı (TANNLK)

5.2.2.1 Tabu arama stratejileri

TA algoritması, katı ve özel bir algoritma olmaktan ziyade genel bir yaklaşımdır. TA algoritması genellikle bir olası başlangıç çözümü ile araştırmaya başlar ve bu çözümü daha iyi çözüme dönüştürmek için ardışık hareketler gerçekleştirir. Araştırma esnasında aşağıdaki stratejileri kullanmak suretiyle bölgesel optimallikten kurtulmaya ve diğer bölgeleri araştırmaya çalışır:

- Tabu listesine neyin girip neyin girmeyeceğine karar veren yani kontrol eden yasaklama stratejisi
- Tabu listesinden neyin ne zaman çıkacağını kontrol eden serbest bırakma stratejisi.
- Denenecek hareketlerin seçimi için yukarıdaki stratejiler arasında ilişkiyi kontrol eden kısa dönem stratejisi.

Yukarıdaki stratejilere ek olarak TA algoritması, çalışması esnasında bilgileri toplayan ve bu bilgilerin sonraki adımlarda TA'yı yönlendirmek amacıyla kullanılmasını sağlayan öğrenme stratejisine de sahip olabilir. Bu strateji orta ve uzun dönem hafıza fonksiyonlarının kullanımından oluşmaktadır. Netice olarak TA algoritmasının gerçekleştirilmesinde ve herhangi bir probleme uygulamasında aşağıdaki elemanları tanımlamak gerekmektedir (Karaboğa, 2004):

Tabu listesi ve tabu listesi büyüklüğü: Tabu durumundaki şartlar, hareket özelliklerine dayalıdır. Bundan dolayı bu özelliklerin neler olduğu tayin edilmelidir. Bir hareketin tabu durumunu belirlemek için tabu listesi kurulmalıdır. Tabu listesi için veri yapısı bir matris formunu almakta ve bu veri yapısı otomatik olarak iterasyon sayısı arttıkça yenilenmektedir. Tabu listesinin büyüklüğü deneysel olarak bulunabilir. Şayet tabu listesi büyüklüğü gereğinden küçükse çevrim olayı meydana gelecektir. Bununla birlikte gereğinden büyükse araştırma işlemi küresel optimumun bulunduğu bölgeden uzağa sürülecektir. Optimum tabu listesi büyüklüğü, çevrimi önlemek için yeterli uzunlukta ve sürekli çözüm uzayını araştırmaya müsaade edecek kadar da yeterli kısalıkta olmalıdır. Tabu liste büyüklüklerinin dinamik olarak değişmesini sağlayan stratejilerin mevcut olmasına rağmen, daha basit stratejilerle $|H|$ sabit bir değerde tutularak önemli başarılar elde edilmiştir. $|H|$ 'nin değeri problemin büyüklüğüne bağlıdır. Bu değer istatistiksel olarak türetilebilir. Tabu

listesi, TA işleminin birincil kısa dönem hafıza fonksiyonlarından birini ihtiva eder ve sadece en son $|H|$ hareketlerin veya bunların kısmi özelliklerini kaydedilmesi suretiyle gerçekleştirilir. Liste dolduğunda her yeni hareket, listedeki en eski hareket üzerine yazılır. Tabu listesi çoğunlukla önce giren önce çıkar (FIFO) işlem formunda dairesel bir dizil olarak çalıştırılır. Bu veri yapısı Şekil 5.16'de gösterilmektedir. Burada her sütun her bir durumun (k) özelliklerini $(a(k))$ temsil etmektedir.

$a_1(1)$	$a_1(2)$...	$a_1(k)$...	$a_1(T_s)$
$a_2(1)$	$a_2(2)$...	$a_2(k)$...	$a_2(T_s)$

Tabu Listesi Büyüklüğü $|H|$

Şekil 5.16: Tabu Listesinin Yapısı

Aspirasyon seviyesi: Aspirasyon kriterine göre herhangi bir tabu hareket mevcut çözümün amaç fonksiyon değerini, o ana kadar bulunan en iyi çözümün amaç fonksiyon değerinin altına düşürürse tabuluktan çıkartılmaktadır. Aspirasyon kriterleri, şayet bir hareket yeteri kadar iyi performansa sahipse ve çevrimi önlemek için de gerekli yeterliliği sağlıyorsa bu hareketin tabu durumunu ortadan kaldırmak amacıyla kullanılan ölçütlerdir. Tabu sınırlamalar ve aspirasyon kriteri araştırma işleminin sınırlandırılmasında ve araştırmaya kılavuzluk edilmesinde rol oynarlar. Tabu sınırlama ancak şartların veya kriterlerin sağlanmamaları durumunda hareketlerin kabul edilebilir olarak değerlendirilmesine olanak tanır. Bu strateji, aday hareket için seçme stratejisine de aynı zamanda durdurma kriterine de karar vermektedir. Bir hareket tabu değilse veya tabu durumu aspirasyon kriteri vasıtasıyla ortadan kaldırılmışsa kabul edilebilir olarak değerlendirilir. Aspirasyon kriteri, amaç fonksiyonuna $C(S)$ uygulanan bir aspirasyon fonksiyonu $A(C(S))$ ile kontrol edilir. Aspirasyon fonksiyonları, ya zamandan bağımsız ya da zamana bağımlıdır. İlk durumda mevcut çözüme (S) uygulanan tabu bir hareket, şayet su ana kadar bulunan ve hafızada tutulan en iyi çözümden daha iyi amaç fonksiyonu değerine sahip çözüm üretirse çevrime sebep olmaz. Yani, $C(S) < A(C(S))$ ise aspirasyon verilmesi gerekmektedir.

Komşuluk yapısı: Komşuluk yapısı mevcut bir çözümü açıkça belirlenmiş bir düzenek yardımıyla değiştirerek bir anda yeni çözümler üretme şeklidir. Çizelgeleme problemi için bu tür bir yapı mevcut bir çizelgeden, komşuluk yapısının içeriğine

göre yarı-aktif yeni çizelgeler oluşturmak için kullanılır. Bu çizelgelere komşu çizelgeler denmektedir. Bir anda oluşturulabilecek komşu çizelge sayısı çok fazla olabilir. Mesela, her bir tezgâhtaki bitişik bütün işlemleri çiftler çiftler yer değiştirerek en genel komşuluk yapısı elde edilebilir. Oluşturulan bu komşuların pek çoğu gereksiz (yani çözümü iyileştirme imkânı olmayan) veya olursuz olabilir. Bu yüzden, etkin bir komşuluk yapısı öncelikle gereksiz komşu üretmemeli ve eğer mümkünse kısır döngüye (olursuz bir çözüme) neden olmamalıdır.

En iyi kabul edilebilir (EK): Bu strateji tüm koşulları değerlendirir ve S^1 çözümünü elde etmek için bir hareket seçer. S^1 , en yüksek değerlendirmeye sahip harekettir ve kabul edilebilirlik şartlarını sağlamaktadır (S^1 , tabu olmayan veya tabu ya da aspirasyon kriterini geçmiş bir harekettir). Bu durumda S^1 bir sonraki çözüm olarak kabul edilir. EK stratejisi en iyi gelişimi seçme stratejisinin genelleştirilmiş hali olarak görülebilir.

İlk en iyi kabul edilebilir (İEK): Bu strateji ilk gelişim ile en iyi gelişim stratejisini kabul edilebilirlik şartları ile birleştiren bir seçme stratejisidir. İEK, ilk gelişim gösteren hareketi kabul eder. Ancak mevcut çözümü geliştiren hiçbir hareket yoksa o zaman en iyi kabul edilebilir hareket bir sonraki çözüm olarak seçilir.

Durdurma kriteri: Durdurma kriteri, TA işlemini daha önceden belirlenmiş olan toplam iterasyon sayısı kadar işlem yapıldıktan sonra veya bulunan çözümün daha önceden tayin edilen belirli bir hata toleransını sağlamasına göre belirlenmektedir. Örneğin; en iyi çözüm üzerinde belirli bir iterasyon boyunca gelişim kaydedilmemişse algoritma durabilir (Erol, 2006).

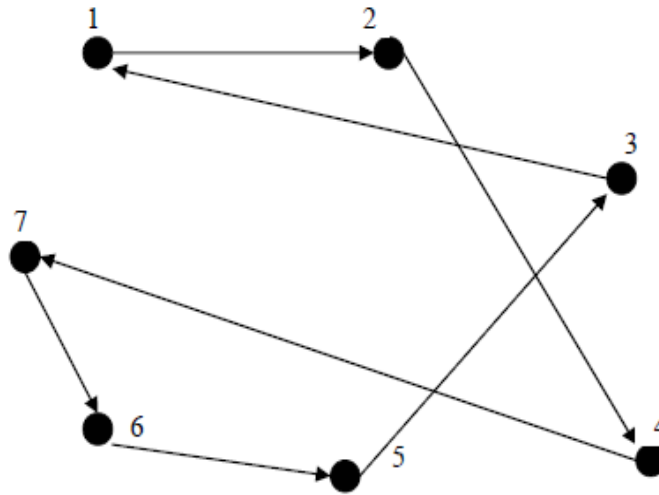
5.2.2.2 Tabu arama algoritması için açıklayıcı bir örnek

KOP önemli bir problem sınıfını şekillendirmektedir. Ayrıca karşılaşılabilecek düşüncelerin izah edilebilmesi için önemli bir araç sunmaktadır. Klasik KOP başında GSP gelmektedir (Cura, 2006). Bu kısımda da İVÇ problemine özel olarak yedi konteyner olan hayali bir problem ele alınacak ve tabu metodu ile nasıl çözüm arandığı adım adım incelenecektir.

Şekil 5.17'de görüldüğü gibi bir başlangıç turu belirlenmiş olan GSP temsili {4, 3, 1, 7, 5, 6, 2} biçiminde gösterilir. Buna göre tur 4 numaralı konteynerden başlamakta ve 4 numaralı noktaya vardıldıktan sonra GSP probleminin aksine tekrar 4 numaralı konteynere dönmek yerine (konteyner elleçlenmiş olacağından aynı noktaya dönmesi

mümkün olamayacaktır) istif vinci park noktasına (0, 0, 0) döndüğü kabul edilecektir. Park noktasının paylaşımlı alan stratejisinde bir istif vinci (0, 0, 0) noktasına park ederken ikinci istif vincinin park noktası ise (0, 0, Z) gibi düşünülmesi gerekmektedir (Z, yatay düzlemde konteyner istif bloğunun uzunluğunun yarısının olduğu noktanın koordinatıdır). Oluşturulan turun iki istif vinci açısından toplam operasyon süresi 263 saniyedir. Tabu arama metodu mevcut çözümden komşu bir çözümün oluşturulabileceği varsayımı altında çalışır (Colin, 1995). Böylelikle çiftlerin yer değiştirmesi ile komşu çiftlere ulaşılabilir. Bu, KOP'da sıklıkla başvurulan bir tekniktir.

Bu kısımda söz konusu çift değiştirilmesi, konteynerlerin elleçlenmesi sırasının değiştirilmesidir. Çözüm uzayının tamamının incelenmesi böyle ufak ölçekli bir problem için bile zordur. Çünkü yedi nokta $7! = 5040$ farklı çözüme sahiptir. Her bir yer değiştirmenin hareket değeri olacaktır. Bu da amaç fonksiyonundaki değişimi temsil etmektedir. Söz konusu hareket değeri, hareketin kalitesini gösteren temel bir gösterge sağlamaktadır. Tabu arama metodunda hafıza kullanmanın en önemli mekanizması yasaklanmış hareketlerin tespit edilmesidir. Bu tespit aramanın gelişimine bağlıdır.



Şekil 5.17: Gezgin Satıcı Problemi Başlangıç Turu

Her bir nokta çiftinin değişimi Şekil 5.18' de tabu veri yapısı (tabu data structure) ile listelenmektedir. Bunu anlamı 2 ve 3 numaralı konteynerlerin elleçlenme sırası yani GSP gösterimindeki yeri değiştirildiğinde tabu veri yapısında 2. satır ve 2. Kolonda

yer alan hücrenin belli bir döngü boyunca tabu olarak işaretlenmesidir. Bu kısımda tabu 3 döngü olarak alınmıştır (Cura, 2006).

	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0
2		0	0	0	0	0
3			0	0	0	0
4				0	0	0
5					0	0
6						0

Şekil 5.18: Nokta Çiftlerinin Yer Değişimi İçin Tabu Veri Yapısı

Başlangıç çözümü 263 saniye süre değerine sahiptir. Şekil 5.19’da görülen ilk iterasyonda tesadüfi beş değiştirme çifti seçilmiştir ve tabu veri yapısı boştur (0 ile doldurulmuştur). Böylece aramanın başında hiçbir değiştirme çifti tabu olarak sınıflandırılmamıştır. Tesadüfi seçilmiş olan 5 değiştirme çifti, hareket değerlerine göre sıralanmıştır. Böylece * ile işaretlenmiş olan 2 ve 1 numaralı konteynerlerin elleçleme sırası mevcut turdaki yerleri değiştirilmiştir. Yani tur süresi 225 saniye olmuştur.

Mevcut Çözüm							Tabu Veri Yapısı							Değiştirme Değer		
	2	3	4	5	6	7		2	3	4	5	6	7			
1	4	3	1	7	5	6	2	0	0	0	0	0	0	0	2, 1	-38
2									0	0	0	0	0	0	1, 5	17
3										0	0	0	0	0	3, 7	23
4											0	0	0	0	4, 6	11
5												0	0	0	2, 5	6
6													0	0		

Şekil 5.19: İterasyon 0 İçin Durum

Tabu veri yapısında, 2 ve 1 numaralı konteynerlerin elleçleme sırasının değişimini 3 iterasyon boyunca engellenmek için ilgili hücrenin değeri 3'e eşitlenir ve tabu veri yapısı Şekil 5.20'deki halini alır. Artık sonraki üç iterasyon boyunca 2, 1 değiştirmesi tabu olarak işaretlenmiştir. İterasyon sayısı ilerledikçe (2, 1) hücrenin değeri sıfıra eşit olana dek birer birer düşürülmelidir.

	2	3	4	5	6	7
1	3	0	0	0	0	0
2		0	0	0	0	0
3			0	0	0	0
4				0	0	0
5					0	0
6						0

Şekil 5.20: İterasyon 1 İçin Tabu Veri Yapısı

Sonraki iterasyonlarda daha fazla değiştirilmiş olan çiftlerin daha az değiştirilmesini sağlayabilmek için ikinci bir tabu veri yapısı kullanılabilir. Bu yapıda değiştirilmiş olan çiftlerin karşılık geldiği hücredeki değer artırılır. Değiştirmenin hareket değeri hesaplanırken ikinci yapıda yer alan değer ilave edilir (Cura, 2006).

Çalışmada tabu listesi yukarıdaki örnelemeye benzer şekilde uygulanarak konteyner elleçleme sırasında ikili konteyner çiftleri tabu listesine alınarak çözüm araması yapılmıştır. Tabu arama liste yapısında boşaltma ve yükleme operasyonlar ayrı ayrı değerlendirilerek tabu listesi oluşturulmuştur (Şekil 5.21).

Konteyner	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	1 ₍₁₎	7 ₍₂₎	5 ₍₂₎	6 ₍₃₎	2 ₍₂₎		9 ₍₄₎	12 ₍₅₎	13 ₍₆₎	8 ₍₄₎	11 ₍₅₎	10 ₍₅₎	14 ₍₆₎	k=3
İstif Vinci	1	2	1	2	2	1	2		1	1	2	1	2	1	2	
Konteyner	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	1 ₍₁₎	5 ₍₂₎	6 ₍₃₎	7 ₍₂₎	2 ₍₂₎		9 ₍₄₎	11 ₍₅₎	10 ₍₅₎	8 ₍₄₎	12 ₍₅₎	13 ₍₆₎	14 ₍₆₎	k=2
İstif Vinci	1	2	1	2	1	2	2		1	2	1	1	1	2	2	
Konteyner	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	2 ₍₂₎	5 ₍₂₎	6 ₍₃₎	7 ₍₂₎	1 ₍₁₎		9 ₍₄₎	14 ₍₆₎	10 ₍₅₎	8 ₍₄₎	12 ₍₅₎	13 ₍₆₎	11 ₍₅₎	k=1
İstif Vinci	1	2	2	2	1	2	1		1	2	1	1	1	2	2	
Konteyner	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	5 ₍₂₎	2 ₍₂₎	6 ₍₃₎	7 ₍₂₎	1 ₍₁₎		9 ₍₄₎	14 ₍₆₎	12 ₍₅₎	8 ₍₄₎	10 ₍₅₎	13 ₍₆₎	11 ₍₅₎	k=0
İstif Vinci	1	2	2	2	1	2	1		1	2	1	1	1	2	2	
Konteyner	7 ₍₁₎	5 ₍₁₎	1 ₍₁₎	4 ₍₁₎	3 ₍₁₎	6 ₍₁₎	2 ₍₁₎		14 ₍₁₎	12 ₍₁₎	11 ₍₁₎	8 ₍₁₎	13 ₍₁₎	10 ₍₁₎	9 ₍₁₎	k=n
İstif Vinci	2	1	1	2	1	1	2		1	1	1	2	1	1	2	

Şekil 5.21: Tabu Arama Algoritması Tabu Sayısı Uygulama

5.2.2.3 Tabu arama esaslı geliştirilen modelin yapısı

TA esaslı geliştirilen yöntemde başlangıç çözümü, NN yapısal sezgiseli ile oluşturup, LK ile geliştirilerek tabu listesine eklenmiştir. Oluşturulan bu ilk çözüm etrafındaki komşuluklar aranarak, birbirini izleyen seçilmiş çözümlerden daha iyi olanı Tabu Listesi olarak atanmıştır. Geliştirilen bu yeni yaklaşım İVÇ problemine ve çözüm yapısına uygundur. Geliştirilen melez sezgisel yöntemin (TANNLK), rastgele popülasyon ile başlayan GA ya göre etkinliği araştırılacaktır. TANNLK-GA etkinliği araştırılırken kullanılacak parametre ise çözüm kalitesi ve çözüm süresi olacaktır.

Başlangıç çözümü oluşturmada kullanılan tur kurucu (yapısal) sezgisel En Yakın Komşu (Nearest Neighbor) ve tur geliştiren (geliştirme) sezgiseli Lin-Kernighan yöntemlerinin İVÇ problemine uygulanışı çalışmanın devamında sunulmuştur.

