

# **YAEM'2011**

## **YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI ve ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ 31. ULUSAL KONGRESİ**

"Bilişim Çağında Yöneylem Araştırması ve  
Endüstri Mühendisliğinde Yeni Eğilimler"

## **BİLDİRİ TAM METİNLERİ**

### **EDİTÖRLER**

**Doç.Dr. Cemalettin KUBAT  
Arş. Gör. Alper KİRAZ  
Arş. Gör. Bilgehan ERDEM**

**05-07 TEMMUZ 2011**

**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ / ESENTEPE - SAKARYA**

## DOLGU TİPİ KONTEYNİR TERMİNALLERİ İÇİN AGV DAĞITIM UYGULAMALARI

Mehmet Ulaş Koyuncuoğlu<sup>a</sup>, Olcay Polat<sup>a,b\*</sup>, Mustafa Egemen Taner<sup>a</sup>, Osman Kulak<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

<sup>b</sup> Berlin Teknik Üniversitesi, Üretim Yönetimi Bölümü

Tel: +90 258 296 {2965 / 3037 / 3269 / 3151}

{ulas / opolat / metaner / okulak} @pau.edu.tr

### Özet:

Uluslararası ticaret hacmindeki çarpıcı artış; konteynir terminali yöneticilerini, yüksek miktarda konteynir işlemleri ile başa çıkabilmeleri için daha verimli yöntemler bulmaya sevk etmiştir. Son yıllarda, konteynir terminallerinde verimliliği arttırmak için, tekrarlı terminal operasyonları üzerinde önemli yetkinliğe sahip, otomatik kılavuzlu araçlar (AGVs – Automated Guided Vehicles) ve otomatik kaldırma araçları (ALVs – Automated Lifting Vehicles) gibi gelişmiş teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Yeterli kıyı derinliğine sahip konteynir terminallerinin aksine, Türkiye'deki gibi iç denizlerdeki konteynir terminalleri, daha az kıyı derinliğine sahip olmalarından dolayı kıyıların doldurulması ile inşa edilir. Bu tarz dolgu tipi konteynir terminalleri içerisinde en yaygın olanlar;  $\Pi$ , L,  $\pi$  veya  $\Psi$  rıhtımlı dolgu tipi yerleşime sahip olanlardır. Bu çalışmada, tasarlanan  $\Pi$  rıhtımlı dolgu tipi bir konteynir terminali için simülasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model yardımıyla söz konusu terminal için AGV dağıtım kuralları belirlenen performans kriterinden yararlanılarak test edilmiştir. Simülasyon sonuçları AGV dağıtım kurallarının etkisinin terminal tipine göre değişiklik gösterebileceğini sunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** AGV dağıtım kuralları, Nesneye dayalı simülasyon, Dolgu tipi konteynir terminalleri

### 1. Giriş

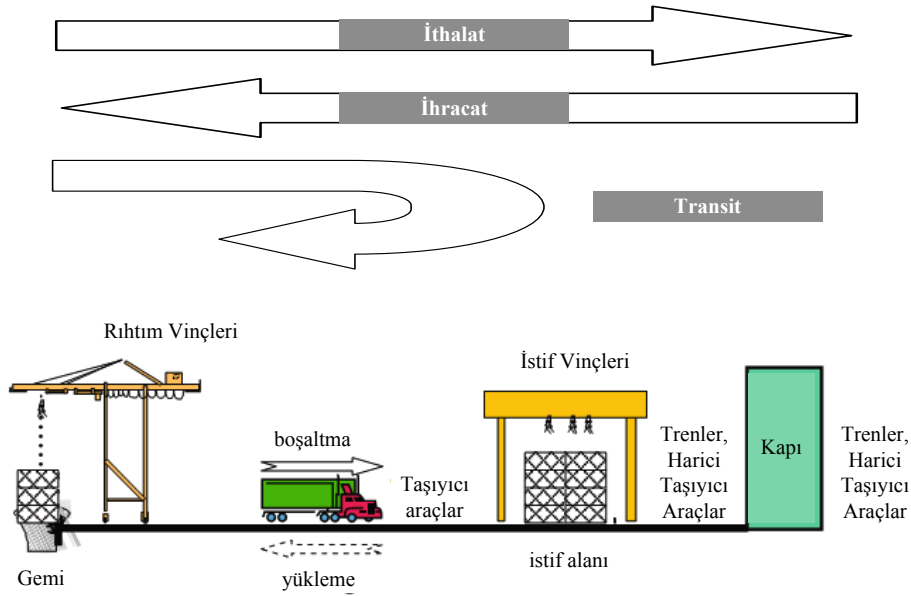
Uluslararası deniz ticaretinin neredeyse tamamı standart 20", 40" ve 45" ölçülerindeki çelik konteynirler kullanılarak konteynir gemileriyle gerçekleştirilmektedir. Uluslararası deniz ticareti kapsamında meyve, sebze, balık ve et gibi genel gıda maddelerinden mobilya, ayakkabı, giyim, otomobil parçaları, elektronik bileşenler ve sanayi hammaddelerine kadar birçok ürünün konteynirlerle taşınması artmaktadır. Dolayısıyla günümüz küresel tedarik zincirinde, konteynir nakliye süreçlerinin etkinliğinin artırılması her zamankinden daha önemli olmuştur.

