



**uas12**  
Üretim Araştırmaları Sempozyumu

## **XII. ÜRETİM ARAřTIRMALARI SEMPOZYUMU**

### **EDİTÖRLER**

**İbrahim GÜRLER, Ozan ÇAKIR**

### **YAYINA HAZIRLAYANLAR**

**Mümin ÖZCAN, R. Altuğ TURAN**

**27 – 29 EYLÜL 2012**

**GEDİZ ÜNİVERSİTESİ SEYREK YERLEşKESİ**

**... BİLDİRİLER ...**

M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

## KONTEYNER TERMİNALLERİNDE İSTİF VİNÇLERİNİN ETKİN ÇİZELGELENMESİNE YENİ BİR YAKLAŞIM

M. Ulaş KOYUNCUOĞLU  
Pamukkale Üniversitesi,  
Endüstri Mühendisliği  
Bölümü

Osman KULAK  
Pamukkale Üniversitesi,  
Endüstri Mühendisliği  
Bölümü

M. Egemen TANER  
Pamukkale Üniversitesi,  
Endüstri Mühendisliği  
Bölümü

Olcay POLAT  
Pamukkale Üniversitesi,  
Endüstri Mühendisliği  
Bölümü

### ÖZET

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 araçlarının etkin kullanımı, terminal verimliliğini etkileyen önemli faktörlerdir. Depolama alanlarındaki işlemlerde kullanılan istif vinçlerinin çizelgelenmesi, terminal verimliliğinin artırılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, istif vinci çizelgelenmesinde (İVÇ) kullanılan, serbest ve paylaşımlı dağıtım kurallarına yeni bir yaklaşım sunulmuş; müşteri önceliği ve atama kuralları kombinasyonlu olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, bir veya birden fazla istif vincinin eş zamanlı olarak konteynerlere atanması ve rotalama problemlerinin (NP-Zor) çözümü için karma tamsayı matematiksel bir model, işlemlerin toplam tamamlanma süresini en küçüklemek amacıyla önerilmiştir. Genetik Algoritma ve geliştirme sezgiseli tabanlı bir yaklaşım kullanılarak çözümlenen modelin sonuçları istatistiksel analizleriyle sunulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** İstif Vinci Çizelgeleme, Konteyner Terminali, Genetik Algoritma

### A NOVEL APPROACH FOR EFFECTIVE SOLUTION OF YARD CRANE SCHEDULING AT SEAPORT CONTAINER TERMINALS

#### ABSTRACT

Conditions of competition in container terminals, which are the exit gates of the international networks of the container deployment tools, depend on the efficiency of these terminals. Effective use of the terminal equipments such as cranes in berths and in storage areas and the transporter vehicles between these two areas are the most important factors which affect the efficiency of the terminals. Yard Crane Scheduling (YCS) which are used in the operations generated in the storage areas has an important role in improving the efficiency of the terminals. In this paper, a new approach to free and restrictive deployment's rules, which is 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 operations, a mixed-integer linear mathematical model is proposed in order to solve the problems of assigning one or more yard cranes simultaneously and of routing. Results of this model, which is analyzed by using a genetic algorithm based approach, are presented with statistical analysis.

**Keywords:** Yard Crane Scheduling, Container Terminal, Genetic Algorithm

M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

## 1. GİRİŞ

Konteyner terminallerinde ihracat, ithalat ve transit taşımacılık olmak üzere üç tip taşımacılık ticareti yapılmaktadır. Konteyner terminalleri gemi yükleme-boşaltma alanları, bölümler arası taşıma alanları ve arka-iç stok alanları olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır. Gemi yükleme-boşaltma alanlarında rıhtım vinçleri ile konteynerlerin gemiye yüklenmesi ve boşaltılması işlemleri gerçekleştirir. Rıhtım vinci bir operatör aracılığıyla konteynerleri gemiden alarak, taşıma araçlarına yükler veya depolama alanından taşıma araçlarıyla gelen konteynerleri gemiye yükler. Terminallerde bu taşıma/depolama faaliyetlerinde çeşitli araçlar kullanılmaktadır.

Depolama alanında taşıyıcı araçlardan konteyner bloklarını alarak istif işlemlerini gerçekleştiren donanım, istif vinçleridir. İstif vinçleri aynı blok üzerinde “paylaşımlı” ve “serbest” dağıtım kurallarına göre işlemlerini sürdürebilmektedirler.