5.2.3 En yakın komşu sezgiseli (EYK)

Literatürdeki adı ile Nearest Neighbor (NN) yani En Yakın Komşu (EYK) sezgiseli araç (istif vinci) rotalarının belirlenmesi için literatürde sıkça kullanılan bir

yöntemdir. En yakın komşu sezgiseli, özellikle araç rotalama problemlerinde çözüm kurucu olarak görev yapan basit bir sezgisel yöntemdir. Bu yöntemin adımlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

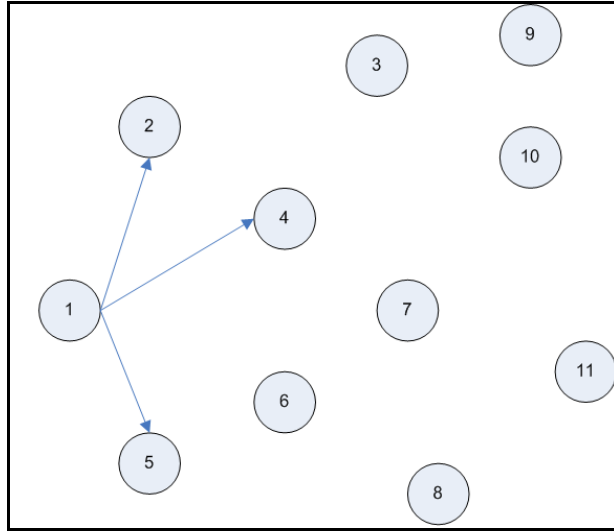
Adım1: Başlangıç noktasından en kısa mesafeli dağıtım noktasını belirle.

Adım2: İlk dağıtım noktasından diğer dağıtım noktalarına olan mesafeyi belirle;

Adım3: Mevcut mesafeler arasında en kısa olanı seç ve ikinci dağıtım noktasını belirle.

Adım4: Tüm dağıtım noktaları tamamlanana kadar Adım 2 ve 3 ü tekrar et.

Adım5: Dağıtım noktalarının belirlenme sırasına göre dağıtım noktalarını birleştir ve rotayı göster (Şahin, 2009).



Şekil 5.22: En Yakın Komşu Seçimi İçin Örnek Nokta Gösterimi

Nearest Neighbor (NN) yapısal sezgiseli İVÇ problem çözümüne (başlangıç konumundan elleçlenecek konteynerler arasında en yakın olan konteyner ile) en yakın nokta (1. konteyner) ile başlar (Şekil 5.22). Bu seçilen konteynerden belirlenen bir sayıya göre (örneğin $k=3$; k sayısı sezgisel olarak seçilmekte) en yakın k adet elleçlenecek konteyner seçilir. Daha sonra bu k adet konteyner arasında en yakın olan konteyner (2.konteyner) elleçlenir. 2. konteynere en yakın k adet komşu konteyner belirlenir ve bunlar arasından 1. konteyner hariç en yakın konteyner (3. konteyner) elleçlenir. İstif vinç (ler)i son konteyneri elleçledikten sonra $(0, 0, Z)$ koordinatına döner ve operasyon tamamlanır.

İstif vinçleri paylaşımlı senaryoya göre çizelgeleniyorsa, istif vinci tanımlanmış kendi alanındaki en yakın konteynerleri elleçleyecektir. İstif bloğundaki belli bir nokta orta nokta kabul edilerek istif vinçlerin konteynerlere bu noktadan itibaren ataması yapılmış olur. İstif vinçleri kendi alanlarının dışındaki konteynerlere müdahale edemez veya geçici elleçleyemez. Aynı müşterinin konteynerleri farklı alanlarda konuşlandırılmış dahi olsa uygulanan senaryoya göre ancak kendi alanlarındaki konteynerleri elleçleyebilirler.

Diğer yandan istif vinçleri serbest senaryoya göre çizelgeleniyorsa, istif bloğundaki bütün konteynerler yakınlık sırasına göre elleçlenecektir. İki istif vinci ayrı ayrı kendilerine en yakın konteynerden başlayarak elleçlerler. Burada müşteri öncelik kuralı uygulanması halinde ise istif vinçleri tek bir istif vinci gibi davranarak o müşteri grubuna ait bütün konteynerleri birlikte eş zamanlı olarak elleçler. Dikkat edilmesi gereken nokta ise öncelikle boşaltılacak konteynerlerin elleçlemesi daha sonra da yüklenecek konteynerlerin stratejilere uygun olarak elleçlenmesidir.

Boşaltma veya yükleme operasyonunda geçici elleçleme gerekiyorsa, ilk önce geçici elleçleme yapılarak konteynerlerin konumu değiştirilir. İster asıl elleçleme isterse geçici elleçleme olsun bütün operasyonlarda en yakın konum/koordinat baz alınır.

Müşteri önceliği kuralı uygulanması sırasında ancak öncelikli müşterinin konteynerleri en yakın konteyner yakınlık sırasına göre elleçlenecektir. Daha sonra belirlenen müşteri öncelik sıralamasına ve istif vinci atama yöntemlerine göre istif vinci en yakın konteynere elleçleme işlemini uygulayacaktır. NN uygulanırken öncelikle boşaltılacak konteynerler arasından en yakın konteyner seçilmelidir. Bu seçim yapılırken o konteynere istif vincinin operatörlerinin (X, Y, Z) koordinatlarında ayrı ayrı eş zamanlı olarak ulaşma süresinin maksimumu alınır ve hareket edilir. Eğer hedef konteynerin üzerinde başka bir konteyner varsa 'geçici elleçleme' (temporary handling) uygulanarak istif bloğunda en yakın boş bir noktaya konumlandırılır. Hedef konteyner öncelikle bulunduğu konumdan Y koordinatında $(X, 0, Z)$ koordinatına dağıtıcı operatörü ile çıkartılır. Daha sonra $(0, 0, Z)$ koordinatına vargel operatörü tarafından taşınır. Konteyner 'transfer point' alanına bırakılmak üzere bir konteyner boyutu daha X koordinatında hareket ettirilir. En sonunda istif bloğu yanında bekleyen taşıyıcı aracın üzerine konteyner bırakılır ve $(0, 0, Z)$ koordinatına hareket edilir. Yukarıdaki operatörler sırasıyla işlemlerini yaparlar ve bir sonraki konteynere aynı işlem belirli bir hazırlık süresi sonrasında

uygulanarak en son konteyner elleçlenmesi bitene kadar devam ettirilir. Operasyonlar uygulanırken istif vinci dağıtım kuralına ve müşteri öncelik sırasına göre elleçleme işlemi uygulanır.

İVÇ probleminde NN algoritması ile oluşturulan çözümler (istif rotaları) birbirinin aynısıdır. Tek istif vinci aynı filo büyüklüğü ve aynı koordinattaki konteynerler için sadece bir tane en yakın rota oluşturur. Çift istif vinci senaryosunda ise iki farklı en yakın rota oluşturulacaktır. Tek veya çift istif vincinin çizelgelenmesinde ayrı ayrı en yakındaki konteyner elleçlenmeye başlanır. En son konteyner elleçlenene kadar aynı işlem tekrarlanarak devam edilir ve istif vinçleri başlangıç noktasına dönerek park ederler.

İstif vinçleri serbest stratejiye göre elleçleme operasyonu uygulanırken eğer aynı zamanda herhangi iki konteyneri elleçlemeyi tamamlarlarsa ve iki istif vincine en yakın konteyner aynı (aynı koordinatta yani tek konteyner) konteyner ise rastgele bir istif vinci o konteyneri elleçler. Diğer istif vinci ise en yakın ikinci konteyneri elleçler.

Müşteri önceliğinin olmadığı konteyner elleçleme stratejisinde istif vinçleri en yakındaki konteyneri elleçler ve bütün konteynerler elleçlenene kadar devam edilir.

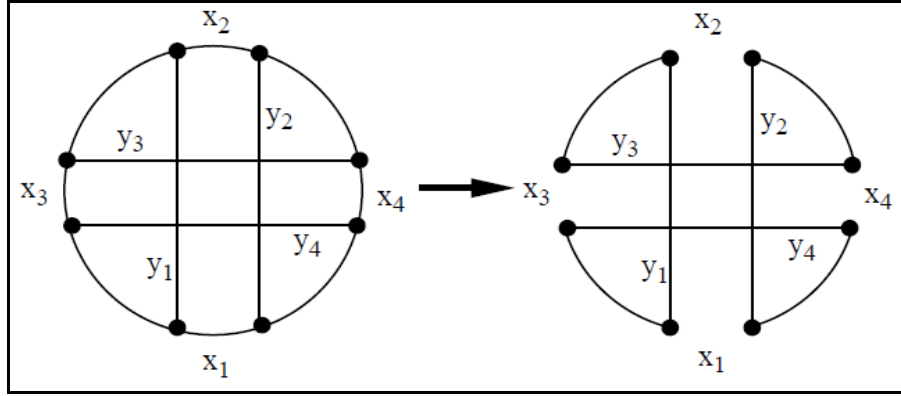
Müşteri önceliği stratejisinde istif vinçleri bir müşterinin konteynerlerini elleçlerken herhangi bir istif vincinin (1.istif vinci) diğerinden daha önce elleçleme işlemini bitirmesi durumunda diğer istif vincinin (2.istif vinci) son konteyneri elleçlemesini beklemeden diğer müşteri grubundaki en yakın konteyneri elleçlemeye başlar.

Paylaşımlı alan stratejisinde istif bloğunun Z koordinatında belli nokta orta nokta kabul edilerek istif vinçleri arasında elleçlenecek konteynerler ayrıştırılır. Paylaşımlı alan stratejisinde istif vinçleri serbest alan stratejisine ve tek istif vinci elleçleme stratejisine göre daha kısa mesafeler arasında gidip gelerek elleçleme işlemlerini sürdürür.

5.2.4. Lin-Kernighan (LK) algoritması

Tur geliştirmeyi amaçlayan optimizasyon algoritmasıdır. GSP için kullanılan etkili metotlardan biri olma özelliğiyle NP-Zor sınıftaki problemlerde kullanılır. Noktalar arasında en iyi rotayı belirlemeyi garanti edebilecek, çözüm zamanı açısından da diğer rastgele arama sezgisellerine göre iyi sonuç verebilmektedir.

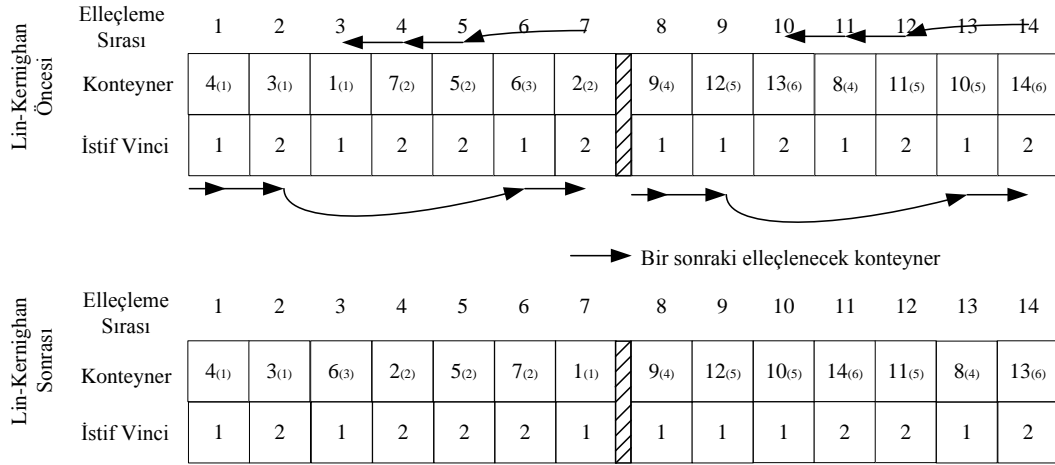
Aşağıdaki şekilde LK geliştirme sezgiselinin problemlere uygulanışı genel olarak gösterilmiştir (Şekil 5.23). Mevcut çözümler üzerinde, belli noktaların (konteynerlerin) sıralaması değiştirilerek rota geliştirilmiştir. Geliştirme stratejisi uygulanırken NN ile elde edilen elde edilen çözümün uygunluk değerine bakılır. Eğer LK ile geliştirilen yeni çözüm NN' den daha iyi bir uygunluk değeri veriyorsa yeni çözüm olarak LK ile elde edilen çözüm olarak kabul edilir.



x_n : n. konteyner

Şekil 5.23: Lin-Kernighan Algoritmasının Uygulama Gösterimi

Çalışmamızın yapısı gereği NN ile elde edilen çözüm LK ile geliştirilmek istendiğinde en fazla 10 defa geliştirme algoritması uygulanmaktadır. Yani NN ile elde edilen her çözüme LK geliştirme algoritması uygulanırken çözümlerin iyileşmeme olasılığına karşın (algoritma sonsuz döngüye girmemesi için) zaman kaybetmemek için 10 tekrar (iterasyon) uygulanmasına karar verilmiştir. Burada algoritmanın belli zamandan sonra en iyi çözümü yakalayacağı düşünülürse bu tekrar sayısı çalışmamız için uygundur. Çalışmamızda başlangıç popülasyonunun belli bir kısmı NN ile üretilmiş ve LK ile geliştirmeye uygulanmıştır. Aşağıdaki şekilde LK geliştirme sezgiselinin kromozom yapısına uygulaması gösterilmiştir (Şekil 5.24).



Şekil 5.24: Lin-Kernighan Algoritmasının Kromozoma Uygulaması

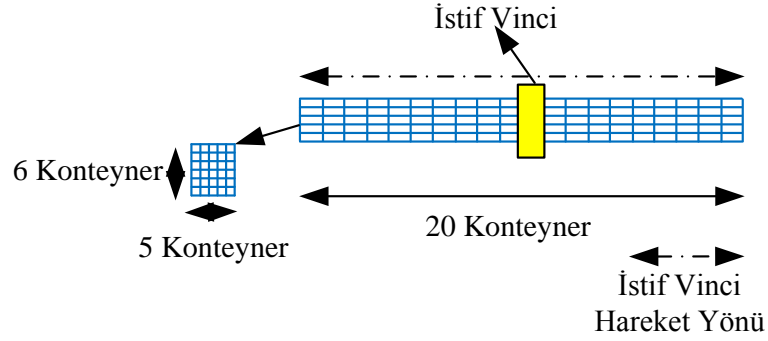
5.3 İstif Vinci Dağıtım Stratejileri İçin Konteyner İstif Blok Yapıları

Dünyadaki ileri teknolojik açıdan donatılmış konteyner terminalleri incelendiğinde istif blokları üzerinde elleçleme operasyonlarını yürüten istif vinçlerinin Otomatik İstif Vinçleri olduğu görülmektedir. Bu ekipmanlar uzaktan kumanda edilerek çalışmakta ve operatöre gerek duymamaktadır. Konteyner terminal yöneticileri operasyonların etkinliğini artırmak dolayısıyla verimliliğini artırmak için konteyner terminal ekipmanların çeşitli özelliklerini kullanmaktadırlar. Çift istif vincinin bir konteyner bloğu üzerinde elleçleme operasyonlarını eş zamanlı sürdürürken özel boyutları sayesinde birbirleri içinden geçerek hareket etmeleri tek istif vincinin farklı konteyner blokları arasında hareket etmesinden daha verimli olduğu çeşitli çalışmalarda görülmüştür (Meng ve diğ., 2008).

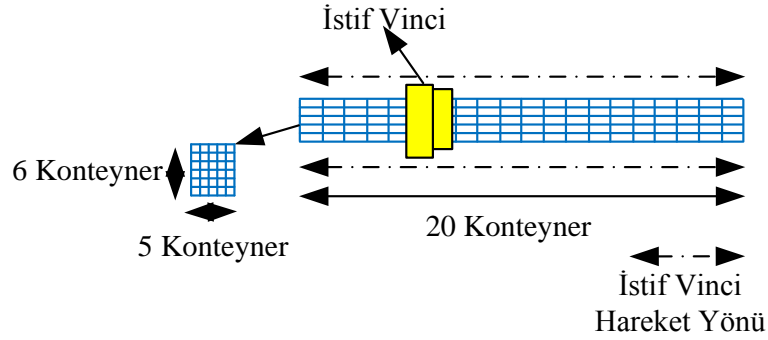
Bir konteyner bloğu üzerinde iki istif vincinin bloğu alansal olarak paylaşım sadece kendi alanlarında elleçleme operasyonlarını yürütmesi, yani daha dar alanda hareket etmeleri toplam elleçleme süresini düşüreceği düşünülmektedir. Çünkü istif vinçleri bloğu boylu boyunca gezmek yerine yarısı kadar bir alanı gezecektir. Çalışmamızda bu dağıtım stratejilerin, konteyner müşteri önceliği uygulanması ve uygulanmaması durumunda ortaya konacak performans göstergeleri açısından değerlendirmeleri yapılacaktır.