Konteynir terminalleri; karayolu, tren yolu ve deniz yolu ile gelen konteynirlerin geçici olarak depolanarak, taşınma biçimlerinin değiştirildiği işletmelerdir. Bu işletmeleri, kullandıkları ekipman teknolojileri bakımından, otomatikleştirilmiş (automated) ve otomatikleştirilmemiş (non-automated) olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Otomatikleştirilmiş konteynir terminalleri, konteynir bilgi teknolojisine ve otomatik kontrol teknolojisine sahiptir. Operasyonlarda kullanılan araçların çoğu insansız olarak çalışmaktadır. Bu tip terminaller işgücünün pahalı olduğu Batı Avrupa ülkelerinde kurulmuştur. Dolayısıyla bu terminaller, diğer terminallere göre daha verimlidir ve bu terminallerin operasyon maliyetleri de diğer terminallere göre daha düşüktür. Otomatikleştirilmemiş terminallerde ise operasyonlar insan kontrolü altında gerçekleştirilmektedir. Bu tip terminaller ise işgücünün ucuz olduğu Güneydoğu Asya ülkelerinde kurulmuştur (Steenken ve diğ., 2004).

Konteynir terminallerinde, konteynir ticaret şekillerine göre; *ithalat*, *ihracat* ve transit olmak üzere 3 tipte hizmet gerçekleştirilmektedir. Bu hizmetlerden; gemi ile gelip terminal

kapısından çıkış yapacak olan konteynırlar için *ithalat*, terminal kapısından harici bir taşıyıcı araç ile giriş yapıp gemi ile terminalden çıkış yapacak olan konteynırlar için *ihracat* ve gemi ile terminale giriş yapıp başka bir gemi ile terminalden çıkış yapacak olan konteynırlar içinse *transit* hizmetleridir.

Söz konusu hizmetler gerçekleştirilirken farklı ekipmanlar kullanılmaktadır. Şekil 1’de bir konteynır terminalinde gerçekleşen hizmetler, taşıma ve elleçleme operasyonları ile bu operasyonlar gerçekleştirilirken kullanılan terminal ekipmanları gösterilmiştir. Terminallerde temel olarak 3 tip ekipman kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar; gemiye/gemiden konteynırın yüklenmesinde/boşaltılmasında kullanılan rıhtım vinçleri, ara stok sahasında konteynırları istiflemeye ve taşıyıcı araca/araçtan konteynırın yüklenmesinde/boşaltılmasında kullanılan istif vinçleri ve bu vinçler arasındaki taşıma operasyonlarını gerçekleştiren taşıyıcı araçlardır.



Şekil 1. Terminal Hizmetleri ve Ekipmanları (Petering ve Murty, 2009)

Otomatikleştirilmiş konteynır terminallerinde, AGV’ler veya ALV’ler terminal içi taşıyıcı araç olarak kullanılabilir. AGV’ler çalışma biçimleri bakımından kamyonlara benzerler; fakat önceden tanımlanmış bir yol üzerinde, belirlenmiş terminal içi dağıtım kuralına göre sürücüsüz bir şekilde çalışmaktadır. ALV’ler ise bir konteynırı kaldırmaya ve belirlenen depolama yerine taşıyabilme yeteneğine sahip araçlardır. ALV’lerin tersine, AGV’ler bir vinçle etkileşim içinde olmalıdır. Kızaklı AGV’ler ise son yıllarda ortaya çıkmış olan, kıyı vinçleri ve istif blokları önündeki özel alanlara konteynırları kaldırmadan bırakıp alabilen sistemlere sahip AGV’lerdir. Otomatikleştirilmiş terminallerde, terminal içerisinde konteynırları taşımak için terminal istif taşıyıcıları (straddle carriers), AGV’ler, kızaklı AGV’ler veya kamyonlar kullanılmaktadır.