Bu çalışma ile amaçlanan; konteyner bloğu üzerinde çalışan istif vinçlerinin işlemlerini bir genetik algoritma tabanlı yaklaşım ile çözelgeleyerek, dağıtım kuralları ve müşteri öncelik kuralları uygulanarak en küçük toplam elleçleme süresine göre en iyi stratejiye karar verilmesidir. Bir konteyner bloğu üzerinde tek veya ikili istif vincinin yukarıda tanımlanan çözelgeleme yöntemlerine göre performansları ölçümlenmektedir. Bir konteyner bloğunun toplam elleçleme zamanının en küçüklemesi amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır.

Bu çalışma, genetik algoritmalar ve yapısal sezgisel-geliştirme sezgiselinin farklı kombinasyonları ile etkin çözümlerinin araştırılmasını kapsamaktadır. Başlangıç çözümü ise geliştirilen bir sezgisel yöntem aracılığıyla elde edilmektedir.

Çalışmanın ikinci başlığında konteyner ve konteyner terminali konuları ele alınmaktadır. Konteyner tanımı, türleri ve konteyner terminali donanım ve işlemleri bu başlık kapsamında açıklanmıştır. Üçüncü başlıkta istif vinçlerinin işlemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. İstif vinçlerinin dağıtım yöntemleri, konteynerlerin elleçlemede müşteri öncelik kuralları açıklanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca bu başlıkta çalışmanın matematiksel modeli algoritmasıyla birlikte yer almaktadır. Dördüncü başlıkta sezgisel yöntemler açıklanmıştır. Özellikle Genetik Algoritma (GA) ve çalışmada kullanılan yapısal ve geliştirme sezgiselleri elleçleme işlemlerine uyarlanarak sunulmuştur. Kullanılan kromozom yapısı, seçim, çaprazlama, mutasyon yöntemleri ve sonlandırma ölçütleri açıklanmaktadır. Beşinci başlıkta ise yapılan deneysel çalışmalar ile geliştirilen yöntemlerin ve İVÇ için tasarlanan senaryoların karşılaştırmaları sunulmuştur. Altıncı yani son başlıkta çalışmanın özeti verilerek sonuç ve öneriler sıralanmıştır.

## 2. KONTEYNER VE KONTEYNER TERMİNALİ

Konteyner kullanım alanları ve konteyner terminalinde gerçekleşen işlemler aşağıdaki bölümlerde tanımlanmıştır.

### 2.1. Konteynerlerin Kullanım Alanları ve Özellikleri

Günümüz deniz taşımacılığında genellikle 20 ft' 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 (Öztürk, 2007).

Konteyner kullanmanın sağladığı kolaylık ve yararları 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.

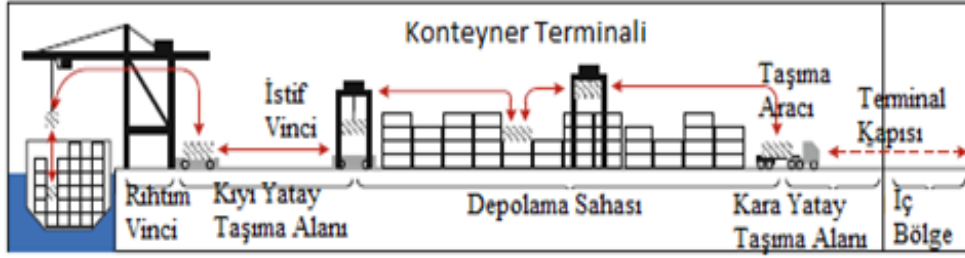
Konteynerler güvenilir, mal kaybını minimum düzeyde tutan, hava geçirmez, tehlikeli eşyaları taşıyabilecek/saklayabilecek; kilitlenebilir, bir alana katlarca yığılabılır ve bir defada çok çeşitli ve çok fazla yük taşıyabilecek biçimde tasarlanmış standart taşıma araçlarıdır.

### 2.2. Konteyner Terminalinde Gerçekleştirilen İşlemler

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

Şekil 1’de bir konteyner terminalinde gerçekleşen hizmetler, taşıma ve elleçleme işlemleri ile terminalde kullanılan genel taşıma araçları gösterilmiştir.