Çalışmada bir istif bloğu üzerinden yapılan elleçlemeler üzerine yoğunlaşmıştır. İstif vinçlerinin konteyner terminallerine özel boyutları sayesinde önceki bölümlerde açıklanan dağıtım stratejileri incelenmiştir. X koordinatında 5, Y koordinatında 6 ve

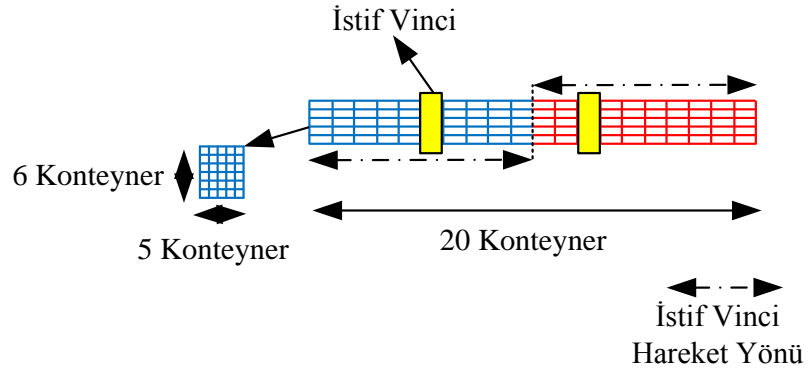
Z koordinatında da 20 konteyner uzunluğundaki (5x6x20) konteyner istif bloğu üzerinde yapılan farklı sayıdaki yükleme ve boşaltma operasyonları stratejiksels gösterimleri aşğıdaki gibidir. İstif Vinci Çizelgeleme probleminde, istif vinci dağıtım stratejileri Tek Vinç Dağıtım Stratejisi (Şekil 5.25), Serbest Dağıtım Stratejisi (Şekil 5.26), Paylaşımlı Dağıtım Stratejisi (Şekil 5.27) olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.25: Tek Vinç Dağıtım Stratejisi



Şekil 5.26: Serbest Dağıtım Stratejisi



Şekil 5.27: Paylaşımlı Dağıtım Stratejisi

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Geliştirilen Program ve Özellikleri

Deneysel çalışma için hazırlanan konteyner listesinde, konteynerlerin koordinatları, müşteri grupları, müşteri gruplarındaki konteyner sayıları ve geçici elleçleme yapılacak konteyner sayısı rastgele olarak oluşturulmuştur. Daha önceki bölümde sunulan GA ve TA tabanlı yaklaşımlar, Java programlama dili ile kodlanmış ve hazırlanan program için bir arayüz tasarlanmıştır. Ara yüz yardımıyla, konteynerlere, istif vinçlerine ait özellikler, GA ve TA'ya ait parametreler programa yüklenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Parametreler ara yüzünde müşteri öncelik kuralı belirlenmekte, deney sayısı, her bir elleçleme için verilen hazırlık süresi girilebilmektedir. Aynı zamanda ortam verileri ve test verileri bu ara yüz aracılığıyla da girilebilmektedir. Parametreler ara yüzünde ayrıca çalışmada uygulanacak yaklaşımlara (GA, GANNLK, TA, TANNLK) ait planlama tipi seçilip parametreler girilebilmektedir. Ortam Verisi ara yüzünde istif bloğunun boyutları, istif vincinin hareket edeceği koordinatlar, hızları, park koordinatları ve dağıtım yöntemleri programa girilmektedir. Test Verisi ara yüzünde ise sahada bulunan konteynerler, bağlı buldukları müşteri grupları, konteynerlerin koordinatları ve bu konteynerler içinden boşaltma operasyonu uygulanacakların listesi girilebilmektedir. Yine bu ara yüzde yükleme yapılacak konteynerler müşteri gruplarıyla beraber programa yüklenmektedir. 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. Geliştirilen programa ait ara yüzlerin görüntüleri Şekil B.1, B.2, B.3, B.4, B.5, B.6, B.7 olarak ekler bölümünde gösterilmektedir.

En uygun parametrelerin belirlenmesi için 8 GB RAM ve 1.60 Ghz i7 işlemcili standart bir bilgisayarda deneyler gerçekleştirilmiştir. ANOVA testinin uygulanarak en iyi parametre setinin belirlenebilmesi için farklı parametre değerleri kullanılarak

GA için toplam 3840, TA için ise 40 deney yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan parametre değerleri sırasıyla Tablo 6.1 ve 6.2’de özetlenmektedir.

Tablo 6.1: Deneysel Çalışmada Kullanılan GA Parametre Değerleri

Parametre	Kullanılan Değerler
Deney Tekrar Sayısı	5
Popülasyon Büyüklüğü	100 - 300
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyona Tabanlı - oxOperatör
Çaprazlama Oranı	%50 - %90
Elitizm Oranı	%10 - %20
Kromozom Seçim Yöntemi	Rulet Tekerleği - Sıra Esaslı
Mutasyon Yöntemi	Ters Çevirme - Sağ Rotasyon - Sol Rotasyon
Mutasyon Yüzdesi	%5 - %10
Mutasyon Azalma Oranı	%25 - %50
“c” Değeri	0 - 3
Sonlanma Oranı	0
Uygulanan Yaklaşımlar	GA – GANNLK

Tablo 6.2: Deneysel Çalışmada Kullanılan TA Parametre Değerleri

Parametre	Kullanılan Değerler
Deney Tekrar Sayısı	5
Tabu Liste Tipi	Dinamik – Statik
Tabu Arama Çevrimi	10 – 20
Komşuluk Arama Çevrimi	5 – 10
Uygulanan Yaklaşımlar	TA – TANNLK

6.2 En İyi Parametre Setinin Belirlenmesi

Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de belirtilen parametre değerleri kullanılarak 5 tekrarlı deneylerin yapılmasının ardından, en iyi ortalama uygunluk değerine sahip 15 GA parametre seti ve 6 TA parametre seti seçilerek Tekyönlü Varyans Analizi (One–Way ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Deneyler 30 konteynerlik elleçleme operasyonlarının çizelgelemesi (operasyon süresi) üzerinden yapılmıştır. Seçilen parametre grupları Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’de gösterilmektedir. Tablonu ilk sütununda bulunan “Parametre Grubu” ifadesi o parametre grubu ile yapılan deneylere karşılık gelmektedir (Özdamar, 2004).

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 6.3: ANOVA Testi İçin Seçilen GA Parametre Grupları

Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk
301	2542	1001	2646	755	2769
301	2437	1001	2432	755	2751
301	2542	1001	2646	755	2751
301	2653	1001	2666	755	2684
301	2518	1001	2525	755	2666
466	2765	956	2703	409	2577
466	2779	956	2776	409	2713
466	2819	956	2555	409	2713
466	2556	956	2553	409	2628
466	2648	956	2645	409	2630
201	2440	263	2734	111	2621
201	2542	263	2674	111	2689
201	2542	263	2631	111	2718
201	2441	263	2438	111	2794
201	2563	263	2560	111	2656
977	2805	1210	2683	829	2556
977	2774	1210	2771	829	2805
977	2775	1210	2772	829	2774
977	2853	1210	2666	829	2666
977	2689	1210	2686	829	2553
26	2765	127	2762	41	2700
26	2788	127	2818	41	2751
26	2654	127	2651	41	2662
26	2646	127	2589	41	2541
26	2699	127	2701	41	2633

Tablo 6.4: ANOVA Testi İçin Seçilen TA Parametre Grupları

Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk
1	2753	13	2648	8	2671
1	2694	13	2691	8	2671
1	2695	13	2646	8	2673
1	2801	13	2688	8	2804
1	2766	13	2690	8	2581
9	2614	7	2503	15	2662
9	2667	7	2618	15	2630
9	2701	7	2601	15	2703
9	2755	7	2568	15	2772
9	2757	7	2681	15	2672

6.2.1 Normallik testi

Tek yönlü ANOVA' da, k toplumun $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ ortalamalı ve ortak σ^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 (Özdamar, 2004). Veri analizi için SPSS 16 paket programı kullanıldığı için, bu testlerden Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır. Yapılan normallik testlerinin sonuçları GA için Tablo 6.5’ te TA için Tablo 6.6’ da verilmektedir. Bütün parametre grupları için anlamlılık değeri 0,05’ ten büyük olduğu için verilerin normal dağılım gösterdiği söylenebilir.

Tablo 6.5: GA İçin Normallik Testi Sonuçları

Parametre Grubu	Kolmogorov-Smirnov		
	İstatistik	df	Anlamlılık
26	0,21	5	0,98
41	0,178	5	0,997
111	0,167	5	0,999
127	0,14	5	0,999
201	0,259	5	0,656
263	0,182	5	0,996
301	0,281	5	0,823
409	0,247	5	0,921
466	0,283	5	0,819
755	0,32	5	0,685
829	0,235	5	0,946
956	0,229	5	0,956
977	0,134	5	0,873
1001	0,333	5	0,636
1210	0,317	5	0,697

Tablo 6.6: TA İçin Normallik Testi Sonuçları

Parametre Grubu	Kolmogorov-Smirnov		
	İstatistik	df	Anlamlılık
1	0,242	5	0,931
7	0,158	5	0,999
8	0,335	5	0,629
9	0,223	5	0,695
13	0,345	5	0,592
15	0,216	5	0,974

6.2.2 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

düzenini göstermektedir. Küçük anlamlılık değerleri (<0.05) gruplar arasında farklılığın bulunduğu gösterir (Şahin, 2009). Tablo 6.7 ve Tablo 6.8' den de görüleceği üzere GA ve TA örneklem deney sonuçları, "Anlamlılık" $< 0,05$ olduğu için "en az 1 parametre grubunu bulunduğu alan diğerlerinden farklıdır" denir.

Tablo 6.7: GA F-Test İstatistiği Sonuçları

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Gruplar Arası	388621,387	14	27758,670	4,065	0,000
Grup İçi	409702,800	60	6828,380		
Toplam	798324,187	74			

Tablo 6.8: TA F-Test İstatistiği Sonuçları

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Gruplar arası	58230,400	5	11646,080	3,505	0,016
Grup içi	79750,400	24	3322,933		
Toplam	137980,800	29			

6.2.3 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 GA için Tablo 6.9' da TA için ise Tablo 6.10' da verilmektedir.

GA deney sonuçlarında 15 parametre seti 4 gruba ayrılmıştır. Bazı parametre setleri birden fazla grup içerisinde yer alırken, 201 numaralı parametre setinin oluşturulan diğer parametre setlerine ait gruplarla bağlantısı olmadığı için bu parametre seti en iyi parametre seti seçilmiştir.

Tablo 6.9: GA Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Parametre Grubu	N	1	2	3	4
201	5	2505,6			
301	5	2538,4	2538,4		
1001	5	2583,0	2583,0	2583,0	
263	5	2607,4	2607,4	2607,4	
956	5		2646,4	2646,4	2646,4
409	5		2652,2	2652,2	2652,2
41	5		2657,4	2657,4	2657,4
829	5		2670,8	2670,8	2670,8
111	5		2695,6	2695,6	2695,6
127	5		2704,2	2704,2	2704,2
26	5		2710,4	2710,4	2710,4
466	5		2713,4	2713,4	2713,4
1210	5		2715,6	2715,6	2715,6
755	5			2724,2	2724,2
977	5				2779,2
Anlamlılık		0,128	0,703	0,329	0,095

TA deney sonuçlarında 6 parametre seti 2 gruba ayrılmıştır. Bazı parametre setleri birden fazla grup içerisinde yer alırken, 7 numaralı parametre setinin oluşturulan diğer parametre setlerine ait gruplarla bağlantısı olmadığı için bu parametre seti en iyi parametre seti seçilmiştir.

Tablo 6.10: TA Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Parametre Grubu	N	1	2
7	5	2594,2	
13	5	2672,6	2672,6
8	5	2680,0	2680,0
15	5	2687,8	2687,8
9	5	2698,8	2698,8
1	5		2741,8
Anlamlılık		0,080	0,427

201 numaralı parametre setine ait parametre değerleri Tablo 6.11' de, 7 numaralı parametre setine ait parametre değerleri ise Tablo 6.12' de verilmiştir. GA ve TA tabanlı yaklaşımlara (GA, GANNLK, TA, TANNLK) ait en iyi parametre setlerinin belirlenmesinin ardından 100, 150, 250 ve 300 konteynerden oluşan elleçleme listeleri TV-S-MÖV, TV-S-MÖY, ÇV-P-MÖV, ÇV-P-MÖY, ÇV-S-MÖV ve ÇV-S-MÖY istif vinci çizelgeleme stratejileri için ayrı ayrı deneylere tabi tutulmuştur.

Tablo 6.11: Kullanılacak GA Parametreleri

Popülasyon Hacmi	Konteyner Sayısı x 10
Çaprazlama Metodu	Pozisyon Tabanlı
Çaprazlama Oranı	90%
Mutasyon Yöntemi	Yer Değiştirme
Mutasyon Azaltma Stratejisi	Üssel Azalma
Mutasyon Oranı	10%
Mutasyon Azalma Oranı	50%
Elitizim Oranı	10%
Aile Seçim Metodu	Rulet Tekeri

Tablo 6.12: Kullanılacak TA Parametreleri

Tabu Liste Tipi	Dinamik
Tabu Arama Çevrimi	20
Komşuluk Arama Çevrimi	5

Tablo 6.13' de TV-S-MÖV, TV-S-MÖY, ÇV-P-MÖV, ÇV-P-MÖY, ÇV-S-MÖV, ÇV-S-MÖY stratejileri için ortak hazırlanan bu konteyner listelerinde aşağıdaki bilgiler yer almaktadır. Tabloda, istif bloğunda bulunun toplam konteyner sayısı, boşaltılacak konteyner sayısı, yüklenecek konteyner sayısı, operasyon başlangıcı itibariyle geçici elleçleme uygulanacak konteyner sayısı, farklı müşteri sayısı, konteyner elleçleme hazırlık + taşıyıcı araç gecikme süreleri belirtilmektedir.

Tablo 6.13: Konteyner Listelerine Ait Bilgiler

Elleçlenen Konteyner Sayısı	100	150	250	300
İstif Bloğunun Konteyner Kapasitesi (adet)	300	300	300	300
Boşaltılan Konteyner Sayısı (adet)	50	75	125	150
Yüklenen Konteyner Sayısı (adet)	50	75	125	150
Geçici Elleçlenen Konteyner Sayısı (adet)	11	15	25	50
Boşaltma İşlemi İçin Farklı Müşteri Sayısı (adet)	10	11	12	13
Yükleme İşlemi İçin Farklı Müşteri Sayısı (adet)	2	3	3	3
Hazırlık + Gecikme Süresi (sn/konteyner)	5	5	5	5

6.3 Geliştirilen Yöntemlerin Stratejiler İçin Karşılaştırılması

Geliştirilen GA, TA sezgiselleri ve GA, TA tabanlı sezgisellerin (GANNLK, TANNLK) etkinliğini karşılaştıracak literatürde uygun bir problem bulunamamıştır.

Çünkü istif bloğu üzerinde elleçleme operasyonlarını inceleyen bütün çalışmalar tek koordinat (Z) üzerinde hareketleri dikkate alınmıştır. Diğer yandan tek vinç ve çift vinç operasyonlarını karşılaştırmalı olarak inceleyen bir çalışma olmamakla birlikte çalışmalar genellikle birden fazla istif bloğu üzerinden incelenmiştir. Müşteri önceliklendirme de diğer yandan ilk defa uygulanan bir stratejidir. Bu nedenle geliştirilen yöntemlerin etkinliğini başka bir örnek çalışma üzerinden göstermek yerine, geliştirilen yöntemlerin birbiri üzerindeki etkinliği üzerine çalışılmıştır.

Deneysel çalışmalarda Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27' de gösterilen istif vinci dağıtım stratejileri kullanılmıştır. İstif vincinin dağıtım stratejilerini resmeden şekillerde istif vinçleri esnek şekillerde hareket ederek kendileri için tanımlanmış alanda elleçleme operasyonlarını yürütmektedir. Her dağıtım stratejisinde istif vinçleri müşteri önceliklendirme kuralı olsun veya olmasın geçici elleçleme işlemi yaparken hedefi, geçici elleçleme uygulanan konteyneri bulunduğu noktadan en yakın noktaya taşınmasıdır. Tablo 6.13' de görüldüğü üzere müşteri sayısı, geçici elleçlenecek konteyner sayısı, yüklenecek ve boşaltılacak konteyner sayısı rastgele belirlenmiştir. Diğer taraftan çalışmanın doğruluğu için elleçlenecek konteynerlerin konumları rastgele belirlenmiştir.

6.4 Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmada GA ve GANNLK yaklaşımlarında durdurma kriteri olarak uygunluk (fitness) değeri ortalamasının (F_{ort}) en iyi çözüme (F_{eni}) yaklaşması/eşitlenmesi (≈ 0) olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan TA ve TANNLK yaklaşımlarında ise durdurma kriteri ise tabu arama çevrimi ve komşu arama çevrimini tamamlamasıdır. Her bir problem için GA, GANNLK, TA, TANNLK yaklaşımları kullanılarak deneyler 5 defa tekrarlanmıştır. Her bir deney seti için elde edilen minimum ve maksimum ([min, max]) uygunluk değerleri sırasıyla 100, 150, 250 ve 300 konteyner büyüklükleri bazında Tablo 6.14, 6.15, 6.16, 6.17' de gösterilmektedir. Yaklaşımlar istif vinci dağıtım stratejileri (ÇV-P-MÖV, ÇV-P-MÖY, ÇV-S-MÖV, ÇV-S-MÖY TV-S-MÖV ve TV-S-MÖY) ile birlikte karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tablolarda bulunan süre ile kastedilen en iyi çözüme ait süredir.

Tablo 6.14: 100 Konteyner Filo Büyüklüğü İçin Deney Sonuçları

Strateji: ÇV-P-MÖV	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[8091-8091]*	[7707-7707]	[9050-9060]	[7792-7792]
Süre (saniye)	81**	73	99	90
Strateji: ÇV-P-MÖY	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[7934-7936]	[7690-7692]	[9065-9066]	[7786-7786]
Süre (saniye)	80	70	97	86
Strateji: ÇV-S-MÖV	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[9614-9618]	[9374-9374]	[9695-9700]	[9441-9441]
Süre (saniye)	91	85	99	91
Strateji: ÇV-S-MÖY	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[9521-9522]	[9242-9242]	[9684-9718]	[9321-9321]
Süre (saniye)	89	80	98	90
Strateji: TV-S-MÖV	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[9981-9981]	[9781-9781]	[9982-9982]	[9774-9781]
Süre (saniye)	93	85	104	98
Strateji: TV-S-MÖY	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[9712-9715]	[9701-9702]	[9831-9858]	[9705-9713]
Süre (saniye)	93	81	100	91

* [min - maks] değerleri 5 deneme sonucunda elde edilen en düşük ve en yüksek uygunluk değerlerini ifade etmektedir.