Literatürde, AGV dağıtım kurallarını test eden ilk çalışma Egbelu ve Tanchoco (1984) tarafından gerçekleştirilmiştir. Durrant-Whyte (1996) ve Evers ve Koppers (1996) ise konteynır terminallerinde AGV uygulamaları ile ilgili ilk akademik çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Konteynır terminali içi AGV sistem tasarımı ile ilgili çalışmalar günümüze kadar devam etmiştir. Vis (2006) ve Roodbergen ve Vis (2009) incelendiğinde konteynır terminali içi AGV sistem tasarımı ile ilgili önemli bilimsel çalışmalara ulaşılabilir.

Otomatik konteynır terminallerindeki AGV dağıtım kurallarının incelenmesi ile ilgili önemli bilimsel yayınlar arasında Qiu ve diğ. (2002), Kim ve Bae (2004), Bish ve diğ. (2005),

Grunow ve diğ. (2006), Vis ve Bakker (2008), Nguyen ve Kim (2009) ve Angeloudis ve Bell (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar yer almaktadır.

Bu çalışmada, simülasyon yöntemi ile  $\Pi$  rıhtımlı dolgu tipi bir konteynır terminali yerleşimi için, toplam elleçleme miktarı performans kriterinden yararlanılarak, AGV dağıtım kuralları test edilmiştir. Bu amaçla Arena 10.0 simülasyon yazılımı kullanılarak dolgu tipi konteynır terminalleri için nesneye dayalı bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Çalışmanın 2. bölümünde dolgu tipi konteynır terminalleri hakkında bilgiler verilmiştir. 3. bölümde araç dağıtım kuralları ele alınırken, 4. bölümde tasarlanan konteynır terminali hakkında bilgiler sunulmuştur. 5. bölümde test amaçlı geliştirilen simülasyon modelinden bahsedilerek, gerçekleştirilen simülasyon deneylerine ait sonuçlar istatistiksel analizleri ile birlikte yorumlanmıştır. 6. ve son bölümde ise çalışmanın sonuçları yer almaktadır.

## 2. Dolgu Tipi Konteynır Terminalleri

Bilimsel literatür incelendiğinde otomatik konteynır terminallerindeki AGV uygulamalarının büyük çaptaki limanlarda bulunan terminaller için gerçekleştirildiği göze çarpmaktadır. Büyük çaptaki bu limanların ortak özellikleri deniz derinliğinin fazla olduğu doğal liman olarak adlandırılan kıyılarda konuşlandırılmış olmalarıdır. Doğal limanlarındaki konteynır terminalleri genellikle kıyıya paralel olarak uzanan tek bir ana rıhtıma sahiptir. Bu terminallerde yer alan istif alanları ise ana rıhtıma paralel ya da dikey olarak konuşlandırılmaktadır.

Yeterli kıyı derinliğine sahip olmayan denizlerde, kıyının doldurulması ile oluşturulan dolgu tipi limanlarda ise doğal limanların aksine birden fazla rıhtım yer alabilmektedir. Bu tarz dolgu tipi konteynır terminalleri içerisinde en yaygın olanlar;  $\Pi$ , L,  $\pi$  veya  $\Psi$  rıhtımlı dolgu tipi yerleşime sahip olanlardır. Dolgu tipi konteynır terminallerinin rıhtım ve istif yerleşimleri aşağıda tanımlandığı gibidir.

*$\Pi$  rıhtım tipi:* Terminalin tamamı yarım ada şeklinde doldurulan liman içerisinde yer alır. İstif alanı yarım adayı çevreleyen 3 rıhtımın ortasındadır. Haydarpaşa ve İzmir limanlarında yer alan konteynır terminalleri bu tipe örnek gösterilebilir.