M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat



Şekil-1: Terminal Hizmetleri, İşlemleri ve Genel Taşıma Araçları

### 3. İSTİF VİNCİ İŞLEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ

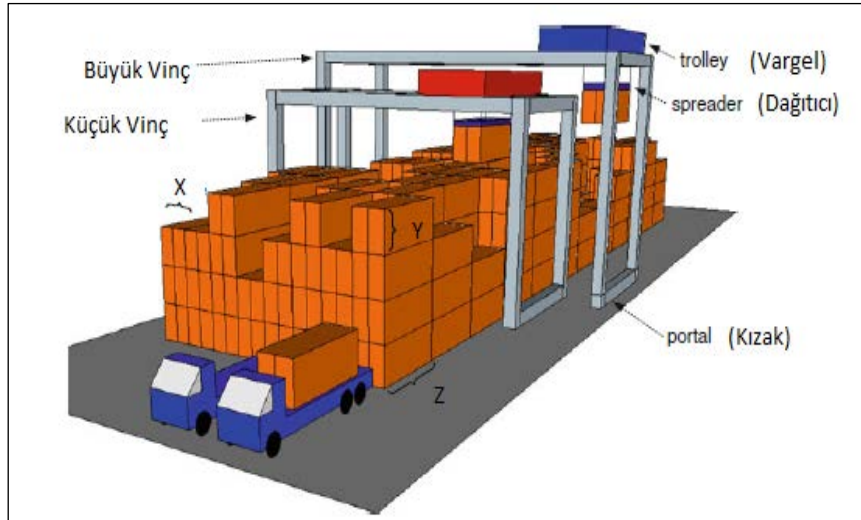
Konteyner bloğu üzerinde yükleme/boşaltma işlemlerini yürüten istif vinçlerinin işlemleri, çizelgeleme stratejileri ve çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel model aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

#### 3.1. İstif Vinçleri ve İstif Blokları

İstif vinci, bir konteyner terminalinde istif bloklarındaki konteynerleri kamyonlara ya da kamyonlardaki konteynerleri istif bloklarına transfer etmek için yararlanır (Kim ve diğ., 2003).

Otomatik konteyner terminallerinde Otomatik İstif Vinci (OİV) kullanılmaktadır ve özellikle bu donanım çalışmada ele alınan istif vinci türüdür. Vargel, dağıtıcı ve kızak istif vincinin temel öğeleridir 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 işlemler 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. İstif vincinin hızlarıyla ilgili bilgi matematiksel model kısmında verilecektir.



Şekil-2: İstif Bloğu ve İstif Vinçleri

#### 3.2. İstif Vinci Çizelgeleme

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 istif vinci çizelgeleme (İVÇ) olarak bilinmektedir.

Taşıyıcı araçlar türlerine göre fark etmekle birlikte genellikle konteynerleri depolama alanında aktarma noktalarına (transfer point) bırakırlar veya blok boyunca uzanan depolama alanı içinde ayrılmış alanda istif vincinin kolaylıkla elleçleyeceği bir noktaya taşıyarak beklerler. İstif vinçleri otomatik ise uzaktan

M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

kumanda aracılığıyla alanda aktif olarak hareket eder ve belirli bir konteyner sırasına göre yükleme/boşaltma işlemini yaparlar. Buradaki sıra müşterilerin önceliğine veya yükleme/boşaltma işlemlerinin kendi içindeki önceliğine göre belirlenebilmektedir. Konteyner bloğu üzerinde rastgele, önceden belirlenmiş veya en yakındaki alana konteyner istiflenir. Boşaltma işlemi 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 vinçleri aynı blok üzerinde *paylaşımlı* ve *serbest* dağıtım kurallarına göre işlemlerini 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 *paylaşımlı* dağıtım kuralıdır. Dünyadaki büyük otomatikleştirilmiş konteyner terminallerinde istif vinçlerinin serbest elleçleme işlemlerine daha sık rastlanmaktadır. Bu şekilde paylaşımlı elleçleme işlemine göre daha etkin elleçleme işlemlerinin gerçekleştirildiği düşünülmektedir.

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

- Tek İstif Vinci-Müşteri Gruplu (TV\_S\_MÖV)
- Tek İstif Vinci-Tek Müşteri (TV\_S\_MÖY)
- Paylaşımlı (Çift İstif Vinci)-Müşteri Gruplu (ÇV\_P\_MÖV)
- Paylaşımlı (Çift İstif Vinci)- Tek Müşteri (ÇV\_P\_MÖY)
- Serbest (Çift İstif Vinci)-Müşteri Gruplu (ÇV\_S\_MÖV)
- Serbest (Çift İstif Vinci)-Tek Müşteri (ÇV\_S\_MÖY)

### 3.3. Literatür Araştırması ve Özgün Değer

Konteyner terminallerinde istif vinçlerinin elleçleme işlemlerini sezgisel yöntemlerle çözelgeleyen 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 çözelgelemesi konusunda yapılan çalışmalara değinilmiştir:

Bish (2003), çalışmasında konteyner terminalindeki taşıyıcı araçların konteynerlere atanması ve yükleme-boşaltma işlemlerinin yürütüldüğü depolama alanındaki istif vinçlerini birlikte çözelgeleyerek 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.