** Belirtilen süre en iyi çözüme ait hesaplama süresidir.

Tablo 6.15: 150 Konteyner Filo Büyüklüğü İçin Deney Sonuçları

Strateji: ÇV-P-MÖV	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[11881-11882]	[11481-11481]	[13649-13868]	[11507-11525]
Süre (saniye)	198	190	222	196
Strateji: ÇV-P-MÖY	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[11851-11851]	[11451-11451]	[13583-13778]	[11506-11506]
Süre (saniye)	199	198	215	193
Strateji: ÇV-S-MÖV	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[13547-13547]	[13047-13047]	[14210-14212]	[13094-13102]
Süre (saniye)	202	195	218	200
Strateji: ÇV-S-MÖY	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[13547-13547]	[13011-13011]	[14198-14275]	[13056-13100]
Süre (saniye)	210	191	230	204
Strateji: TV-S-MÖV	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[14324-14324]	[14145-14145]	[14445-14445]	[14165-14168]
Süre (saniye)	217	199	217	197
Strateji: TV-S-MÖY	GA	GANLKLK	TA	TANLKLK
Toplam Süre (saniye)	[14333-14333]	[14120-14120]	[14462-14462]	[14120-14133]
Süre (saniye)	215	192	216	201

Tablo 6.16: 250 Konteyner Filo Büyüklüğü İçin Deney Sonuçları

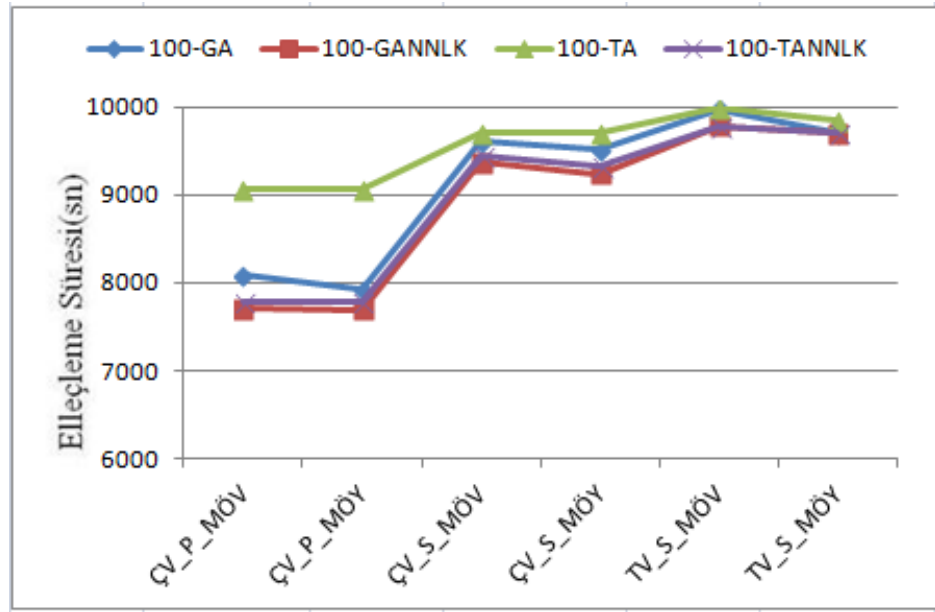
Strateji: ÇV-P-MÖV	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[19218-19218]	[18812-18812]	[22088-22090]	[18826-18826]
Süre (saniye)	406	351	461	384
Strateji: ÇV-P-MÖY	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[19150-19150]	[18805-18805]	[22047-22062]	[18821-18821]
Süre (saniye)	404	350	466	354
Strateji: ÇV-S-MÖV	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[23895-23895]	[22884-22884]	[24526-24526]	[22914-22914]
Süre (saniye)	444	387	493	413
Strateji: ÇV-S-MÖY	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[23873-23873]	[22754-22754]	[24517-24517]	[22784-22784]
Süre (saniye)	431	400	528	444
Strateji: TV-S-MÖV	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[24764-24764]	[23981-23981]	[24983-24983]	[23994-23994]
Süre (saniye)	525	470	555	496
Strateji: TV-S-MÖY	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[24723-24723]	[23863-23863]	[24781-24781]	[23904-23904]
Süre (saniye)	500	462	547	509

Tablo 6.17: 300 Konteyner Filo Büyüklüğü İçin Deney Sonuçları

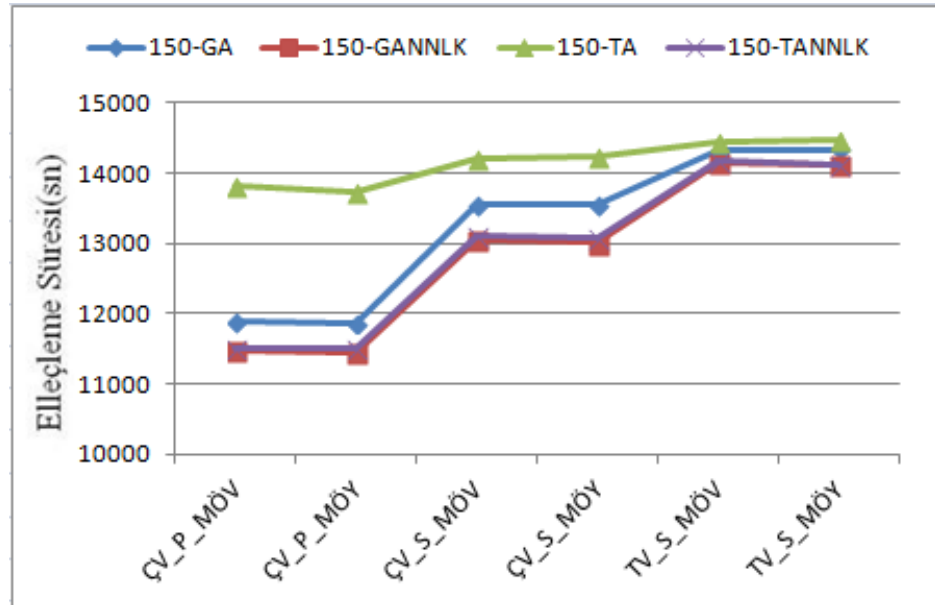
Strateji: ÇV-P-MÖV	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[23048-23106]	[22853-22853]	[26684-26937]	[22918-22918]
Süre (saniye)	481	430	535	470
Strateji: ÇV-P-MÖY	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[22948-22948]	[22846-22846]	[26234-26244]	[22918-22918]
Süre (saniye)	480	422	541	531
Strateji: ÇV-S-MÖV	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[26643-26643]	[25639-25641]	[28679-28691]	[25684-25700]
Süre (saniye)	511	454	580	477
Strateji: ÇV-S-MÖY	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[26641-26641]	[25604-25604]	[28312-28312]	[25684-25700]
Süre (saniye)	500	438	603	465
Strateji: TV-S-MÖV	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[26818-26821]	[26643-26643]	[29736-29736]	[26669-26669]
Süre (saniye)	610	557	635	588
Strateji: TV-S-MÖY	GA	GANLTK	TA	TANLTK
Toplam Süre (saniye)	[26794-26794]	[26619-26625]	[29642-29642]	[26666-26666]
Süre (saniye)	597	545	587	555

Geliştirilen yöntemlerin etkinliğini ölçmek ve en iyi istif vinci dağıtım yöntemine karar vermek amacıyla toplam süre (toplam elleçleme süresi) açısından analiz edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle 100, 150, 250, 300 konteynerlik filo büyüklüklerine ait toplam elleçleme süresinin normal dağılım gösterip göstermediği

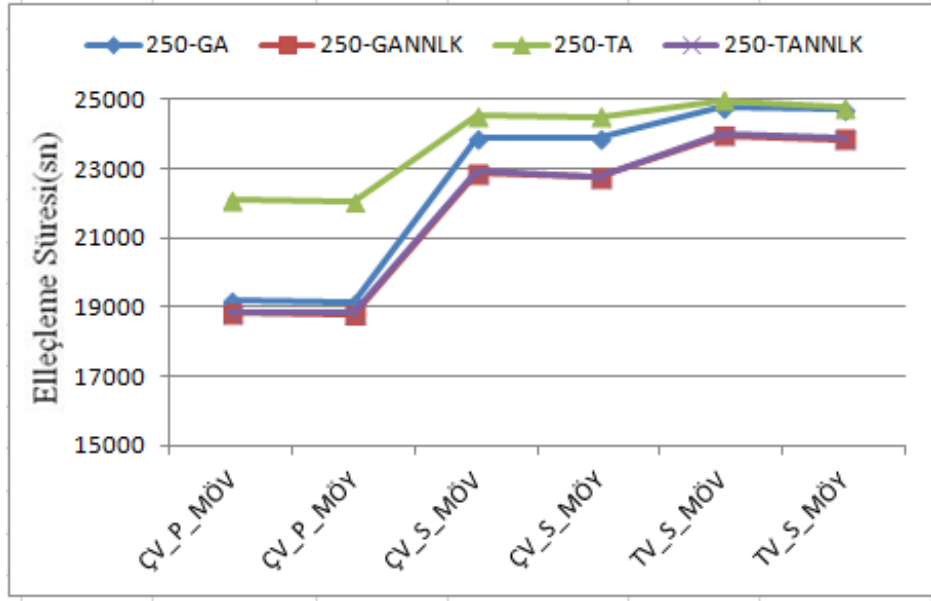
incelenmelidir. 100, 150, 250, 300 konteynerlik filo büyüklükleri için toplam elleçleme süresi sırasıyla Şekil 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4' de gösterilmiştir.



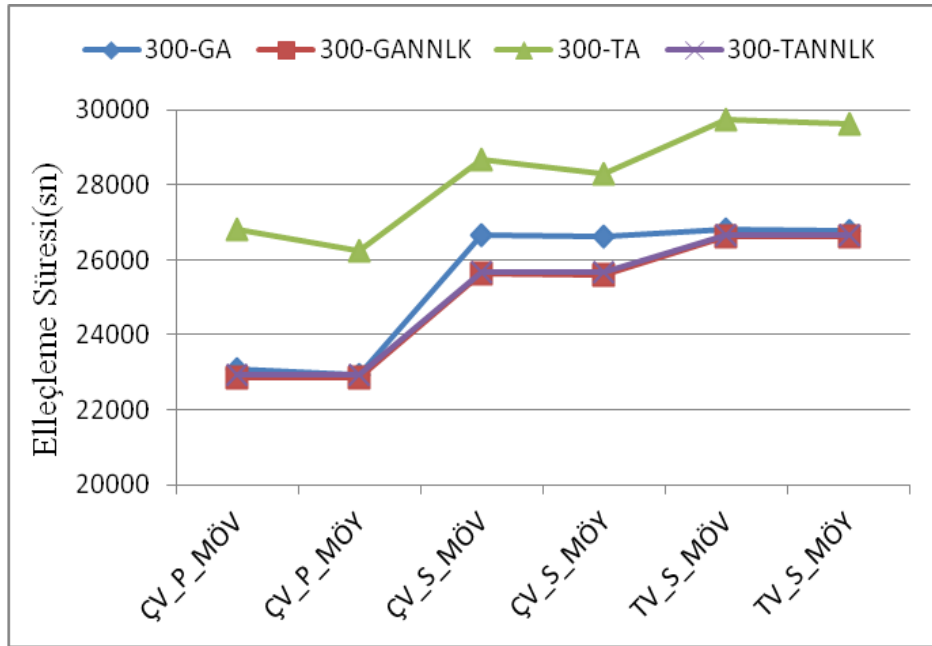
Şekil 6.1: 100 Konteyner İçin Toplam Elleçleme Süresi (sn)



Şekil 6.2: 150 Konteyner İçin Toplam Elleçleme Süresi (sn)



Şekil 6.3: 250 Konteyner İçin Toplam Elleçleme Süresi (sn)



Şekil 6.4: 300 Konteyner İçin Toplam Elleçleme Süresi (sn)

Bütün konteyner filo büyüklükleri için deneylerin sonucunda elde edilen uygunluk değerlerinin anlamlılık değeri 0,05' ten büyük olduğu için verilerin normal dağılım gösterdiği söylenebilir. Yapılan Kolmogrov-Simirnov testi sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki gibidir (Tablo 6.18):

Tablo 6.18: Konteyner Toplam Elleçleme Süresi İçin Normallik Testi Sonuçları

Konteyner Sayısı	Kolmogorov-Smirnov		
	İstatistik	df	Anlamlılık
100	0,214	120	0,341
150	0,195	120	0,140
250	0,223	120	0,448
300	0,181	120	0,982
Hepsi	0,180	480	0,000

Geliştirilen yöntemlerin etkinliğini ölçmek için çözüm sürelerinin yanı sıra yöntemler arasında anlamlı bir farkın olup olmadığını test etmek için 100, 150, 250, 300 konteynerlik deneylerin sonuçları ANOVA analizine tabi tutulmuştur. F Testi sonuçları aşağıdaki tablolarda sırasıyla verilmiştir (Tablo 6.19, Tablo 6.20, Tablo 6.21, Tablo 6.22).

Bütün konteyner filo büyüklüklerinin bir arada normal dağılım testine tabi tutulması sonucu verilerin normal dağılım göstermediği gözlemlenmiştir (<0,05). Verilerin normal dağılım göstermemesi durumunda F Testi ve Çoklu Karşılaştırma Testi (Tukey HSD) yapılamamaktadır. Sadece Kruskal-Wallis sıralamalı tek-yönlü varyans analizi yapılarak ortalama fark ve Ki-Kare değerleri elde edilebilmektedir ki bu tez çalışmasında bu değerlerin istatistiksel analiz bakımından anlamı yoktur. Bu nedenle konteyner filo büyüklükleri için ayrı ayrı F Testi ve Çoklu Karşılaştırma Testi yapılmıştır.

Tablo 6.19: 100 Konteynerlik Deney Sonuçları İçin F Testi

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Sezgisel Yöntem	7651527,447	3	2550509,149	167880	0,000
Dağıtım Stratejisi	6,314x10 ⁷	5	1,263x10 ⁷	831188	0,000
Etkileşim	5500813,040	15	366720,869	24138	0,000
Hata	1458,468	96	15,192		
Toplam	7,629x10 ⁷	119			

Tablo 6.20: 150 Konteynerlik Deney Sonuçları İçin F Testi

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Sezgisel Yöntem	3,152x10 ⁷	3	1,051x10 ⁷	13253	0,000
Dağıtım Stratejisi	9,104x10 ⁷	5	1,821x10 ⁷	22971	0,000
Etkileşim	1,418x10 ⁷	15	945264,742	1192	0,000
Hata	76096,400	96	792,671		
Toplam	1,368x10 ⁸	119			

Tablo 6.21: 250 Konteynerlik Deney Sonuçları İçin F Testi

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Sezgisel Yöntem	7,720x10 ⁷	3	2,573x10 ⁷	1,349x10 ⁷	0,000
Dağıtım Stratejisi	4,908x10 ⁸	5	9,817x10 ⁷	5,144x10 ⁷	0,000
Etkileşim	2,584x10 ⁷	15	1722896,57	902827	0,000
Hata	183,2	96	1,908		
Toplam	5,939x10 ⁸	119			

Tablo 6.22: 300 Konteynerlik Deney Sonuçları İçin F Testi

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Sezgisel Yöntem	2,108x10 ⁸	3	7,028x10 ⁷	118904	0,000
Dağıtım Stratejisi	2,879x10 ⁸	5	5,759x10 ⁷	97432	0,000
Etkileşim	8448213,93	15	563214,262	952	0,000
Hata	56743,2	96	591		
Toplam	5,073x10 ⁸	119			

Yapılan istatistikî analizler sonucunda konteyner filo büyüklükleri için sezgisel yöntemler ve dağıtım stratejileri kendi aralarında (grup içi) anlamlı olarak ayrılmaktadırlar. 100, 150, 250, 300 konteynerlik filo büyüklüklerinin İstif Vinci Dağıtım Stratejileri için Çoklu Karşılaştırma Testi (HSD Testi) sonuçları sırasıyla Tablo 6.23, 6.25, 6.27, 6.29'da sunulmuştur. Aynı şekilde 100, 150, 250, 300 konteynerlik filo büyüklüklerinin geliştirilen Sezgisel Yöntemler için Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları sırasıyla Tablo 6.24, 6.26, 6.28, 6.30'da sunulmuştur.

Tablo 6.23: 100 Konteyner-Dağıtım Stratejisi HSD Testi Sonuçları

	Dağıtım Stratejisi	N	Alt Gruplar İçin Alfa = 0,05					
			1	2	3	4	5	6
Tukey HSD	ÇV-P-MOY	20	8120					
	ÇV-P-MOV	20		8162				
	ÇV-S-MOY	20			9448			
	ÇV-S-MOV	20				9532		
	TV-S-MOY	20					9743	
	TV-S-MOV	20						9880
	Anlamlılık			1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tablo 6.24: 100 Konteyner-Sezgisel Yöntem HSD Testi Sonuçları

	Sezgisel Yöntem	N	Alt Gruplar İçin Alfa = 0,05			
			1	2	3	4
Tukey HSD	GANNLK	30	8916			
	TANNLK	30		8971		
	GA	30			9143	
	TA	30				9560
	Anlamlılık			1,000	1,000	1,000

Tablo 6.25: 150 Konteyner-Dağıtım Stratejisi HSD Testi Sonuçları

	Dağıtım Stratejisi	N	Alt Gruplar İçin Alfa = 0,05			
			1	2	3	4
Tukey HSD	ÇV-P-MOY	20	12131			
	ÇV-P-MOV	20		12174		
	ÇV-S-MOY	20			13469	
	ÇV-S-MOV	20			13475	
	TV-S-MOY	20				14259
	TV-S-MOV	20				14270
	Anlamlılık		1,000	1,000	0,981	0,846

Tablo 6.26: 150 Konteyner-Sezgisel Yöntem HSD Testi Sonuçları

	Sezgisel Yöntem	N	Alt Gruplar İçin Alfa = 0,05			
			1	2	3	4
Tukey HSD	GANNLK	30	12876			
	TANNLK	30		12915		
	GA	30			13247	
	TA	30				14148
	Anlamlılık		1,000	1,000	1,000	1,000

Tablo 6.27: 250 Konteyner-Dağıtım Stratejisi HSD Testi Sonuçları

	Dağıtım Stratejisi	N	Alt Gruplar İçin Alfa = 0,05					
			1	2	3	4	5	6
Tukey HSD	ÇV-P-MOY	20	19707					
	ÇV-P-MOV	20		19736				
	ÇV-S-MOY	20			23482			
	ÇV-S-MOV	20				23555		
	TV-S-MOY	20					24318	
	TV-S-MOV	20						24431
	Anlamlılık		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tablo 6.28: 250 Konteyner-Sezgisel Yöntem HSD Testi Sonuçları

	Sezgisel Yöntem	N	Alt Gruplar İçin Alfa = 0,05			
			1	2	3	4
Tukey HSD	GANNLK	30	21850			
	TANNLK	30		21874		
	GA	30			22604	
	TA	30				23824
	Anlamlılık		1,000	1,000	1,000	1,000

Tablo 6.29: 300 Konteyner-Dağıtım Stratejisi HSD Testi Sonuçları

	Dağıtım Stratejisi	N	Alt Gruplar İçin Alfa = 0,05					
			1	2	3	4	5	6
Tukey HSD	ÇV-P-MOY	20	23737					
	ÇV-P-MOV	20		23919				
	ÇV-S-MOY	20			26561			
	ÇV-S-MOV	20				26664		
	TV-S-MOY	20					27430	
	TV-S-MOV	20						27466
	Anlamlılık			1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tablo 6.30: 300 Konteyner-Sezgisel Yöntem HSD Testi Sonuçları

	Sezgisel Yöntem	N	Alt Gruplar İçin Alfa = 0,05			
			1	2	3	4
Tukey HSD	GANNLK	30	25034			
	TANNLK	30		25091		
	GA	30			25487	
	TA	30				28239
	Anlamlılık			1,000	1,000	1,000

Farklı büyüklükteki konteyner filo büyüklüklerine uygulanan Sezgisel Yöntemler ve İstif Vinci Dağıtım Stratejileri için Anlamlılık değeri “0” çıktığı için hem geliştirilen Sezgisel Yöntemler arasında hem de İstif Vinci Dağıtım Stratejileri arasında çok önemli düzeyde fark vardır. Bu farkın nereden kaynaklandığını bulmak için yapılan Çoklu Karşılaştırma Testi sonucunda ÇV-P-MOY İstif Vinci Dağıtım Stratejileri diğer dağıtım stratejilerine (ÇV-P-MOV, ÇV-S-MOV, ÇV-S-MOY, TV-S-MOV, TV-S-MOY) göre anlamlı düzeyde daha iyi sonuçlar üretmiştir. Genel olarak dağıtım stratejilerinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması ÇV-P-MOY, ÇV-P-MOV, ÇV-S-MOY, ÇV-S-MOV, TV-S-MOY, TV-S-MOV şeklindedir. Diğer yandan geliştirilen sezgisel yöntemlerin etkinliğini analiz etmek için yapılan Çoklu Karşılaştırma Testi sonucunda geliştirilen yöntemlerden GANNLK yöntemi diğer sezgisel yöntemlere (TANNLK, GA, TA) göre anlamlı düzeyde daha iyi sonuçlar üretmiştir. Genel olarak dağıtım stratejilerinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması GANNLK, TANNLK, GA, TA şeklindedir.