*L rıhtım tipi:* Terminalin istif alanı ve bir rıhtımı liman içerisinde yer alırken, bir rıhtımı denize dolgu olarak inşa edilir. Bazı durumlarda dolgu olarak yapılan rıhtım kısmi istif alanı olarak da kullanılabilir. Mersin limanında yer alan konteynır terminali bu tipe örnektir.

*$\Psi$  rıhtım tipi:* Terminalin istif alanı liman içerisinde yer alırken, rıhtımları denize dikey olarak doldurulan uzun yarım adalarda yer alır. Bazı durumlarda dolgu olarak yapılan rıhtım kısmi istif alanı olarak da kullanılabilir. Ambarlı limanında yer alan Kumport konteynır terminali bu tipe örnek gösterilebilir.

*$\pi$  rıhtım tipi:* Terminalin istif alanı liman içerisinde yer alırken, rıhtımları denize yatay olarak doldurulan uzun yarımadalarda yer alır. Bazı durumlarda dolgu olarak yapılan rıhtım kısmi istif alanı olarak da kullanılabilir. Sarı denizde yer alan Shanghai limanları bu tipe örnektir.

Böyle limanlardaki konteynır terminallerinin birden fazla rıhtıma sahip olması, terminalin birden fazla istif alanının oluşturulmasına ya da ortak istif alanının rıhtımlara göre yatay ya da dikey konumlandırılmasına neden olabilmektedir. Vis ve Anholt (2010), Polat ve diğ. (2010) ve Kulak ve diğ. (2011) çalışmalarında da gösterildiği gibi, rıhtımların konumları genel terminal performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bahsedilen etki, dolgu tipi otomatik konteynır terminallerindeki AGV uygulamalarının ve dağıtım kurallarının literatürde yer alan çalışmalara göre farklılık göstermesine sebep olabilir.

## 3. Araç Dağıtım Kuralları

Çalışmanın amacı kapsamında araç dağıtım kuralları iki tür altında analiz edilmiştir. Bunlar; *araç çağırma kuralları* ve *kavşak geçiş kuralları*dır. Araç çağırma kuralları; rıhtımdan, istif bloklarından ve kapıdan araç talep edildiğinde kullanılan kurallardır. Kavşak geçiş kuralları

ise, Şekil 2’de de gösterildiği gibi, AGV’lerin tasarlanan şeritlerde yol alması esnasında şerit kesişim noktalarında (kavşaklarda) karşılaşmalarında, trafik tıkanıklığı ya da kaza gibi herhangi bir aksama olmaması amacıyla uygulanan kurallardır.

a) Araç çağırma kuralları:

En yakın araç kuralı (Smallest Distance): Araç talebinde bulunan vince, en yakın aracın atanmasıdır.

En uzak araç kuralı (Largest Distance): En yakın araç kuralının tam tersidir. Araç talebinde bulunan vince, en uzak aracın atanmasıdır. Bu kural bir dağıtım kuralı olarak yarar sağlamamaktadır; ancak, sistem tasarımcısı tarafından kullanım etkinliğini azaltmak için uygulanabilir.

Rastgele araç kuralı (Random): Aracı, talepte bulunan herhangi bir vince rastgele atar. Araçların görel konumlarına bakılmaksızın bu kural uygulanır.

Döngüsel araç kuralı (Cyclical): Araçları, döngüsel bir şekilde talepte bulunan vinçlere atar. Taşıma için son seçilen araç, sistemdeki tüm araçların iş yükünü dengeleme amacıyla, diğer araçlar taşıma işlemini tamamladıktan sonra tekrar kullanılır.

b) Kavşak geçiş kuralları:

*İlk gelen ilk işlem görür kuralı (FCFS – First Come First Served):* Kavşağa önce gelen araca geçiş önceliği tanır.

*Son gelen ilk işlem görür kuralı (LCFS – Last Come First Served):* Kavşağa yaklaşan iki araçtan kavşağa uzak olanın önce geçmesi, yakın olanın ise beklemesidir.

*En yakın araç kuralı (Closest):* Hedefe yaklaşmaya yakın mesafesi olan araca öncelik veren kuraldır. Kavşakta karşılaşan iki araçtan hangisi gittiği talep ya da hedef noktasına daha yakın ise, o araca kavşakta öncelik tanınır.

*İhraç konteynir önceliği kuralı (HVF – High Value First):* Simülasyon modelinde yüksek değerli tanımlanan varlığa öncelik tanınır. Geliştirilen modelde yüksek değer, aracın ihraç konteynir yüklü olmasıdır. Dolayısıyla kavşakta karşılaşan araçlardan, ihraç konteynir yüklü olan araç önceliğe sahiptir.