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

Meng ve diğerleri (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, Tabu Arama (TA) kombinasyonundan TA Çaprazlama ve TA Mutasyon algoritmalarını geliştirmişlerdir. 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 diğerleri (2009), çalışmalarında İVÇ problemi için geliştirilen model ile vinçler arası paylaşımı dikkate alarak gerçekçi şekilde yükleme/boşaltma işlemlerini çözelgelemişlerdir. Önerilen modelin etkin



M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu sezgisel algoritma ve formülasyonun diğer problemler için de kullanılabilir esneklikte olduğunu belirtmişlerdir.

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

He ve diğerleri (2010), istif vinçlerinin çözümlenmesi için yeni bir strateji geliştirmeye çalışmışlardır. Bu amaçla, istif vinci çözümlenme problemi için nesnel programlama kullanarak dinamik bir çözümlenme modeli geliştirmişlerdir. İstif vinci çözümlenme 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 çözümlenme problemini sayısal deneylerin sonucunda verimli olarak çözdüğünü ortaya koymuşlardır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde hiçbir çalışma konteyner bloğu üzerinde üç koordinat boyunca hareketleri dikkate almamıştır. Sadece Z koordinatında hareketi baz alarak hesaplama yapılmıştır. Çalışmamızda geliştirilen yeni yaklaşımda; GA, sezgisel yöntemlerle (En Yakın Komşu, Lin-Kernighan) kombine uygulanarak yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Bu yeni yaklaşımın etkinliği yapılan istatistiksel testler sonucunda ortaya konulmuştur. Bu yeni yaklaşımın hem çözüm kalitesi hem de çözüm süresi açısından etkin sonuçlar vermesi, çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

### 3.4. Matematiksel Model

İstif vincinin çözümlenmesi için uygulanacak metotlara taban oluşturacak matematiksel model aşağıdaki gibidir.

*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 ≤ p, q ≤ P, Q ∧ p≠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 = elleçlenecek/elleçlenen toplam konteyner sayısı

$S_k = k$  istif vincinin dolu ve boş hızları ( $S_g = 240$  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 m müşteri grubundaki i konteynerini j işlemi olarak elleçlemesi için ayrı ayrı X,

Y, Z koordinatlarında 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;

$H_{ij}^{km} = k$  istif vincinin m müşteri grubundaki i konteynerini j işlemi olarak elleçlemesi için yaptığı hazırlık + taşıyıcı araç gecikme süresi;

$|X_k - X_{ij}^m| = k$  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;

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

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

M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

*Karar Değişkenleri;*

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

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

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

*Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar;*

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

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

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

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

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

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

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

Aşağıdaki varsayımlar problemin formülasyonu için sunulmuştur:

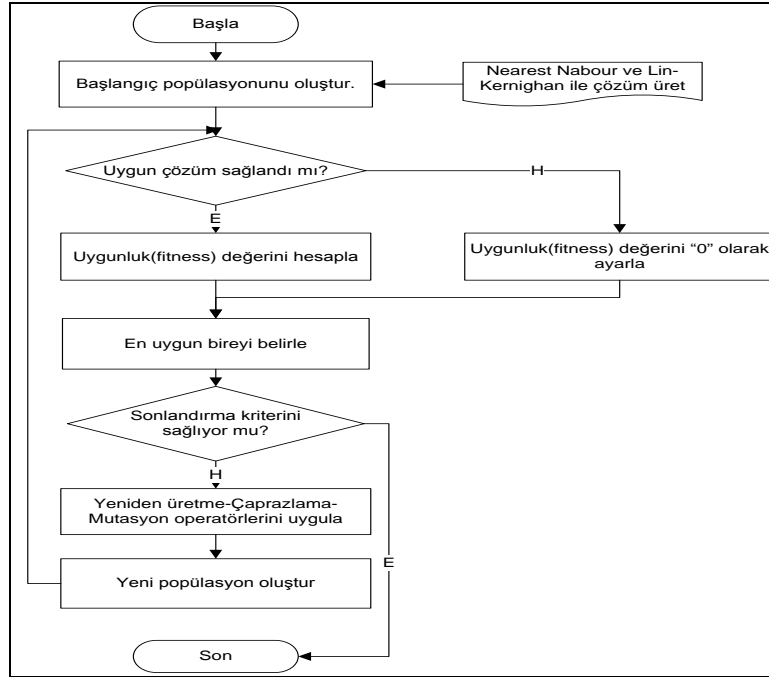
- (i) Her bir istif vincine bir konteyneri elleçlemeden önce sabit bir hazırlık süresi (5 sn.) tanımlanmıştır. Hazırlık süresi her elleçleme gerçekleşmeden önce işlem süresine eklenerek öncelik sırası belirlenmiştir.
- (ii) Elleçleme işlemi uygulanan bütün konteynerler 20 TEU boyutundadır.
- (iii) Taşıyıcı araçlar konteynerleri aktarma noktalarına bırakmakta ve yine aynı şekilde istif vinçleri boşaltma işlemi sırasında konteynerleri bu noktalardan almaktadırlar. Bu noktalar konteynerin boşaltma sırasında mevcut bulunduğu Z koordinatı hizasında istifleme alanı bitişiğinde istif vinci altındadır.
- (iv) Sadece bir blok üzerinden elleçleme yapılmaktadır. Öncelikle bloktaki boşaltılacak konteynerler elleçlenmekte daha sonra yüklemeler yapılmaktadır.