Tablo 6.31 ve Tablo 6.32’ de Çift Vinç-Paylaşım - Müşteri Önceliği Yok (ÇV-P-MOY) ve Çift Vinç-Paylaşım - Müşteri Önceliği Var (ÇV-P-MOV) İstif Vinci Dağıtım Stratejileri' ne göre geliştirilen yöntemlerin uygunluk değerleri, en iyi çözümden sapma değerleri ve hesaplama süreleri sunulmaktadır.

Tablo 6.31’de görüldüğü üzere ÇV-P-MOY dağıtım kuralı için GANNLK yöntemi GA yöntemine göre %0,45 ile %3,49 arasında daha iyi sonuç vermektedir. Yine aynı dağıtım kuralı için GANNLK, TA’ ya göre %14,84 ile %19,82 arasında, TANNLK’ ya göre ise %0,09 ile %1,24 arasında daha iyi sonuç vermektedir.

Diğer yandan Tablo 6.32’de görüldüğü üzere ÇV-P-MOV dağıtım kuralı için GANNLK yöntemi GA yöntemine göre %1,1 ile %4,98 arasında daha iyi sonuç vermektedir. Yine aynı dağıtım kuralı için GANNLK, TA’ ya göre %17,37 ile %20,41 arasında, TANNLK’ ya göre ise %0,07 ile %1,1 arasında daha iyi sonuç vermektedir.

Deneylein çözümlerine ait hesaplama sürelerine bakıldığında GANNLK ve TANNLK yöntemleri GA ve TA yöntemlerine göre daha iyi performans göstermektedir. Tablo 6.31 ve Tablo 6.32’de görüleceği üzere GANNLK yöntemi diğer yöntemlere göre % 0,5 ile % 38 arasında değişen oranlarda daha iyi çözüm süreleri ile en uygun çözüm değerine ulaşmaktadır. Deneylein çözüm süreleri daha ayrıntılı incelenirse, GANNLK sezgiselinin genel olarak diğer sezgisellere göre daha iyi çözüm süresini garanti ettiği görülebilir.

Literatürde ilk defa paylaşımlı ve serbest istif vinci dağıtım stratejileri için GA ve TA esaslı çözüm yöntemleri geliştirilmiş olup, tek vinç dağıtım kurallarına göre karşılaştırmaları sunulmuştur. Diğer taraftan müşteri önceliklendirme kuralları da bu dağıtım stratejileri ile birlikte ilk defa uygulanmıştır.

Eklerde örnek 100 konteynerin ait olduğu müşteri grupları ve konteynerlerin kooordinatları tablo halinde verilmiştir (Tablo A.1). Tablo A.2’ de 100 konteyner filo büyüklüğündeki örnek bir çizelgeleme çalışması sonucu oluşan en iyi rota verilmiştir (GANNLK Yöntemi ve ÇV-P-MÖY Stratejisi’ ne göre çözüm sonucu).

Tablo 6.31: ÇV-P-MOY Dağıtım Stratejisi İçin Sezgisel Yöntemlerinin Karşılaştırılması

VERİ SETİ	Uygunluk Değeri (sn)				En İyi Çözümünden Sapma Değeri (%)				Hesaplama Süresi (sn)			
	GA	GANNLK	TA	TANNLK	GA	GANNLK	TA	TANNLK	GA	GANNLK	TA	TANNLK
100	7935	7691	9066	7786	3,17	0,00	17,88	1,24	80	70	97	86
150	11851	11451	13720	11506	3,49	0,00	19,82	0,48	199	198	215	193
250	19150	18805	22050	18821	1,84	0,00	17,26	0,09	404	350	466	354
300	22948	22846	26236	22918	0,45	0,00	14,84	0,32	480	422	541	531

Tablo 6.32: ÇV-P-MOV Dağıtım Stratejisi İçin Sezgisel Yöntemlerinin Karşılaştırılması

VERİ SETİ	Uygunluk Değeri (sn)				En İyi Çözümünden Sapma Değeri (%)				Hesaplama Süresi (sn)			
	GA	GANNLK	TA	TANNLK	GA	GANNLK	TA	TANNLK	GA	GANNLK	TA	TANNLK
100	8091	7707	9058	7792	4,98	0,00	17,53	1,10	81	73	99	90
150	11882	11481	13824	11511	3,49	0,00	20,41	0,26	198	190	222	196
250	19218	18812	22089	18826	2,16	0,00	17,42	0,07	406	351	461	384
300	23083	22853	26823	22918	1,01	0,00	17,37	0,28	481	430	535	470

Çalışma kapsamında geliştirilen en iyi sezgisel yöntemin (GANNLK), ÇV-P-MOY ve ÇV-P-MOV dağıtım stratejilerine göre karşılaştırmaları Tablo 6.33’de sunulmuştur. Genel olarak, ÇV-P-MOY dağıtım stratejisinin, ÇV-P-MOV dağıtım stratejisine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 6.33: ÇV-P-MOY ve ÇV-P-MOV Dağıtım Stratejilerinin Karşılaştırılması

VERİ SETİ	Uygunluk Değeri (sn)		En İyi Çözümde Sapma Değeri (%)		Hesapla Süresi(sn)	
	ÇV-P-MOV	ÇV-P-MOY	ÇV-P-MOV	ÇV-P-MOY	ÇV-P-MOV	ÇV-P-MOY
100	7707	7691	0,21	0,00	73	70
150	11481	11451	0,26	0,00	190	198
250	18812	18805	0,04	0,00	351	350
300	22853	22846	0,03	0,00	430	422

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, konteyner elleçleme süresinin minimizasyonu için en yakın komşu yaklaşımı kullanılan GA ve TA esaslı yöntemler önerilmiştir. Günümüzde birbiri ile etkileşim içerisinde olan problemlere çözüm geliştirmek için bütünlük çözüm üreten yaklaşımlar ortaya konmaktadır. İstif vinçlerinin konteynerlere elleçleme operasyonu için atanması ve rotalama yapılması birbiri ile ilişkili ve NP-Zor sınıfında yer alan problemler olduğu için GA ve TA ile bütünlük En Yakın Komşu (NN) ve Lin-Kernighan (L-K) sezgiselleri kullanılarak (GANLK, TANLK) bu iki probleme eş zamanlı olarak çözüm aranmıştır. Konteyner terminallerinin yönetim stratejilerine bağlı olmakla birlikte müşteriler arasında önceliklendirme yapılarak elleçleme operasyonları yürütülmektedir.

Literatürdeki istif vinci çizelgeleme problemleri incelendiğinde genel olarak, istif vincinin yatay konumdaki hareketi dikkate alınmış diğer iki boyutta operatörün hareketi dolayısıyla harcadığı süre dikkate alınmamıştır. Literatürde ilk defa müşteriler arasındaki öncelik bağı ve istif vincinin bütün boyutlardaki hareketleri dikkate alınarak daha gerçekçi çözümler aranmıştır. Bu durumlardan daha önemli olarak paylaşımlı ve serbest dağıtım kuralları (çift vinç için) tek vinç dağıtım kurallarıyla karşılaştırılarak çözüm aranmıştır. Geliştirilen yöntemler, başlangıç çözümünün oluşturulması/geliştirilmesi, problemlere eş zamanlı olarak çözüm sunması ve dağıtım stratejilerinin tümüne birden uygulanması açısından literatürde ilktir. Çalışmada, çift katmanlı kromozom yapısı kullanılarak önce boşaltma daha sonra yükleme operasyonları uygulanmıştır. Çift katmanlı kromozom yapısı yine istif vinci çizelgeleme problemlerine ilk defa geliştirilmiştir. Kromozom üst katmanı konteynerleri ve bağlı bulunduğu müşteri grubunu gösterirken, alt katman konteynerlere atanan istif vinci göstermektedir. Konteynerlerin farklı operasyon türü (boşaltma/yükleme) uygulanmaması, farklı istif vinci tarafından elleçlenmemesi için (paylaşımlı stratejiler) tamir stratejileri kullanılmıştır.

Önerilen yöntemlerde kullanılacak GA ve TA parametre setlerinin belirlenmesi için Tekyönlü Varyans Analizi gerçekleştirilmiştir. En iyi parametre setinin

belirlenmesinin ardından farklı veri setleri (konteyner filo büyüklükleri) için dağıtım stratejileri ve geliştirilen sezgisel yöntemler analiz edilmiştir. En iyi dağıtım stratejisi ve çözüm yöntemine karar vermek amacıyla Çok Yönlü Varyans Analizi kullanılmıştır. Dağıtım stratejilerinin ve geliştirilen sezgisellerin etkileşimleri bu sayede incelenmiştir. GA, NN ve L-K sezgisellerinin birleşiminden oluşan GANNLK yöntemi GA, TA yöntemlerinden %0,45 ile %20,41 arasında değişen oranlarda daha iyi sonuçlar üretmiştir. TA, NN ve L-K sezgisellerinin birleşiminden oluşan TANNLK yöntemi GA, TA yöntemlerinden %0,13 ile %20,09 arasında değişen oranlarda daha iyi sonuçlar üretmiştir. Genel olarak GA ve TA sezgisellerinden geliştirilen yeni GANNLK ve TANNLK sezgisellerinin hem çözüm kalitesi hem de çözüm süresi bakımından ayrı ayrı GA ve TA' ya göre daha iyi olduğu istatistiksel olarak ortaya konmuştur. GANNLK yöntemi kullanılarak elde edilen çözümlerin süresinin diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında daha kısa olduğu görülmektedir. Geliştirilen GANNLK ve TANNLK yöntemleri birer sezgisel olarak değerlendirildiğinde, performans kriterleri açısından çizelgeleme problemlerinde etkin sonuçlar üreteceği görülmektedir.

Çift vinç paylaşımli saha stratejisinin, serbest saha stratejilerine göre daha iyi sonuçlar verdiği deneyler sonucunda ulaşılmıştır (Tablo 6.23, 6.25, 6.27, 6.29). Bu durumu paylaşımli saha stratejilerinde istif vincinin daha dar bir alanda hareket etmesinden kaynaklandığıyla açıklayabiliriz. Dünyadaki büyük otomatikleştirilmiş konteyner terminallerinde paylaşımli saha stratejileri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Diğer taraftan müşteri önceliği kuralının dağıtım stratejileriyle birlikte uygulanması sonucunda genel olarak müşterilerin önceliklendirilmeden elleçleme operasyonunun uygulanması toplam elleçleme süresini daha kısa tuttuğu tercih edilmelidir. ÇV-P-MOY ve ÇV-P-MOV dağıtım stratejileri karşılaştırıldığında ÇV-P-MOY dağıtım stratejisi ÇV-P-MOV' dan %0,03 ile %0,26 arasında değişen oranlarda daha iyi sonuçlar üretmiştir. Farkların bu çalışmadaki sayısal küçüklüğüne bakılmaksızın, her gün on binlerce konteynerin elleçlendiği liman terminallerinde bu fark büyük maliyet tasarruflarına neden olmaktadır. Diğer yandan bu iki elleçleme stratejisinin en iyi çözüm yöntemine (GANNLK) göre, çözüm süreleri arasında anlamlı bir fark olmamakla beraber ÇV-P-MOY stratejisi daha düşük çözüm süresi sunabilir.

Tek vinç dağıtım stratejilerinin kullanılması konteyner terminallerinde taşıyıcı araçların bekleme sürelerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle hem elleçleme süresinin hem de taşıyıcı araçların bekleme sürelerinin kısaltılması açısından çift vinç dağıtım stratejilerini uygulamak daha avantajlıdır.

Deneylede kullanılan konteyner listelerinin büyüklükleri düşünöldüğünde, geliştirilen yöntemlerin gerçek sistemlere de uygulanabileceği görölmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar için konteyner terminalinde birden fazla istif bloğu üzerinde elleçleme operasyonlarının çizelgelenmesi düşünölmektedir. Bu sayede taşıyıcı araçlar ve rıhtım vinci ile daha gerçekçi sistemler analiz edilebilecektir. Konteyner terminalinde maliyetleri azaltmak adına elleçleme ekipmanlarının daha etkin kullanılması için yeni stratejiler geliştirilmesi düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Acarer, Ü.**, 1997: Türkiye'nin Dış Ticaret Yüklerinin Taşınmasında Kombine Ulaşım Sisteminin Uygulanabilirliği ve Bu Amaçla Kullanılacak Bir Konteyner Gemisinin Maliyet Analizi , İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Akoğlu, K.**, 2006: Konteyner Limanının Depolama Sahasının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
- Altınçubuk, F.**, 2000: Liman İdare ve İşletmesi, İstanbul ve Marmara, Ege, Akdeniz Bölgeleri Deniz Ticaret Odası, İstanbul, Yayın No:12.
- Bartan, D.**, 2007: Konteyner Terminallerinde Performans Değerlendirmesi ve İzmir Alsancak Limanı Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bayar, S.**, 2005: Veri Zarflama Analizi Kullanılarak Liman Verimliliğinin Ölçülmesi: Türk Limanlarından Bir Örnek , İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bazzazi, M., Safaei, N., Javadian, N.**, 2009: A Genetic Algorithm to Solve the Storage Space Allocation Problem in a container terminal, *Computers & Industrial Engineering*, 56, 44–52.
- Beasley, D; Bull, D. R., Martin, R. R.** 1993: *An Overview of Genetic Algorithms: Part 2*, Research Topics. University Computing, 15: 4, 170-181
- Bish, E. K.**, 2003: A Multiple-Mrane-Constrained Scheduling Problem In a Container Terminal, *European Journal of Operational Research*, 144, 83–107.
- Bjorndal, M. H., Caprara, A., Cowling, P. I.**, 1995: Some thoughts on combinatorial optimization, *European Journal of Operational Research*, 83, 253-270.
- Blum, C., and Roli, A.**, 2003: Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison, *ACM Computing Surveys*, 35 (3), 268-308.
- Branch, E. A.**, 1986: Elements Of Port Operation And Management, New York, Chapman And Hall Lth.,
- Bruzzone, A. and Signorille, R.**, 1998: Simulation and genetic algorithms for ship planning and shipyard layout, *Simulation*, No: 71 (2), 74-83.

- Cao, J. X., Lee, D. H., Chen, J. H., Shi, Q.,** 2010: The Integrated Yard Truck and Yard Crane Scheduling Problem: Bender's Decomposition-Based Methods, *Transportation Research Part E*, 46, 344–353.
- Castilho, B. D., Daganzo, C. F.,** 1998: Handling strategies for import containers at marine terminals, *Transportation Research*, 27 (2), 151-166.
- Chang D., Jiang Z., Yan W., He J.,** 2011: Developing a dynamic rolling-horizon decision strategy for yard crane scheduling, *Advanced Engineering Informatics*, 25, 485-494.
- Chen, L., Bostel, N., Dejax, P., Cai, J., Xi, L.,** 2007: A Tabu Search Algorithm For the Integrated Scheduling Problem of Container Handling Systems in a Maritime Terminal. *European Journal of Operational Research*, Volume 181, Issue 1, 40-58.
- Christofides, N., Mingozzi A., Toth, P.,** 1980: Exact Algorithms for the TSP with Additional Constraints , Euro-4 Cong. Cambridge, England.
- Colin, R. R.,** 1995: Modern Heuristic Techniques For Combinatorial Problems, London, *McGraw – Hill*.
- Cura, T.,** 2006: Tabu Arama Algoritması İle Tek Makine Programlama Probleminin Çözümü, İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İstanbul.
- Elver, Ö.,** 2009: Konteyner Alanlarında Stok Alanlarının Yerleşim Düzenlerinin Simülasyon ile Analizi , Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Lisans Bitirme Tezi, Denizli.
- Eren, H.,** 2002: Akılsız Çözüm Problemlerinin Genetik Algoritma (GA) İle Çözüm Performansının Artırılmasında Deney Tasarımı Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Erol V.,** 2006: Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fisher, M. L. and Jaikumar, R. A.,** 1981: Generalised Assignment Heuristic for Vehicle Routing, *Networks*, 11, 109-124.
- Fogel, L. J., Owens, A. J., Walsh, M. J.,** 1966: Artificial Intelligence Through Simulated Evolution. John Wiley, New York, 170.
- Gen, M. and Cheng, R.,** 1997: Genetic Algorithms and Engineering Design, *John Willey&Sons*, New York, 436.
- Gillet, B. and Miller, L. A.,** 1974: Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem, *Operations Research*, 22, 340-349.
- Goldberg, D. E.,** 1989: Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley, Reading.
- Guo, X., Huang, S. Y., Hsu, W. J., Low, M. H. Y.,** 2011: Dynamic yard crane dispatching in container terminals with predicted vehicle arrival information, *Advanced Engineering Informatics*, 25, 472–484.
- Güler N.,** 1991: IMO Liman Lojistiği kurs+ özel model kurs, 5.02 Çevirisi, İstanbul.