*İthal konteynir önceliği kuralı (LVF – Low Value First):* Simülasyon modelinde düşük değerli tanımlanan varlığa öncelik tanınır. Geliştirilen modelde düşük değer, aracın ithal konteynir yüklü olmasıdır. Dolayısıyla kavşakta karşılaşan araçlardan, ithal konteynir yüklü olan araç önceliğe sahiptir.

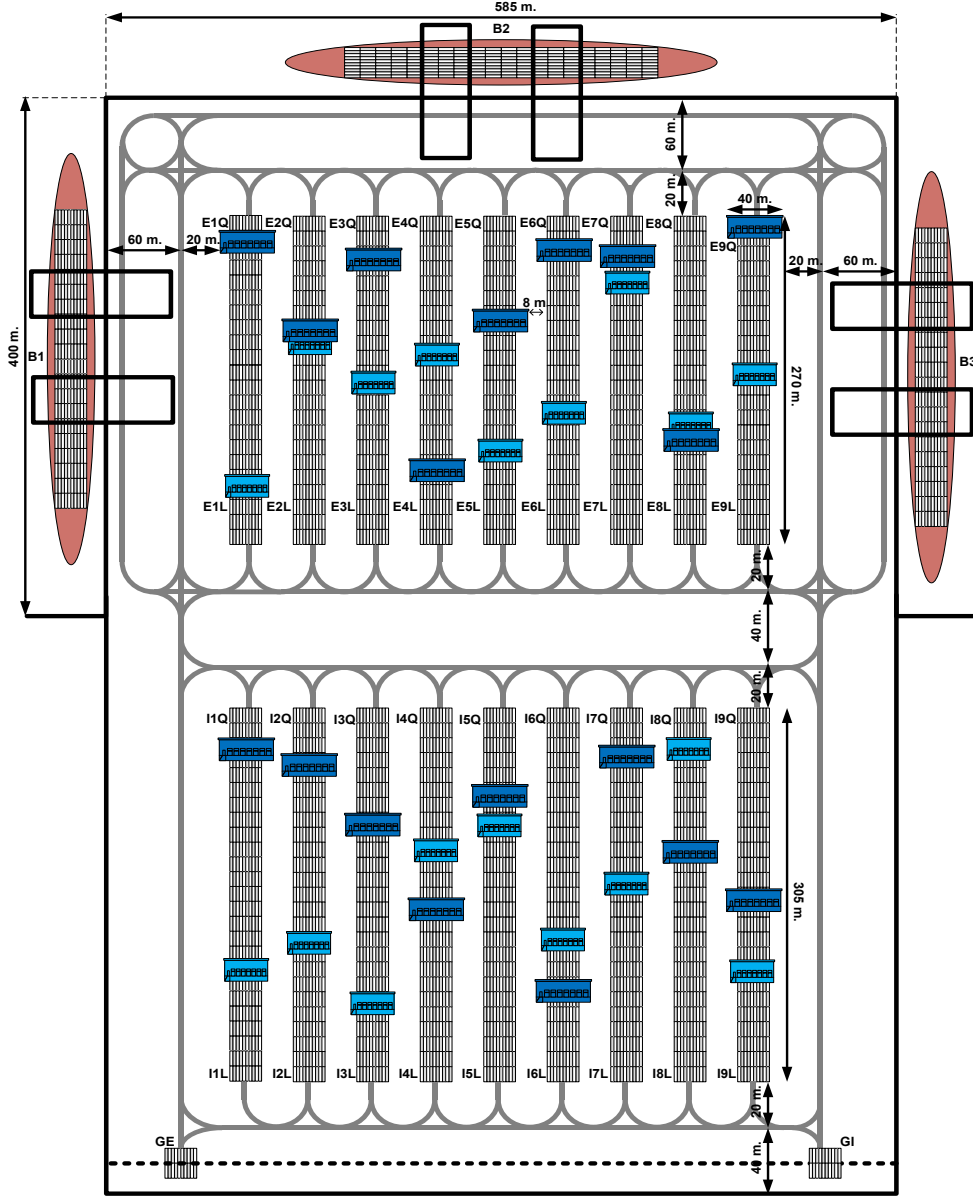
#### 4. Tasarlanan Konteynir Terminali

Çalışma kapsamında, kıyı derinliği düşük olan bir bölgede kurulması planlanan büyük ölçekli П rıhtımlı bir dolgu tipi konteynir terminali tasarımı yapılmıştır. Otomatikleştirilmiş türde tasarlanan bu terminalin yerleşim düzeni Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tasarlanan bu terminalin her rıhtımında ikişer adet ikili otomatik rıhtım vinci bulunmaktadır. Terminalin istif alanında ise 18 adet istif bloğu yer almaktadır. Bu bloklardan 9 tanesi ihraç konteynirlere (gemiyle terminale giriş yapan), 9 tanesi ise ithal konteynirlere (gemiyle terminalden çıkış yapan) hizmet vermek üzere ayrılmıştır. Her istif bloğunda ise iç içe geçme özelliğine sahip olan, ikiz otomatik istif vinci yer almaktadır. İhraç konteynirlere ait bir bloğun uzunluğu 270 m. (44 TEU), genişliği 40 m. (10 TEU) ve yüksekliği 13 m. (5 TEU) olarak, ithal konteynirlere ait bir bloğun ise uzunluğu 305 m. (50 TEU), genişliği 40 m. (10 TEU) ve yüksekliği 13 m. (5 TEU) olarak tasarlanmıştır. Bu şartlar altında terminalin eş zamanlı istif kapasitesi 42.300 TEU’dur.

Terminal içerisinde yer alan AGV yollarının basit gösterimi Şekil 2’de ayrıca gösterilmiştir. İstif alanındaki bloklarda yer alan istif vinçlerinin, AGV yükleme ve boşaltma noktaları blokların uçlarında yer almaktadır. İhraç konteynir alanı için, rıhtıma giden AGV’ye konteynir yükleme noktası bloğun kıyı ucu tarafında, kapıdan gelen AGV’den konteynir boşaltma