M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

#### 4. İSTİF VİNCİ ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLER İLE ÇÖZÜMÜ

Konteyner terminalinde istif vinçlerinin elleçleme işlemleri makine-parça rotalama/atama işlemlerine benzemektedir. İstif vinçlerinin konteynerleri hangi sırada ve hangi istif vinciyle elleçleyeceğine karar vermek NP-Zor problemdir.

Çalışmada En Yakın Komşu (Nearest Neighbor - NN) yapısal sezgiseli, Lin-Kernighan (L-K) geliştirme sezgiseli kullanılarak başlangıç popülasyonunun % 25 'i üretilmiştir. % 75 'lik kısım ise GA ile üretilip, GA operatörleri uygulanarak en iyi çözüm değeri aranmıştır. Geliştirilen GA tabanlı yaklaşımın akış diyagramı Şekil-3'de gösterilmiştir.



Şekil-3: Geliştirilen Genetik Algoritma Akış Diyagramı (Rotalama Geliştirme Sezgiselleri İle)

Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere kromozom çift katmanlıdır. Genetik algoritma operatörleri (çaprazlama, mutasyon) uygulanırken boşaltma ve yükleme işlemlerini ifade eden genlere ayrı ayrı uygulanarak yeni bireyler üretilmiştir.

Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Konteyner	4 <sub>(1)</sub>	3 <sub>(1)</sub>	1 <sub>(1)</sub>	7 <sub>(1)</sub>	5 <sub>(1)</sub>	6 <sub>(1)</sub>	2 <sub>(1)</sub>	9 <sub>(1)</sub>	12 <sub>(1)</sub>	13 <sub>(1)</sub>	8 <sub>(1)</sub>	11 <sub>(1)</sub>	10 <sub>(1)</sub>	14 <sub>(1)</sub>
İstif Vinci	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2
	Boşaltma							Yükleme						

Şekil-4: Çalışmada Kullanılan GA Kromozom Yapısı

Yukarıdaki örnek kromozom gösteriminde ilk 7 gen boşaltılacak 7 konteyneri, sonraki 7 gen ise yüklenecek konteynerleri ifade etmektedir. Konteyner terminalindeki stoklama alanında, konteyner bloğunun boyutları dolayısıyla öncelikle boşaltmalar yapılmalı daha sonra yüklemeler yapılmalıdır. Gen gösteriminde sıralama konteynerlerin zamana göre hangi sırayla, istif vinci ise hangi istif vinci tarafından elleçleneceğini göstermektedir. Örneğin; 4<sub>(1)</sub> gen parçası 4. konteynerin 1. müşteriye ait olduğunu göstermektedir. Çift katmanlı gen yapısında alttaki gen ise istif vinci göstermektedir. Her bir konteyner elleçlenmeden önce 5' er saniyelik hazırlık ve gecikme süresi sistemde tanımlanmıştır.