- Haupt, R. L. and Haupt S. E.,** 2004: Practical Genetic Algorithms, New Jersey: Second edition, Jhon Wiley & Sons Inc.
- He, J., Chang, D., Mi, W., Yan, W.,** 2010: A Hybrid Paralel Genetic Algorithm For Yard Crane Scheduling, *Transportation Research Part E* 46, 136–155.
- Hertz, A., Widmer, M.,** 2004: Guidelines For The Use Of Meta-Heuristics In Combinatorial Optimization, *European Journal of Operation Research*, 151, 247-252.
- Holland, J. H.,** 1975: Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Javanshir H., Ganji S. R. S.,** 2008: Yard Crane Scheduling in Port Container Terminals Using Genetic Algorithm, *J. Ind. Eng. Int.*, 6, 39-50.
- Kara, G.,** 2010: Limanlar ve Terminaller: Konteyner Limanları ve Yükleme-Boşaltma Araçları, İstanbul Üniversitesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Karaboğa, D.,** 2004: *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, Atlas Yayın Dağıtım, Çağaloğlu, İstanbul.
- Kemme, N.,** 2011: Effects of storage block layout and automated yard crane systems on the performance of seaport container terminals, *OR Spectrum*, 34, 563–591.
- Kim, K. H., Lee, K. M. and Hwang H.,** 2003: Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals, *Int. J. Production Economics*, 84, 283–292.
- Kulak, O.,** 2007: Sezgisel Yöntemler ve Uygulamaları Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli.
- Kulak, O., Yilmaz, I. O., Günther H. O.,** 2008: A GA-based solution approach for balancing printed circuit board assembly lines. *OR Spectrum*, 30: 3, 469–491.
- Kurt, M., Semetay, C.,** 2001: Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları. Mühendis ve Makina, 42: 501, 19-24.
- Lau, H. Y. K., Zhao, Y.,** 2008: Integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals. *Int. J. Production Economics*, 112-2, 665-682.
- Leitch, D. D.,** 1995: A New Genetic Algorithm for the Evolution of Fuzzy Systems. Doktora Tezi, University Of Oxford.
- Li, W., Goh, M., Wu, Y., Petering, M. E. H., Souza, R., Wu, Y.C.,** 2012: A continuous time model for multiple yard crane scheduling with last minute job arrivals, *Int. J. Production Economics*, 136, 332–343.
- Li, W., Wu, Y., Petering, M. E. H., Goh, M., Souza, R.,** 2009: Discrete Time Model and Algorithms For Container Yard Crane Scheduling, *European Journal of Operational Research*, 198, 165–172.
- Mak, K.L., Sun, D.,** 2009: Scheduling Yard Cranes in a Container Terminal Using a New Genetic Approach, *Engineering Letters*, 17: 4, 1-7.

- Meng, Q., Cao, Z., Lee, D. H.,** 2008: Deployment Strategies of Double-Rail-Mounted Gantry Crane Systems For Loading Outbound Containers in Container Terminals, *Int. J. Production Economics*, 115, 221– 228.
- Murty, K. G., Liu, J., Wan, Y. and Linn, R.,** 2005: A decision support system for operations in a container terminal, *Decision Support Systems*, 39, 309–332.
- Ng, W. C., Mak, K. L.,** 2005: Yard Crane Scheduling in Port Container Terminals, *Applied Mathematical Modelling*, 29, 263–276.
- Özdamar, K.,** 2004: *Paket Programlar İle İstatistiksel Analiz-1*, Kaan Kitabevi, Genişletilmiş 5. Baskı, Eskişehir, 649.
- Öztürk, E.,** 2007: Konteynerize Yük Taşımacılığı ve Marmara Bölgesi Projeksiyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Özyılmaz, M.,** 2007: *Konteyner Bilgi Notu, Gemi Acenteliği Eğitimleri*, İMEAK Deniz Ticaret Odası İzmir Şubesi, İzmir.
- Rechenberg, I.,** 1973: Evolution strategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Fromman-Holzboog Verlag, Stuttgart, 170.
- Schwefel, H. P.,** 1981: *Numerical Optimization of Computer Models*. John Wiley & Sons, New-York., 398.
- Stenken, D., Voß, S., Stahlbock, R.,** 2004: Container terminal operation and operations research – a classification and literature review, *OR Spectrum* 26, 3-49.
- Şahin, Y.,** 2009: Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Bir Model, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Takel, R., E.,** 1983: Planning Land Use In Port Areas: Getting the Most Out Of Port Infrastructure, *UNCTAD Monograph On Port Management*.
- Taleb-Ibrahimi, B. D. Castilho, C. F. D.,** Storage space vs. handling work in container terminals, *Transportation Research Part B*, 27, 1993, 13-32.
- Taner, M. E.,** 2009: Bir Konteyner Terminalinde Taşıma Operasyonlarının Simülasyon İle Analizi, Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Lisans Bitirme Tezi, Denizli.
- Url-1** <<http://www.kalmarind.com/show.php?id=967>>, alındığı tarih 25.04.2011.
- Url-2** <<http://www.manbw.com/files/news/files/4672/P9028.pdf>>, alındığı tarih 10.06.2011.
- Url-3** <<http://www.persemerotasi.com/2012/02/konteyner-ellecmeleri-artti-geneLKargo-dustu/>>, alındığı tarih 10.02.2012.
- Watanabe, I.,** 2004: Container Terminal Planning- a Theoretical Approach, *World Cargo News Press*.

- Wenying, Y., Junqing, S., Fenglian, L., Peng, Y., Mei, H., Meiling, F.,** 2010: A Novel Multi-RTGC Scheduling Problem Based on Genetic Algorithm, 978, *IEEE*, 1-6.
- Wilson, I. D., Roach, P. A., Ware, J. A.,** 2001: Container Stowage Pre-Planning: Using Search to Generate Solutions, a Case Study, *Elsevier, Knowledge Based Systems*, 14, 137-145.
- Yan, W., Huang, Y., Chang, D., He, J.,** 2011: An investigation into knowledge-based yard crane scheduling for container terminals, *Advanced Engineering Informatics*, 25, 462-471.
- Yercan, H. F.,** 1996: *Liman İşletmeciliği ve Yönetimi*, Mersin Deniz Ticaret Odası, Mersin.
- Yüksel, Y., Çevik, E.,** 2006: Liman Mühendisliği, *Deniz Mühendisliği Serisi*, No 3, 125.
- Zhang, C., Liu, J., Wan, Y., Murty, K. G., Linn, R. J.,** 2003: Storage Space Allocation in Container Terminals, *Transportation Research Part B: Methodological*, 37 (10), 883- 903.
- Zhang, C., Wan, Y., Liu, J., Linn, R. J.,** 2002: Dynamic Crane Deployment in Container Storage Yards, *Transportation Research Part B*, 36, 537–555.

EKLER

Ortam Verisi

Tarih	Sıra	Tarih	Sıra	Sıra	Müşteri
2012-06-02	2	2012-06-02	1	1	CU01
2012-06-02	1			2	CU02
				3	CU03
				4	CU04

Müşteri Önceliği: Yok Var

Deney Sayısı: 5

Hazırlık Süresi (s): 5

Plan Tipi: genetic

Popülasyon Büyüklüğü: 0 [100, 300]

Elitizm Oranı: 0 [10, 20]

Çaprazlama Tipi: [crossover, positionBased]

Çaprazlama Oranı: 0 [30, 90]

Kromozom Seçim Tipi: [rankWeighting, roulette]

Mutasyon Tipi: [inversion, rightRotation, leftRotation]

Mutasyon Oranı: 0 [5, 10]

Mutasyon Azalma Oranı: 0 [25, 50]

Sonlanma Oranı: 0 [0]

Sabit - c: 0 [0, 3]

En Uzun Süre (s): 0 [60]

Şekil B.1: GA - TA Parametrelerini Girme Ekranı

Konteyner Sahası

Kod	X	Y	Z	Tip
CZ1	5	6	20	shared

İstif Vinçleri

Kod	Park Yeri	Alanı (Z)	Hız X	Hız Y-dolu	Hız Y-boş	Hız Z
SC1	(0, 0, 0)	[1 - 10]	1.0	0.65	1.2	4.0
SC2	(0, 0, 11)	[11 - 20]	1.0	0.65	1.2	4.0

Şekil B.2: Ortam Verilerini Girme Ekranı

Limani İşlemleri

Dosya

İstif Sahası Planla

Parametreler | Sonuçlar | Çözüm | Tabu Çözümü | Çözüm Detayı | Çözüm Grafığı | Ortam Verisi | Test Verisi

Sahadaki Konteynerler

Kod	Müşteri	X	Y	Z
C1	CU01	1	4	1
C2	CU01	2	4	1
C3	CU02	3	4	1
C4	CU01	4	4	1
C5	CU01	5	4	1
C6	CU01	1	4	2
C7	CU01	2	4	2
C8	CU02	3	4	2
C9	CU01	4	4	2
C10	CU02	5	4	2
C11	CU03	1	4	3
C12	CU03	2	4	3
C13	CU03	3	4	3
C14	CU03	4	4	3
C15	CU02	5	4	3
C16	CU02	1	4	4
C17	CU02	2	4	4
C18	CU02	3	4	4
C19	CU01	4	4	4
C20	CU02	5	4	4
C21	CU01	1	4	5
C22	CU01	2	4	5
C23	CU02	3	4	5
C24	CU01	4	4	5
C25	CU01	5	4	5
C26	CU01	1	4	6
C27	CU01	2	4	6
C28	CU02	3	4	6
C29	CU01	4	4	6
C30	CU02	5	4	6

Eliminecek Konteynerler

Kod	Müşteri	X	Y	Z	İşlem
C7	CU01	2	4	2	unloading
C20	CU02	5	4	4	unloading
C28	CU02	3	4	6	unloading
C37	CU02	2	4	8	unloading
C51	CU06	1	4	11	unloading
C55	CU05	5	4	11	unloading
C64	CU04	4	4	13	unloading
C83	CU05	3	4	17	unloading
C100	CU05	5	4	20	unloading
C111	CU09	1	5	18	unloading
C124	CU07	4	5	16	unloading
C143	CU08	3	5	12	unloading
C162	CU10	2	5	8	unloading
C182	CU10	2	5	4	unloading
C192	CU12	2	5	2	unloading
C301	CU19	-1	-1	-1	loading
C302	CU19	-1	-1	-1	loading
C303	CU19	-1	-1	-1	loading
C304	CU19	-1	-1	-1	loading
C305	CU19	-1	-1	-1	loading
C306	CU20	-1	-1	-1	loading
C307	CU20	-1	-1	-1	loading
C308	CU20	-1	-1	-1	loading
C309	CU20	-1	-1	-1	loading
C310	CU20	-1	-1	-1	loading
C311	CU20	-1	-1	-1	loading
C312	CU20	-1	-1	-1	loading
C313	CU20	-1	-1	-1	loading
C314	CU20	-1	-1	-1	loading
C315	CU20	-1	-1	-1	loading

Şekil B.3: Test Verilerini Girme Ekranı

Limani İşlemleri

Dosya

İstif Sahası Planla

Parametreler | Sonuçlar | Çözüm | Tabu Çözümü | Çözüm Detayı | Çözüm Grafığı | Ortam Verisi | Test Verisi

Çözüm Detaylarını Göster | Çözümü Dışa Aktar

Deney	Uygunluk	Geçen Süre	Populasyon Büyü...	Elitizm Oranı	Çaprazlama Tipi	Çaprazlama Oranı	Kromozom Seçim...	Mutasyon Tipi	Mutasyon Oranı	Mutasyon Azalma...	Sonlanma Oranı	Sabit - c
2144	2648.203...	63680	300	10	oxOperator	50	roulette	leftRotation	10	25	0	0
2722	2648.203...	63973	300	10	positionBased	90	rankWeighting	leftRotation	5	25	0	0
879	2648.203...	64147	100	10	positionBased	90	roulette	inversion	10	50	0	3
2524	2648.203...	64666	300	10	positionBased	50	roulette	inversion	5	25	0	0
2285	2648.203...	64850	300	10	oxOperator	90	roulette	inversion	5	25	0	0
2499	2648.203...	64874	300	10	positionBased	50	rankWeighting	leftRotation	5	50	0	3
1938	2648.203...	65213	300	10	oxOperator	50	rankWeighting	inversion	5	50	0	3
3205	2648.203...	65249	300	20	oxOperator	90	rankWeighting	leftRotation	5	25	0	0
2294	2648.203...	65308	300	10	oxOperator	90	roulette	inversion	5	50	0	0
3134	2648.203...	65468	300	20	oxOperator	90	rankWeighting	inversion	5	50	0	0
2713	2648.203...	65628	300	10	positionBased	90	rankWeighting	rightRotation	10	50	0	0
2725	2648.203...	66289	300	10	positionBased	90	rankWeighting	leftRotation	5	25	0	0
2540	2648.203...	66499	300	10	positionBased	50	roulette	inversion	5	50	0	3
2941	2648.203...	67931	300	20	oxOperator	50	rankWeighting	rightRotation	10	25	0	0
3229	2648.203...	69495	300	20	oxOperator	90	rankWeighting	leftRotation	10	25	0	3
1416	2648.298...	61417	100	20	oxOperator	90	roulette	leftRotation	5	50	0	3
410	2648.298...	62463	100	10	oxOperator	90	roulette	rightRotation	5	25	0	3
2031	2648.298...	62867	300	10	oxOperator	50	rankWeighting	leftRotation	10	50	0	0
777	2648.298...	63909	100	10	positionBased	90	rankWeighting	rightRotation	5	50	0	3
2163	2648.298...	65084	300	10	oxOperator	90	rankWeighting	inversion	5	25	0	0
3273	2648.298...	66004	300	20	oxOperator	90	roulette	inversion	10	50	0	0
2814	2648.298...	68513	300	10	positionBased	90	roulette	rightRotation	5	50	0	0
2668	2648.298...	69115	300	10	positionBased	90	rankWeighting	inversion	10	25	0	3
14	2648.300...	22245	100	10	oxOperator	50	rankWeighting	inversion	5	50	0	0
12	2648.300...	23525	100	10	oxOperator	50	rankWeighting	inversion	5	50	0	0
45	2648.300...	24601	100	10	oxOperator	50	rankWeighting	rightRotation	5	25	0	0
74	2648.300...	26161	100	10	oxOperator	50	rankWeighting	rightRotation	10	50	0	0
52	2648.300...	31247	100	10	oxOperator	50	rankWeighting	rightRotation	5	50	0	0
91	2648.300...	32994	100	10	oxOperator	50	rankWeighting	leftRotation	5	50	0	0

Şekil B.4: Sonuçlara Ait Çözüm Detay Ekranı

Limn İşlemleri

Dosya

Istif Sahası Planla

Parametreler Sonuçlar Çözüm Tabu Çözümü Çözüm Detayı Çözüm Grafiği Ortam Verisi Test Verisi

Tekrar Yükle Detayları Göster Verileri Dışa Aktar

Tarih	Sıra	Ortam Tarihi	Ortam Sırası	Test Tarihi	Test Sırası	Plan Tipi	Deney Sayısı	Hazırlık Süresi
2012-06-02	1	2012-06-02	2	2012-06-02	1	nearestNeighbour	5	5

Şekil B.5: Sonuç Görüntüleme Ekranı

Limn İşlemleri

Dosya

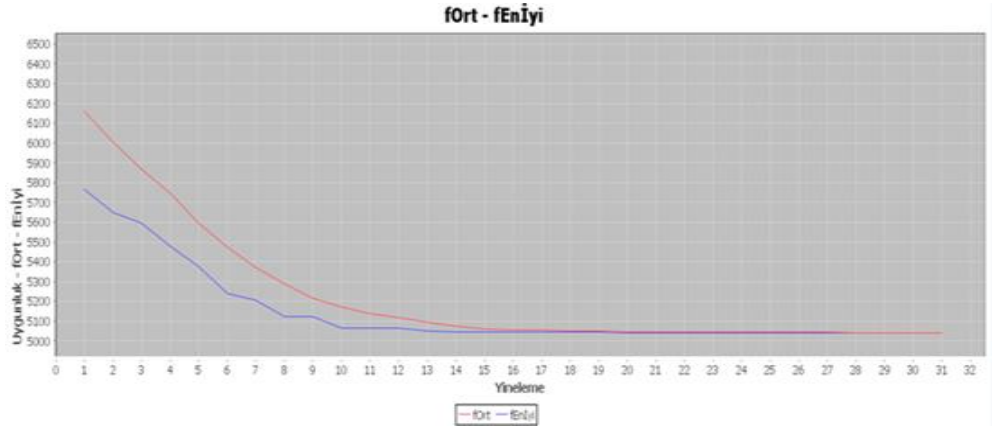
Istif Sahası Planla

Parametreler Sonuçlar Çözüm Tabu Çözümü Çözüm Detayı Çözüm Grafiği Ortam Verisi Test Verisi