noktası ise bloğun kapı ucu tarafında konumlandırılmıştır. İthal konteynır alanı için, rıhtımdan gelen dolu AGV'den boşaltma noktası blokların kıyı ucu tarafına, kapıya gönderilecek AGV'lerin yükleme noktası ise blokların kapı ucu tarafına konumlandırılmıştır.



Şekil 2. Tasarlanan Terminal Düzeni

Terminalde kızaklı tip AGV'ler kullanılması planlandığından blokların her iki ucunda 10'ar adet konteynır kapasiteli ara bölgeler mevcuttur. Rıhtımda ise her rıhtım vinci için 5'er adet konteynır kapasiteli ara bölgeler bulunmaktadır. Bu ara bölgeler sayesinde, istif vinçleri ve AGV'ler birbirinden bağımsız olarak yükleme-boşaltma işlemlerini gerçekleştirebilir. Böylece terminal içi kaynakların bekleme süreleri önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Terminal içerisinde kullanılacak optimum AGV sayısı, test edilen kurallara göre değişkenlik gösterdiğinden dolayı her bir senaryo için ayrı ayrı belirlenmiştir.

## 5. Simülasyon Çalışması

### 5.1. Model

Arena 10.0 simülasyon yazılımı kullanılarak geliştirilen simülasyon modelinde, varlık olarak gemiler üretilmektedir. Modelin ilk aşamasında gelen gemilerin özellikleri (yükleme ve

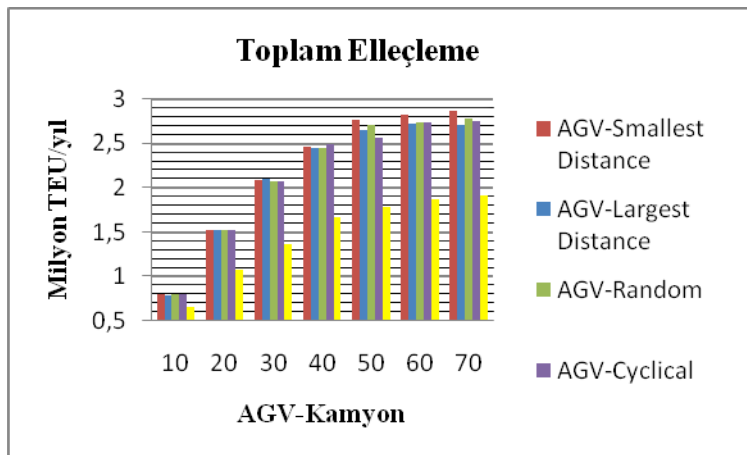
boşaltma miktarları, gemi cinsi) atanmakta ve rıhtım atamaları yapılmaktadır. Modelin ikinci aşaması rıhtımda gerçekleşen operasyonları içermektedir. Bu kapsamda gelen gemilerdeki konteynırların yükleme ve boşaltma işlemleri, gemiden boşaltılan konteynırların ara stok alanına atanmaları ve AGV tahsisi gerçekleştirilmektedir. Modelin üçüncü ve son aşaması ise ara stok sahasındaki istif vinçleri ile gerçekleştirilen operasyonları kapsamaktadır.