M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bir istif bloğu üzerinde hem tek istif vinci hem de çift istif vinci (paylaşımlı-serbest dağıtım kurallarıyla birlikte); müşteri önceliği kurallarına göre 30 ve 60 konteynerlik filo büyüklüklerine en kısa süreyi verecek stratejiye karar vermek üzere problemler çözümlenmiştir. İki farklı çözüm yöntemi uygulanmıştır. Bunlar; saf GA ve yapısal-geliştirme sezgiselleri ile bütünleşik GA' dır. Konteyner bloğunun boyutu 5x6x20' dir (600 konteyner) ve boşaltılacak veya yüklenecek konteynerler bu boyutların dışına taşmamışlardır. Mevcutta istif vinci bloğunda 300 konteyner vardır. 300 konteyner içinde 30 konteynerlik filo büyüklüğü için 15 boşaltma, 15 yükleme; 60 konteynerlik filo büyüklüğü için 30 boşaltma, 30 yükleme yapılacaktır. Bu konteynerler geliştirilen stratejilere göre fark etmekle birlikte farklı müşterilere ait olabilmektedir. Öncelikle boşaltılacak konteynerler belirlenerek test verileri için hazırlanmıştır. Paylaşımlı istif vinci dağıtım stratejisinin etkin çalışması için konteynerler olabildiğince blok üzerinde rastgele konumlandırılmıştır. Boşaltma işlemi tamamlandıktan sonra yüklenecek konteynerler için istif vinci, konteyneri aldığı konumdan en yakın/en uygun boş koordinata bırakmak için çalışacaktır.

Çalışmada problemi farklı yaklaşımlara göre çözecek program Java programlama dili ile kodlanmış ve hazırlanan program için kullanıcı dostu bir ara yüz tasarlanmıştır. En uygun parametrelerin belirlenmesi için 8 GB RAM belleği olan 1.60 GHz işlemcili standart bir bilgisayarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Ara yüz yardımıyla konteyner bloğuna ait özellikler, istif vincinin hareket alanı ve hızları, konteynerlerin bilgileri (istif bloğu üzerindeki konumu, hangi müşteriye ait olduğu vb.) ve genetik algoritmaya ait parametreler programa yüklenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca program ara yüzünden yeni yaklaşım stratejisi de belirlenebilmektedir (En Yakın Komşu + Lin-Kernighan). GA' da sonlandırma ölçütü, uygunluk değeri ortalamasının ( $F_{ort}$ ) en iyi çözüme ( $F_{eni}$ ) yaklaşması/eşitlenmesi ( $\approx 0$ ) olarak belirlenmiştir. Çünkü bazı deney setlerinde iterasyonların oluşma süreleri çok uzun olabilmektedir ve bu deneyler iyi çözüm üretmeyi garanti etmemektedir. Bu açıdan iterasyon sayısı ve zaman sonlandırma ölçütü olarak belirlenmemiştir.

Literatür incelemeleri sonucunda genellikle kullanılan ve iyi çözümler ürettiği matematiksel olarak ispatlanan GA parametreleri çalışmamızda kullanılmıştır. Her parametre türünün kombinasyonu için 5 deney yapılarak rastsallık sağlanmıştır.

Deneysel çalışma için hazırlanan konteyner listesinde (test verileri), yüklenecek ve boşaltılacak konteynerlerin konuları ve hangi müşteriye ait oldukları rastgele belirlenmiştir. GA parametreleri her bir strateji için ayrı ayrı kullanılarak 3840 deney yapılmıştır. Yani bütün stratejiler 30 ve 60 konteyner büyüklüğündeki problemler için  $3840 \times 2 = 7680$  deney yapılmıştır. Diğer taraftan istif vinci dağıtım kuralları ve müşteri öncelik kuralları ile birlikte  $7680 \times 6 = 46080$  deneye tabi tutulmuştur.

İVÇ problemi için geliştirilen yeni yaklaşımda senaryolar kullanılan yöntemler açısından da optimize edilmeye çalışılmıştır. Problem iki farklı yaklaşım ile çözüme kavuşturulmak istenmiştir. Birinci yaklaşımda, problem geliştirilen GA ile çözülmüş (başlangıç popülasyonunun % 100' ünün genetik operatörlerle rastgele üretmek), ikinci yaklaşımda ise, başlangıç popülasyonunu için belli oranda NN yapısal sezgiseli ile çözüm üretilmiş (% 25' i NN, % 75' i GA) ve bu çözümler L-K geliştirme sezgiseli ile iyileştirilerek GA operatörleri uygulanmıştır. Genel olarak ifade edilecek olursa; GANNLK olarak geliştirilen yeni yaklaşımın GA' ya göre etkinliği, istif vinci dağıtım yöntemleri ve müşteri öncelik kurallarına göre kombinasyonlu uygulanarak belirlenmiştir. Burada yeni yaklaşımın etkinliği ortaya konurken, aynı zamanda istifleme alanında hangi istif vinci dağıtım yönteminin ve müşteri öncelik kuralının daha etkin olduğu da istatistiksel olarak ortaya konmuştur. Yukarıda açıklanan yaklaşımlar ile birlikte toplam deney sayısı  $46080 \times 2 = 92160$ ' dir. Yapılan deneylere ait en iyi uygunluk değerleri ve bu uygun değerlerden (fitness) sapmalar aşağıdaki tablodaki gibidir (Tablo-1). Söz konusu deneyler, geliştirilen yazılıma ait başlangıç deneyleri olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarının iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