Tarih - Sıra - Deney: 2012-06-02 - 1 - 2144 Uygunluk: 2648.203488

SC1				SC2			
Konteyner	Başlangıç	Hedef	İşlem	Konteyner	Başlangıç	Hedef	İşlem
Boş	(0, 0, 0)	(5, 4, 4)		Boş	(0, 0, 11)	(5, 4, 20)	
C20	(5, 4, 4)	(0, 6, 4)	unloading	Cl00	(5, 4, 20)	(0, 6, 20)	unloading
Boş	(0, 6, 4)	(0, 0, 4)		Boş	(0, 6, 20)	(0, 0, 20)	
Boş	(0, 0, 4)	(2, 4, 8)		Boş	(0, 0, 20)	(4, 4, 16)	
C37	(2, 4, 8)	(0, 6, 8)	unloading	C79	(4, 4, 16)	(5, 4, 20)	moved
Boş	(0, 6, 8)	(0, 0, 8)		Boş	(5, 4, 20)	(4, 5, 16)	
Boş	(0, 0, 8)	(2, 4, 4)		Cl24	(4, 5, 16)	(0, 6, 16)	unloading
Cl17	(2, 4, 4)	(5, 3, 10)	moved	Boş	(0, 6, 16)	(0, 0, 16)	
Boş	(5, 3, 10)	(2, 5, 4)		Boş	(0, 0, 16)	(4, 4, 13)	
Cl82	(2, 5, 4)	(0, 6, 4)	unloading	C64	(4, 4, 13)	(0, 6, 13)	unloading
Boş	(0, 6, 4)	(0, 0, 4)		Boş	(0, 6, 13)	(0, 0, 13)	
Boş	(0, 0, 4)	(2, 5, 8)		Boş	(0, 0, 13)	(3, 4, 17)	
Cl62	(2, 5, 8)	(0, 6, 8)	unloading	C83	(3, 4, 17)	(0, 6, 17)	unloading
Boş	(0, 6, 8)	(0, 0, 8)		Boş	(0, 6, 17)	(0, 0, 17)	
Boş	(0, 0, 8)	(3, 4, 6)		Boş	(0, 0, 17)	(1, 4, 18)	
C28	(3, 4, 6)	(0, 6, 6)	unloading	C86	(1, 4, 18)	(5, 3, 20)	moved
Boş	(0, 6, 6)	(0, 0, 6)		Boş	(5, 3, 20)	(1, 5, 18)	
Boş	(0, 0, 6)	(2, 4, 2)		Cl11	(1, 5, 18)	(0, 6, 18)	unloading
C7	(2, 4, 2)	(0, 6, 2)	unloading	Boş	(0, 6, 18)	(0, 0, 18)	
Boş	(0, 6, 2)	(0, 0, 2)		Boş	(0, 0, 18)	(3, 4, 12)	
Boş	(0, 0, 2)	(2, 5, 2)		C38	(3, 4, 12)	(5, 2, 20)	moved
Cl92	(2, 5, 2)	(0, 6, 2)	unloading	Boş	(5, 2, 20)	(3, 5, 12)	
Boş	(0, 6, 2)	(0, 0, 2)		Cl43	(3, 5, 12)	(0, 6, 12)	unloading
Boş	(0, 0, 2)	(0, 2, 6)		Boş	(0, 6, 12)	(0, 0, 12)	
C310	(0, 2, 6)	(5, 2, 10)	loading	Boş	(0, 0, 12)	(5, 4, 11)	
Boş	(5, 2, 10)	(0, 0, 10)		C55	(5, 4, 11)	(0, 6, 11)	unloading
Boş	(0, 0, 10)	(0, 10, 6)		Boş	(0, 6, 11)	(0, 0, 11)	

Şekil B.6: Çözüm Detayı Görüntüleme Ekranı



Şekil B.7: Çözüm Grafiği Görüntüleme Ekranı

Tablo A.1: Örnek 100 Konteyner İçin Müşteri Grupları ve Koordinatları

Konteyner	Müşteri	Koordinatlar			Durum *
		X	Y	Z	
C1	CU01	1	4	1	0
C2	CU01	2	4	1	0
C3	CU02	3	4	1	1
C4	CU01	4	4	1	0
C5	CU01	5	4	1	0
C6	CU01	1	4	2	1
C7	CU01	2	4	2	0
C8	CU02	3	4	2	1
C9	CU01	4	4	2	0
C10	CU02	5	4	2	1
C11	CU03	1	4	3	1
C12	CU03	2	4	3	0
C13	CU03	3	4	3	1
C14	CU03	4	4	3	0
C15	CU02	5	4	3	0
C16	CU02	1	4	4	1
C17	CU02	2	4	4	0
C18	CU02	3	4	4	1
C19	CU01	4	4	4	0
C20	CU02	5	4	4	1
C21	CU01	1	4	5	0
C22	CU01	2	4	5	0
C23	CU02	3	4	5	1
C24	CU01	4	4	5	0
C25	CU01	5	4	5	0
C26	CU01	1	4	6	1
C27	CU01	2	4	6	0
C28	CU02	3	4	6	0
C29	CU01	4	4	6	0
C30	CU02	5	4	6	1
C31	CU03	1	4	7	1
C32	CU03	2	4	7	0
C33	CU03	3	4	7	1
C34	CU03	4	4	7	0
C35	CU02	5	4	7	0
C36	CU02	1	4	8	0
C37	CU02	2	4	8	0
C38	CU02	3	4	8	1
C39	CU01	4	4	8	0

C40	CU02	5	4	8	0
C41	CU01	1	4	9	1
C42	CU01	2	4	9	0
C43	CU02	3	4	9	1
C44	CU01	4	4	9	0
C45	CU01	5	4	9	0
C46	CU01	1	4	10	1
C47	CU01	2	4	10	0
C48	CU02	3	4	10	1
C49	CU01	4	4	10	0
C50	CU02	5	4	10	0
C51	CU06	1	4	11	0
C52	CU06	2	4	11	1
C53	CU06	3	4	11	0
C54	CU06	4	4	11	0
C55	CU05	5	4	11	1
C56	CU05	1	4	12	0
C57	CU05	2	4	12	1
C58	CU05	3	4	12	0
C59	CU04	4	4	12	0
C60	CU05	5	4	12	1
C61	CU04	1	4	13	0
C62	CU04	2	4	13	0
C63	CU05	3	4	13	1
C64	CU04	4	4	13	0
C65	CU04	5	4	13	0
C66	CU04	1	4	14	1
C67	CU04	2	4	14	0
C68	CU05	3	4	14	1
C69	CU04	4	4	14	0
C70	CU05	5	4	14	0
C71	CU06	1	4	15	1
C72	CU06	2	4	15	0
C73	CU06	3	4	15	1
C74	CU06	4	4	15	0
C75	CU05	5	4	15	0
C76	CU05	1	4	16	1
C77	CU05	2	4	16	0
C78	CU05	3	4	16	1
C79	CU04	4	4	16	0
C80	CU05	5	4	16	0
C81	CU04	1	4	17	1
C82	CU04	2	4	17	0

C83	CU05	3	4	17	1
C84	CU04	4	4	17	0
C85	CU04	5	4	17	1
C86	CU04	1	4	18	1
C87	CU04	2	4	18	0
C88	CU05	3	4	18	1
C89	CU04	4	4	18	0
C90	CU05	5	4	18	0
C91	CU06	1	4	19	0
C92	CU06	2	4	19	1
C93	CU06	3	4	19	0
C94	CU06	4	4	19	1
C95	CU05	5	4	19	0
C96	CU05	1	4	20	1
C97	CU05	2	4	20	0
C98	CU05	3	4	20	1
C99	CU04	4	4	20	0
C100	CU05	5	4	20	0
C101	CU07	1	5	20	0
C102	CU07	2	5	20	0
C103	CU08	3	5	20	0
C104	CU07	4	5	20	0
C105	CU07	5	5	20	0
C106	CU07	1	5	19	0
C107	CU07	2	5	19	1
C108	CU08	3	5	19	0
C109	CU07	4	5	19	0
C110	CU08	5	5	19	0
C111	CU09	1	5	18	0
C112	CU09	2	5	18	0
C113	CU09	3	5	18	0
C114	CU09	4	5	18	0
C115	CU08	5	5	18	0
C116	CU08	1	5	17	0
C117	CU08	2	5	17	0
C118	CU08	3	5	17	1
C119	CU07	4	5	17	0
C120	CU08	5	5	17	0
C121	CU07	1	5	16	0
C122	CU07	2	5	16	0
C123	CU08	3	5	16	0
C124	CU07	4	5	16	0
C125	CU07	5	5	16	0
C126	CU07	1	5	15	1
C127	CU07	2	5	15	0

C128	CU08	3	5	15	0
C129	CU07	4	5	15	0
C130	CU08	5	5	15	0
C131	CU09	1	5	14	0
C132	CU09	2	5	14	1
C133	CU09	3	5	14	0
C134	CU09	4	5	14	0
C135	CU08	5	5	14	0
C136	CU08	1	5	13	0
C137	CU08	2	5	13	0
C138	CU08	3	5	13	1
C139	CU07	4	5	13	0
C140	CU08	5	5	13	0
C141	CU07	1	5	12	0
C142	CU07	2	5	12	0
C143	CU08	3	5	12	0
C144	CU07	4	5	12	0
C145	CU07	5	5	12	0
C146	CU07	1	5	11	0
C147	CU07	2	5	11	0
C148	CU08	3	5	11	0
C149	CU07	4	5	11	0
C150	CU08	5	5	11	0
C151	CU12	1	5	10	0
C152	CU12	2	5	10	0
C153	CU12	3	5	10	0
C154	CU12	4	5	10	0
C155	CU11	5	5	10	0
C156	CU11	1	5	9	0
C157	CU11	2	5	9	0
C158	CU11	3	5	9	1
C159	CU10	4	5	9	0
C160	CU11	5	5	9	0
C161	CU10	1	5	8	0
C162	CU10	2	5	8	0
C163	CU11	3	5	8	1
C164	CU10	4	5	8	0
C165	CU10	5	5	8	0
C166	CU10	1	5	7	0
C167	CU10	2	5	7	0
C168	CU11	3	5	7	1
C169	CU10	4	5	7	0
C170	CU11	5	5	7	0
C171	CU12	1	5	6	0
C172	CU12	2	5	6	0

C173	CU12	3	5	6	0
C174	CU12	4	5	6	0
C175	CU11	5	5	6	0
C176	CU11	1	5	5	0
C177	CU11	2	5	5	0
C178	CU11	3	5	5	1
C179	CU10	4	5	5	0
C180	CU11	5	5	5	0
C181	CU10	1	5	4	0
C182	CU10	2	5	4	0
C183	CU11	3	5	4	1
C184	CU10	4	5	4	0
C185	CU10	5	5	4	0
C186	CU10	1	5	3	0
C187	CU10	2	5	3	0
C188	CU11	3	5	3	0
C189	CU10	4	5	3	0
C190	CU11	5	5	3	0
C191	CU12	1	5	2	0
C192	CU12	2	5	2	0
C193	CU12	3	5	2	0
C194	CU12	4	5	2	0
C195	CU11	5	5	2	0
C196	CU11	1	5	1	1
C197	CU11	2	5	1	0
C198	CU11	3	5	1	0
C199	CU10	4	5	1	0
C200	CU11	5	5	1	0
C201	CU13	1	6	1	0
C202	CU13	2	6	1	0
C203	CU14	3	6	1	0
C204	CU13	4	6	1	0
C205	CU13	5	6	1	0
C206	CU13	1	6	2	0
C207	CU13	2	6	2	0
C208	CU14	3	6	2	0
C209	CU13	4	6	2	0
C210	CU14	5	6	2	0
C211	CU15	1	6	3	0
C212	CU15	2	6	3	0
C213	CU15	3	6	3	0
C214	CU15	4	6	3	0
C215	CU14	5	6	3	0
C216	CU14	1	6	4	0
C217	CU14	2	6	4	0

C218	CU14	3	6	4	0
C219	CU13	4	6	4	0
C220	CU14	5	6	4	0
C221	CU13	1	6	5	0
C222	CU13	2	6	5	0
C223	CU14	3	6	5	0
C224	CU13	4	6	5	0
C225	CU13	5	6	5	0
C226	CU13	1	6	6	0
C227	CU13	2	6	6	0
C228	CU14	3	6	6	0
C229	CU13	4	6	6	0
C230	CU14	5	6	6	0
C231	CU15	1	6	7	0
C232	CU15	2	6	7	0
C233	CU15	3	6	7	0
C234	CU15	4	6	7	0
C235	CU14	5	6	7	0
C236	CU14	1	6	8	0
C237	CU14	2	6	8	0
C238	CU14	3	6	8	0
C239	CU13	4	6	8	0
C240	CU14	5	6	8	0
C241	CU13	1	6	9	0
C242	CU13	2	6	9	0
C243	CU14	3	6	9	0
C244	CU13	4	6	9	0
C245	CU13	5	6	9	0
C246	CU13	1	6	10	0
C247	CU13	2	6	10	0
C248	CU14	3	6	10	0
C249	CU13	4	6	10	0
C250	CU14	5	6	10	0
C251	CU16	1	6	11	0
C252	CU16	2	6	11	0
C253	CU16	3	6	11	0
C254	CU16	4	6	11	0
C255	CU18	5	6	11	0
C256	CU18	1	6	12	0
C257	CU18	2	6	12	0
C258	CU18	3	6	12	0
C259	CU17	4	6	12	0
C260	CU18	5	6	12	0
C261	CU17	1	6	13	0
C262	CU17	2	6	13	0

C263	CU18	3	6	13	0
C264	CU17	4	6	13	0
C265	CU17	5	6	13	0
C266	CU17	1	6	14	0
C267	CU17	2	6	14	0
C268	CU18	3	6	14	0
C269	CU17	4	6	14	0
C270	CU18	5	6	14	0
C271	CU16	1	6	15	0
C272	CU16	2	6	15	0
C273	CU16	3	6	15	0
C274	CU16	4	6	15	0
C275	CU18	5	6	15	0
C276	CU18	1	6	16	0
C277	CU18	2	6	16	0
C278	CU18	3	6	16	0
C279	CU17	4	6	16	0
C280	CU18	5	6	16	0
C281	CU17	1	6	17	0
C282	CU17	2	6	17	0
C283	CU18	3	6	17	0
C284	CU17	4	6	17	0
C285	CU17	5	6	17	0
C286	CU17	1	6	18	0
C287	CU17	2	6	18	0
C288	CU18	3	6	18	0
C289	CU17	4	6	18	0
C290	CU18	5	6	18	0
C291	CU16	1	6	19	0
C292	CU16	2	6	19	0
C293	CU16	3	6	19	0
C294	CU16	4	6	19	0
C295	CU18	5	6	19	0
C296	CU18	1	6	20	0
C297	CU18	2	6	20	0
C298	CU18	3	6	20	0
C299	CU17	4	6	20	0
C300	CU18	5	6	20	0
C301	CU19	-1	-1	-1	2
C302	CU19	-1	-1	-1	2
C303	CU19	-1	-1	-1	2
C304	CU19	-1	-1	-1	2
C305	CU19	-1	-1	-1	2
C306	CU19	-1	-1	-1	2
C307	CU19	-1	-1	-1	2

C308	CU19	-1	-1	-1	2
C309	CU19	-1	-1	-1	2
C310	CU19	-1	-1	-1	2
C311	CU19	-1	-1	-1	2
C312	CU19	-1	-1	-1	2
C313	CU19	-1	-1	-1	2
C314	CU19	-1	-1	-1	2
C315	CU19	-1	-1	-1	2
C316	CU19	-1	-1	-1	2
C317	CU19	-1	-1	-1	2
C318	CU19	-1	-1	-1	2
C319	CU19	-1	-1	-1	2
C320	CU19	-1	-1	-1	2
C321	CU19	-1	-1	-1	2
C322	CU19	-1	-1	-1	2
C323	CU19	-1	-1	-1	2
C324	CU19	-1	-1	-1	2
C325	CU19	-1	-1	-1	2
C326	CU20	-1	-1	-1	2
C327	CU20	-1	-1	-1	2
C328	CU20	-1	-1	-1	2
C329	CU20	-1	-1	-1	2
C330	CU20	-1	-1	-1	2
C331	CU20	-1	-1	-1	2
C332	CU20	-1	-1	-1	2
C333	CU20	-1	-1	-1	2
C334	CU20	-1	-1	-1	2
C335	CU20	-1	-1	-1	2
C336	CU20	-1	-1	-1	2
C337	CU20	-1	-1	-1	2
C338	CU20	-1	-1	-1	2
C339	CU20	-1	-1	-1	2
C340	CU20	-1	-1	-1	2
C341	CU20	-1	-1	-1	2
C342	CU20	-1	-1	-1	2
C343	CU20	-1	-1	-1	2
C344	CU20	-1	-1	-1	2
C345	CU20	-1	-1	-1	2
C346	CU20	-1	-1	-1	2
C347	CU20	-1	-1	-1	2
C348	CU20	-1	-1	-1	2
C349	CU20	-1	-1	-1	2
C350	CU20	-1	-1	-1	2

Tablo A.2: 100 Konteyner GANNLK Yöntemi ÇV-P-MÖV Stratejisi Çizelgesi

Uygunluk : 7690.542639	C30 (5, 4, 6) (0, 6, 6) Boşaltma
İstif Vinci : SC1	Boş (0, 6, 6) (0, 0, 6)
Rota :	Boş (0, 0, 6) (3, 4, 7)
Boş (0, 0, 0) (5, 4, 4)	C33 (3, 4, 7) (0, 6, 7) Boşaltma
C20 (5, 4, 4) (0, 6, 4) Boşaltma	Boş (0, 6, 7) (0, 0, 7)
Boş (0, 6, 4) (0, 0, 4)	Boş (0, 0, 7) (3, 4, 3)
Boş (0, 0, 4) (3, 4, 4)	C13 (3, 4, 3) (0, 6, 3) Boşaltma
C18 (3, 4, 4) (0, 6, 4) Boşaltma	Boş (0, 6, 3) (0, 0, 3)
Boş (0, 6, 4) (0, 0, 4)	Boş (0, 0, 3) (1, 4, 4)
Boş (0, 0, 4) (3, 4, 9)	C16 (1, 4, 4) (0, 6, 4) Boşaltma
C43 (3, 4, 9) (5, 3, 10) Geçici Elleçleme	Boş (0, 6, 4) (0, 0, 4)
Boş (5, 3, 10) (3, 5, 9)	Boş (0, 0, 4) (3, 4, 9)
C158 (3, 5, 9) (0, 6, 9) Boşaltma	C43 (3, 4, 9) (0, 6, 9) Boşaltma
Boş (0, 6, 9) (0, 0, 9)	Boş (0, 6, 9) (0, 0, 9)
Boş (0, 0, 9) (3, 4, 5)	Boş (0, 0, 9) (3, 5, 5)
C23 (3, 4, 5) (0, 6, 5) Boşaltma	C178 (3, 5, 5) (0, 6, 5) Boşaltma
Boş (0, 6, 5) (0, 0, 5)	Boş (0, 6, 5) (0, 0, 5)
Boş (0, 0, 5) (3, 4, 8)	Boş (0, 0, 5) (3, 4, 8)
C38 (3, 4, 8) (5, 2, 10) Geçici Elleçleme	C38 (3, 4, 8) (0, 6, 8) Boşaltma
Boş (5, 2, 10) (3, 5, 8)	Boş (0, 6, 8) (0, 0, 8)
C163 (3, 5, 8) (0, 6, 8) Boşaltma	Boş (0, 0, 8) (1, 4, 7)
Boş (0, 6, 8) (0, 0, 8)	C31 (1, 4, 7) (0, 6, 7) Boşaltma
Boş (0, 0, 8) (1, 4, 10)	Boş (0, 6, 7) (0, 0, 7)
C46 (1, 4, 10) (0, 6, 10) Boşaltma	Boş (0, 0, 7) (3, 4, 2)
Boş (0, 6, 10) (0, 0, 10)	C8 (3, 4, 2) (0, 6, 2) Boşaltma
Boş (0, 0, 10) (3, 4, 10)	Boş (0, 6, 2) (0, 0, 2)
C48 (3, 4, 10) (0, 6, 10) Boşaltma	Boş (0, 0, 2) (3, 5, 7)
Boş (0, 6, 10) (0, 0, 10)	C168 (3, 5, 7) (0, 6, 7) Boşaltma
Boş (0, 0, 10) (1, 4, 6)	Boş (0, 6, 7) (0, 0, 7)
C26 (1, 4, 6) (0, 6, 6) Boşaltma	Boş (0, 0, 7) (1, 4, 3)
Boş (0, 6, 6) (0, 0, 6)	C11 (1, 4, 3) (0, 6, 3) Boşaltma
Boş (0, 0, 6) (1, 4, 9)	Boş (0, 6, 3) (0, 0, 3)
C41 (1, 4, 9) (0, 6, 9) Boşaltma	Boş (0, 0, 3) (3, 5, 4)
Boş (0, 6, 9) (0, 0, 9)	C183 (3, 5, 4) (0, 6, 4) Boşaltma
Boş (0, 0, 9) (5, 4, 2)	Boş (0, 6, 4) (0, 0, 4)
C10 (5, 4, 2) (0, 6, 2) Boşaltma	Boş (0, 0, 4) (1, 4, 2)
Boş (0, 6, 2) (0, 0, 2)	C6 (1, 4, 2) (0, 6, 2) Boşaltma
Boş (0, 0, 2) (1, 4, 1)	Boş (0, 6, 2) (0, 0, 2)
C1 (1, 4, 1) (5, 1, 10) Geçici Elleçleme	Boş (0, 0, 2) (3, 4, 1)
Boş (5, 1, 10) (1, 5, 1)	C3 (3, 4, 1) (0, 6, 1) Boşaltma
C196 (1, 5, 1) (0, 6, 1) Boşaltma	Boş (0, 6, 1) (0, 0, 1)
Boş (0, 6, 1) (0, 0, 1)	Boş (0, 0, 1) (0, 1, 6)
Boş (0, 0, 1) (5, 4, 6)	C336 (0, 1, 6) (5, 3, 9) Yükleme