**Tablo-1:** Geliştirilen Stratejiler ve Kullanılan Yöntemlere Göre En İyi Uygunluk Değerinden Sapmalar (%)

En İyi Çözüm Değerleri		Yöntemler			
		GA		GANNLK	
		Konteyner Sayısı		Konteyner Sayısı	
		30	60	30	60
Stratejiler	ÇV_P_MÖV	% 5	% 3	% 1	% 0,8
	ÇV_P_MÖY	% 4	% 2	*	**
	ÇV_S_MÖV	% 43	% 28	% 32	% 23
	ÇV_S_MÖY	% 42	% 27	% 30	% 21
	TV_S_MÖV	% 44	% 32	% 41	% 25
	TV_S_MÖY	% 42	% 32	% 38	% 24

\* 30 konteyner için en iyi çözüm değeridir.

\*\* 60 konteyner için en iyi çözüm değeridir.

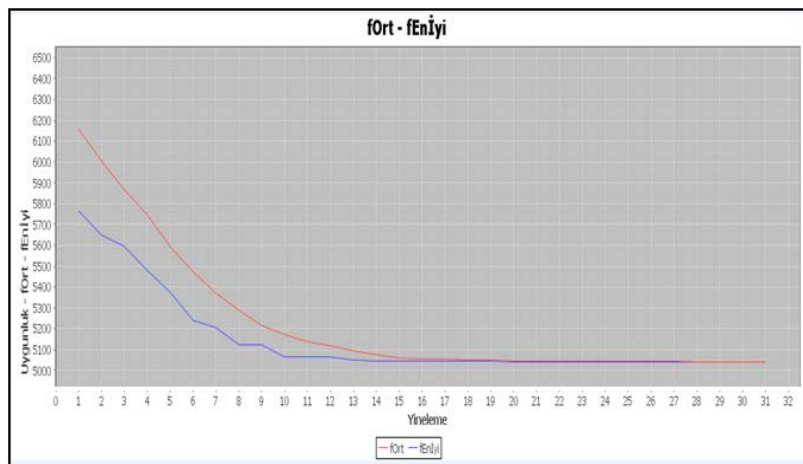
Yukarıdaki tabloda çift istif vinci stratejilerindeki en iyi uygun çözüm değerlerinin sapmalarında, iki vinci toplam elleçleme süresi toplanarak elde edilen sonuçlarla hesaplanmıştır.

Geliştirilen yeni yaklaşım ve stratejiler için en iyi çözümü veren parametreler; popülasyon büyüklüğü konteyner sayısının 10 katı, elit oranı % 10, kromozom seçim yöntemi Rulet Tekerleği, çaprazlama yöntemi Pozisyon Tabanlı, çaprazlama oranı % 90, mutasyon yöntemi Sağ Rotasyon, mutasyon oranı % 10, mutasyon azaltma oranı % 25, standart sapma katsayısı (c) 3, sonlanma oranı ise % 0 olarak belirlenmiştir. Bu değerler 30 ve 60 konteyner büyüklüğü ve yöntemler için ortak istatistiksel anlamlılık testleri yapılarak belirlenmiştir.

Yapılan deney sonuçları istatistiksel olarak analiz edildiğinde GA ve GANNLK yaklaşımları arasında çözüm kalitesi açısından anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. GANNLK yaklaşımı istatistiksel olarak GA' ya göre daha iyi uygunluk değeri üretmiştir. Deneyler SPSS paket programında analiz edilmiştir.

Stratejiler istatistiksel olarak analiz edildiğinde ÇV\_P\_MÖY stratejisinin ÇV\_S\_MÖV, ÇV\_S\_MÖY, TV\_S\_MÖV, TV\_S\_MÖY 'e göre daha iyi çözümler ürettiği görülmüştür. Yani konteyner terminalinde bir istif bloğu üzerinde iki istif vinci paylaşım alan planına göre çalıştığında elleçlenecek konteynerleri daha kısa sürede elleçlemektedir. Diğer taraftan ÇV\_P\_MÖY stratejisi ile ÇV\_P\_MÖV stratejisi arasında anlamlı bir fark olmamakla birlikte daha büyük filo büyüklüklerinde bu fark anlamlı olacağı düşünülmektedir. Paylaşım alan stratejisinin diğer stratejilere göre anlamlı şekilde daha iyi sonuçlar vermesini, istif bloğundaki konteynerleri elleçlemek için hareket eden istif vinci için daha kısıtlı alanda hareket etmelerinden kaynaklandığıyla açıklayabiliriz. Çünkü tek istif vinci aynı büyüklükteki istif bloğu üzerinde daha çok hareket etmektedir.

Geliştirilen stratejiler incelendiğinde (60 konteynerlik filo büyüklüğü için) ÇV\_P\_MÖY stratejisinin en iyi uygun çözüm değeri (amaç fonksiyonu) saniye ile en iyi strateji olarak belirlenmiştir (Şekil-5).



Şekil-5: ÇV\_P\_MÖY Stratejisine Göre  $F_{ort} - F_{eni}$  Uygunluk Değerleri

M.U. Koyuncuoğlu, O. Kulak, M. E. Taner, O. Polat

## 6.SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir istif bloğu üzerinde çalışan istif vinç(ler)inin konteynerleri elleçleme stratejileri üzerine durulmuştur. İstif vinci dağıtım kuralları ve müşteri öncelik kuralları kombine uygulanarak toplam elleçleme sürelerine göre; Genetik Algoritma, En Yakın Komşu ve Lin-Kernighan sezgisel yöntemleri ile geliştirilen bir yazılım aracılığıyla analiz edilmiştir. En küçük toplam elleçleme süresini veren stratejiye karar verilmesi için amaç fonksiyonu olan en iyi uygunluk değeri baz alınmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre rastgele belirlenen bir konteyner filo büyüklüğü için, çift vinç alan paylaşımlı dağıtım kuralı ve müşteri önceliğinin önemsenmemesi (müşteri önceliği yok) kuralı en iyi çözümü veren strateji olarak belirlenmiştir. Stratejileri karşılaştırırken kullanılan yöntemler incelendiğinde yine amaç fonksiyonu bazında değerlendirmeler yapılmıştır. Başlangıç popülasyonunun belli bir kısmının NN ile oluşturulup L-K geliştirme sezgiseli ile iyileştirmeler yapılan kromozomlara GA operatörleri uygulandığında elde edilen sonucun (GANNLK), sadece GA' nın rastgele çözümleriyle başlanan yöntemle göre daha iyi sonuçlar verdiği istatistiksel olarak kanıtlanmıştır. Diğer taraftan GANNLK yaklaşımı aynı deneyleri GA' ya göre daha kısa süre içinde çözüme kavuşturmuştur.

Konteynerlerin elleçlenme süresi üzerinde istif vinçlerinin dağıtım kurallarının ve müşteri önceliklendirme kurallarının etkisi olduğu ortaya koyulmuştur. Çalışma, GA' nın çözüm sürelerinin iyileştirilmesi ve İVÇ problemi stratejilerinin farklı yöntemler (Tabu Arama) kullanılarak çözümün araştırılması ile devam edecektir.

## KAYNAKLAR

- Kim K. H., Lee K. M. Ve Hwang H. (2003), “Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals”, *Int. J. Production Economics* 84: 283–292.
- Ebru K. Bish (2003), A Multiple-Mrane-Constrained Scheduling Problem In a Container Terminal, *European Journal of Operational Research* 144, 83–107.
- Ng W. C., Mak K. L. (2005), Yard Crane Scheduling in Port Container Terminals, *Applied Mathematical Modelling* 29, 263–276.
- Öztürk E. , “Konteynerize Yük Taşımacılığı ve Marmara Bölgesi Projeksiyonu”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- Javanshir H., Ganji S.R.S. (2008), Yard Crane Scheduling in Port Container Terminals Using Genetic Algorithm, *J. Ind. Eng. Int.*, 6, 39-50.
- 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.
- Mak K.L., Sun D., 2009. Scheduling Yard Cranes in a Container Terminal Using a New Genetic Approach, *Engineering Letters*, 17:4, 1-7.
- 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.
- Wenyong 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.
- 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.