Boş (5, 3, 9) (0, 0, 9)
Boş (0, 0, 9) (0, 9, 6)
C314 (0, 9, 6) (5, 2, 9) Yükleme
Boş (5, 2, 9) (0, 0, 9)
Boş (0, 0, 9) (0, 9, 6)
C341 (0, 9, 6) (5, 1, 9) Yükleme
Boş (5, 1, 9) (0, 0, 9)
Boş (0, 0, 9) (0, 9, 6)
C322 (0, 9, 6) (5, 3, 8) Yükleme
Boş (5, 3, 8) (0, 0, 8)
Boş (0, 0, 8) (0, 8, 6)
C327 (0, 8, 6) (5, 2, 8) Yükleme
Boş (5, 2, 8) (0, 0, 8)
Boş (0, 0, 8) (0, 8, 6)
C312 (0, 8, 6) (5, 1, 8) Yükleme
Boş (5, 1, 8) (0, 0, 8)
Boş (0, 0, 8) (0, 8, 6)
C349 (0, 8, 6) (5, 3, 7) Yükleme
Boş (5, 3, 7) (0, 0, 7)
Boş (0, 0, 7) (0, 7, 6)
C304 (0, 7, 6) (5, 2, 7) Yükleme
Boş (5, 2, 7) (0, 0, 7)
Boş (0, 0, 7) (0, 7, 6)
C326 (0, 7, 6) (5, 1, 7) Yükleme
Boş (5, 1, 7) (0, 0, 7)
Boş (0, 0, 7) (0, 7, 6)
C313 (0, 7, 6) (5, 4, 6) Yükleme
Boş (5, 4, 6) (0, 0, 6)
Boş (0, 0, 6) (0, 6, 6)
C325 (0, 6, 6) (5, 3, 6) Yükleme
Boş (5, 3, 6) (0, 0, 6)
Boş (0, 0, 6) (0, 6, 6)
C315 (0, 6, 6) (5, 2, 6) Yükleme
Boş (5, 2, 6) (0, 0, 6)
Boş (0, 0, 6) (0, 6, 6)
C334 (0, 6, 6) (5, 1, 6) Yükleme
Boş (5, 1, 6) (0, 0, 6)
Boş (0, 0, 6) (0, 6, 6)
C348 (0, 6, 6) (5, 3, 5) Yükleme
Boş (5, 3, 5) (0, 0, 5)
Boş (0, 0, 5) (0, 5, 6)
C302 (0, 5, 6) (5, 2, 5) Yükleme
Boş (5, 2, 5) (0, 0, 5)
Boş (0, 0, 5) (0, 5, 6)
C303 (0, 5, 6) (5, 1, 5) Yükleme

Boş (5, 1, 5) (0, 0, 5)
Boş (0, 0, 5) (0, 5, 6)
C332 (0, 5, 6) (5, 4, 4) Yükleme
Boş (5, 4, 4) (0, 0, 4)
Boş (0, 0, 4) (0, 4, 6)
C345 (0, 4, 6) (5, 3, 4) Yükleme
Boş (5, 3, 4) (0, 0, 4)
Boş (0, 0, 4) (0, 4, 6)
C340 (0, 4, 6) (5, 2, 4) Yükleme
Boş (5, 2, 4) (0, 0, 4)
Boş (0, 0, 4) (0, 4, 6)
C331 (0, 4, 6) (5, 1, 4) Yükleme
Boş (5, 1, 4) (0, 0, 4)
Boş (0, 0, 4) (0, 4, 6)
C307 (0, 4, 6) (5, 3, 3) Yükleme
Boş (5, 3, 3) (0, 0, 3)
Boş (0, 0, 3) (0, 3, 6)
C308 (0, 3, 6) (5, 2, 3) Yükleme
Boş (5, 2, 3) (0, 0, 3)
Boş (0, 0, 3) (0, 3, 6)
C301 (0, 3, 6) (5, 1, 3) Yükleme
Boş (5, 1, 3) (0, 0, 3)
Boş (0, 0, 3) (0, 3, 6)
C323 (0, 3, 6) (5, 4, 2) Yükleme
Boş (5, 4, 2) (0, 0, 2)
Boş (0, 0, 2) (0, 2, 6)
C305 (0, 2, 6) (5, 3, 2) Yükleme
Boş (5, 3, 2) (0, 0, 2)
Boş (0, 0, 2) (0, 2, 6)
C318 (0, 2, 6) (5, 2, 2) Yükleme
Boş (5, 2, 2) (0, 0, 2)
Boş (0, 0, 2) (0, 2, 6)
C311 (0, 2, 6) (5, 1, 2) Yükleme
Boş (5, 1, 2) (0, 0, 2)
Boş (0, 0, 2) (0, 2, 6)
C347 (0, 2, 6) (5, 3, 1) Yükleme
Boş (5, 3, 1) (0, 0, 1)
Boş (0, 0, 1) (0, 1, 6)
C324 (0, 1, 6) (5, 2, 1) Yükleme
Boş (5, 2, 1) (0, 0, 1)
Boş (0, 0, 1) (0, 1, 6)
C317 (0, 1, 6) (5, 1, 1) Yükleme
Boş (5, 1, 1) (0, 0, 1)
Boş (0, 0, 1) (0, 1, 6)
C333 (0, 1, 6) (4, 3, 10) Yükleme

Boş (4, 3, 10) (0, 0, 10)
Boş (0, 0, 10) (0, 10, 6)
C335 (0, 10, 6) (4, 2, 10) Yükleme
Boş (4, 2, 10) (0, 0, 10)
Boş (0, 0, 10) (0, 10, 6)
C329 (0, 10, 6) (4, 1, 10) Yükleme
Boş (4, 1, 10) (0, 0, 10)
Boş (0, 0, 10) (0, 10, 6)
C342 (0, 10, 6) (4, 3, 9) Yükleme
Boş (4, 3, 9) (0, 0, 9)
Boş (0, 0, 9) (0, 9, 6)
C343 (0, 9, 6) (4, 2, 9) Yükleme
Boş (4, 2, 9) (0, 0, 9)
Boş (0, 0, 9) (0, 9, 6)
C316 (0, 9, 6) (4, 1, 9) Yükleme
Boş (4, 1, 9) (0, 0, 9)
Boş (0, 0, 9) (0, 9, 6)
C306 (0, 9, 6) (4, 3, 8) Yükleme
Boş (4, 3, 8) (0, 0, 8)
Boş (0, 0, 8) (0, 8, 6)
C321 (0, 8, 6) (4, 2, 8) Yükleme
Boş (4, 2, 8) (0, 0, 8)
Boş (0, 0, 8) (0, 8, 6)
C320 (0, 8, 6) (4, 1, 8) Yükleme
Boş (4, 1, 8) (0, 0, 8)
Boş (0, 0, 8) (0, 8, 6)
C319 (0, 8, 6) (4, 3, 7) Yükleme
Boş (4, 3, 7) (0, 0, 7)
Boş (0, 0, 7) (0, 7, 6)
C328 (0, 7, 6) (4, 2, 7) Yükleme
Boş (4, 2, 7) (0, 0, 7)
Boş (0, 0, 7) (0, 7, 6)
C338 (0, 7, 6) (4, 1, 7) Yükleme
Boş (4, 1, 7) (0, 0, 7)
Boş (0, 0, 7) (0, 7, 6)
C344 (0, 7, 6) (4, 3, 6) Yükleme
Boş (4, 3, 6) (0, 0, 6)
Boş (0, 0, 6) (0, 6, 6)
C310 (0, 6, 6) (4, 2, 6) Yükleme
Boş (4, 2, 6) (0, 0, 6)
Boş (0, 0, 6) (0, 6, 6)
C309 (0, 6, 6) (4, 1, 6) Yükleme
Boş (4, 1, 6) (0, 0, 6)
Boş (0, 0, 6) (0, 6, 6)
C346 (0, 6, 6) (4, 3, 5) Yükleme

Boş (4, 3, 5) (0, 0, 5)
Boş (0, 0, 5) (0, 5, 6)
C337 (0, 5, 6) (4, 2, 5) Yükleme
Boş (4, 2, 5) (0, 0, 5)
Boş (0, 0, 5) (0, 5, 6)
C330 (0, 5, 6) (4, 1, 5) Yükleme
Boş (4, 1, 5) (0, 0, 5)
Boş (0, 0, 5) (0, 5, 6)
C350 (0, 5, 6) (4, 3, 4) Yükleme
Boş (4, 3, 4) (0, 0, 4)
Boş (0, 0, 4) (0, 4, 6)
C339 (0, 4, 6) (4, 2, 4) Yükleme
Boş (4, 2, 4) (0, 0, 4)
Boş (0, 0, 4) (0, 0, 0)
İstif Vinci : SC2
Rota :
Boş (0, 0, 11) (1, 4, 14)
C66 (1, 4, 14) (0, 6, 14) Boşaltma
Boş (0, 6, 14) (0, 0, 14)
Boş (0, 0, 14) (1, 4, 18)
C86 (1, 4, 18) (0, 6, 18) Boşaltma
Boş (0, 6, 18) (0, 0, 18)
Boş (0, 0, 18) (1, 4, 20)
C96 (1, 4, 20) (0, 6, 20) Boşaltma
Boş (0, 6, 20) (0, 0, 20)
Boş (0, 0, 20) (2, 4, 19)
C92 (2, 4, 19) (0, 6, 19) Boşaltma
Boş (0, 6, 19) (0, 0, 19)
Boş (0, 0, 19) (3, 4, 15)
C73 (3, 4, 15) (0, 6, 15) Boşaltma
Boş (0, 6, 15) (0, 0, 15)
Boş (0, 0, 15) (3, 4, 18)
C88 (3, 4, 18) (0, 6, 18) Boşaltma
Boş (0, 6, 18) (0, 0, 18)
Boş (0, 0, 18) (1, 4, 15)
C71 (1, 4, 15) (0, 6, 15) Boşaltma
Boş (0, 6, 15) (0, 0, 15)
Boş (0, 0, 15) (3, 4, 17)
C83 (3, 4, 17) (0, 6, 17) Boşaltma
Boş (0, 6, 17) (0, 0, 17)
Boş (0, 0, 17) (3, 4, 13)
C63 (3, 4, 13) (0, 6, 13) Boşaltma
Boş (0, 6, 13) (0, 0, 13)
Boş (0, 0, 13) (2, 4, 14)
C67 (2, 4, 14) (5, 3, 20) Geçici Elleçleme

Boş (5, 3, 20) (2, 5, 14)
C132 (2, 5, 14) (0, 6, 14) Boşaltma
Boş (0, 6, 14) (0, 0, 14)
Boş (0, 0, 14) (3, 4, 14)
C68 (3, 4, 14) (0, 6, 14) Boşaltma
Boş (0, 6, 14) (0, 0, 14)
Boş (0, 0, 14) (5, 4, 17)
C85 (5, 4, 17) (0, 6, 17) Boşaltma
Boş (0, 6, 17) (0, 0, 17)
Boş (0, 0, 17) (3, 4, 16)
C78 (3, 4, 16) (0, 6, 16) Boşaltma
Boş (0, 6, 16) (0, 0, 16)
Boş (0, 0, 16) (1, 4, 17)
C81 (1, 4, 17) (0, 6, 17) Boşaltma
Boş (0, 6, 17) (0, 0, 17)
Boş (0, 0, 17) (3, 4, 20)
C98 (3, 4, 20) (0, 6, 20) Boşaltma
Boş (0, 6, 20) (0, 0, 20)
Boş (0, 0, 20) (3, 5, 17)
C118 (3, 5, 17) (0, 6, 17) Boşaltma
Boş (0, 6, 17) (0, 0, 17)
Boş (0, 0, 17) (2, 5, 19)
C107 (2, 5, 19) (0, 6, 19) Boşaltma
Boş (0, 6, 19) (0, 0, 19)

Boş (0, 0, 19) (1, 4, 16)
C76 (1, 4, 16) (0, 6, 16) Boşaltma
Boş (0, 6, 16) (0, 0, 16)
Boş (0, 0, 16) (4, 4, 19)
C94 (4, 4, 19) (0, 6, 19) Boşaltma
Boş (0, 6, 19) (0, 0, 19)
Boş (0, 0, 19) (5, 4, 11)
C55 (5, 4, 11) (0, 6, 11) Boşaltma
Boş (0, 6, 11) (0, 0, 11)
Boş (0, 0, 11) (1, 5, 15)
C126 (1, 5, 15) (0, 6, 15) Boşaltma
Boş (0, 6, 15) (0, 0, 15)
Boş (0, 0, 15) (3, 5, 13)
C138 (3, 5, 13) (0, 6, 13) Boşaltma
Boş (0, 6, 13) (0, 0, 13)
Boş (0, 0, 13) (2, 4, 12)
C57 (2, 4, 12) (0, 6, 12) Boşaltma
Boş (0, 6, 12) (0, 0, 12)
Boş (0, 0, 12) (5, 4, 12)
C60 (5, 4, 12) (0, 6, 12) Boşaltma
Boş (0, 6, 12) (0, 0, 12)
Boş (0, 0, 12) (2, 4, 11)
C52 (2, 4, 11) (0, 6, 11) Boşaltma
Boş (0, 6, 11) (0, 0, 11)

* 0: Sahada konteyner var ama elleçlenmeyecek

1: Sahada konteyner var ve boşaltılacak

2: Sahada konteyner yok ama yüklenecek

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mehmet Ulaş KOYUNCUOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: Gürün – 10.02.1990

Adres: Pamukkale Üniversitesi, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı Kınıklı/DENİZLİ

Lisans Üniversitesi: Pamukkale Üniversitesi

Yayın Listesi:

KULAK, O., TANER, M.E., **KOYUNCUOĞLU, M.U.**, CERİT, B. 2010., Bir Konteynır Terminalinde Taşıyıcı Araç Tiplerinin Karşılaştırılması, ÜAS'10, Girne.

KOYUNCUOĞLU, M.U., POLAT, O., TANER, M.E., KULAK, O. 2011., Dolgu Tipi Konteynır Terminalleri İçin AGV Dağıtım Uygulamaları, YA\EM'11 Kongresi, Sakarya.

KOYUNCUOĞLU, M.U., SUPÇİLLER, A.A., 2011., Dondurulmuş Gıda Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir Firmanın Tedarik Zinciri Dağıtım Ağı Stratejilerinin Simülasyon İle Analizi, 12. Uluslararası Ekonometri Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, Denizli.

GÜNGÖR, A., ÇAPRAZ, O., **KOYUNCUOĞLU, M.U.**, Bir Üniversite Kampus Alanının Engelli Dostluğu Düzeyinin Tespiti, 17. Ulusal Ergonomi Kongresi, Eskişehir.

KULAK, O., TANER, M.E., POLAT, O., **KOYUNCUOĞLU, M.U.**, 2011. AGV Applications for Short Sea Container Terminals, IX. International Logistics & Supply Chain Congress, İzmir.

KOYUNCUOĞLU, M.U., KULAK, O., POLAT, O., TANER, M.E., 2012. Yard Crane Scheduling by Using a Genetic Algorithm at Seaport Container Terminals, EURO Conferences XXV, Vilnius/Lithuania.

KOYUNCUOĞLU, M.U., KULAK, O., TANER, M.E., POLAT, O., 2012. A Novel Approach for Effective Solution of Yard Crane Scheduling at Seaport Container Terminals, International Conference on Logistics and Maritime Systems, University of Bremen/Germany.

TANER M.E., KULAK, O., POLAT, O., **KOYUNCUOĞLU, M.U., 2012.** Comparison of Various Layout Types at Short Sea Container Terminals, International Conference on Logistics and Maritime Systems, University of Bremen/Germany.

KOYUNCUOĞLU, M.U., KULAK, O., TANER, M.E., POLAT, O., 2012. Konteyner Terminallerinde İstif Vinçlerinin Etkin Çizelgelenmesine Yeni Bir Yaklaşım, ÜAS'12, İzmir.