Terminalin analiz edilmesi için oluşturulan modelde kullanılmak üzere şu veriler toplanmıştır; gemi gelişler arası süresi, harici kamyon gelişler arası süresi, gemiye yüklenecek konteynır sayısı, gemiden boşaltılacak konteynır sayısı, rıhtım vinci elleçleme süresi, istif vinci elleçleme süresi, boş araçların hızları, dolu araçların hızları, konteynırların istif alanında ortalama bekleme süresi, ithal / ihraç konteynır oranı, rıhtım vinci arızalar arası süresi, rıhtım vinci arıza giderilme süresi, istif vinci arızalar arası süresi, istif vinci arıza giderilme süresi, AGV arızalar arası süresi, AGV arıza giderilme süresi. Toplanan bu verilerin, geliştirilen simülasyon modelinde kullanılmak üzere, uygun olasılık dağılımları Input Analyzer 10.0 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

Kurulan simülasyon modelinde kullanılan kamyonlar ve AGV'ler aynı anda sadece bir konteynır taşıyabildikleri ve operasyonların hava şartlarından ve vardiya değişikliklerinden etkilenmediği varsayılmıştır. Ayrıca, modelde kullanılan olay ve olaylar arası süreler çizelgelemeye dayalı değildir; dolayısıyla senaryolar arası ve tekrarlar arası elde edilen veriler değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında gerçekleştirilen simülasyon deneyleri 3.000.000 TEU'luk yük altında, 5 tekrarlı olarak, bir yıllık simülasyon süresi ile gerçekleştirilmiş ve performans kriteri olarak yıllık konteynır elleçleme miktarı (TEU/yıl) kullanılmıştır.

## 5.2. Sayısal Sonuçlar

İlk deney setinde simülasyon modeli, tasarlanan terminal içi AGV araç çağırma kurallı senaryoların değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Bu amaçla yukarıdaki bölümlerde tanımlanan 4 farklı AGV araç çağırma kuralı ve kamyonlar için tanımlanan döngüsel (cyclical) araç çağırma kurallı senaryolar test edilmiştir. AGV kullanılan senaryolarda kavşak geçiş kuralı olarak en yakın araç kuralı (Closest) kullanılmıştır. Belirlenen senaryolar ayrıca, terminal içi optimum araç sayısının saptanması amacıyla, farklı sayıdaki araç sayıları ile test edilmiştir. Şekil 3'te farklı araç sayılarının kullanılması durumundaki araç çağırma kurallarının performans kriteri olan toplam elleçleme miktarı üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 3. AGV ve Kamyon Elleçleme Miktarları/Araç Sayısı-Araç Çağırma Kuralı

Şekil 3'te görüldüğü gibi, terminal içi araç seçimi için kızaklı AGV kullanılması ile kamyon kullanılması arasında performans kriteri olan, elleçleme miktarları bakımından büyük fark vardır. Araç tipleri arasındaki bu farkın temel nedenlerini terminallerde kullanılan

kamyonların; hızlarının düşük olması, insan kontrolü altında olmaları nedeniyle arıza ve kaza şanslarının yüksek olması, gelişmiş terminal içi dağıtım kurallarını ve rotalarını kullanamamaları ve ara boşaltma bölgelerine sahip olmamaları oluşturmaktadır.

Araç sayısının ve AGV dağıtım kurallarının toplam elleçleme miktarı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla elde edilen simülasyon sonuçlarına SPSS 16.0 paket programı kullanılarak ANOVA testi uygulanmıştır. Tablo 1’de araç sayısının ve araç çağırma kurallarının etkisi için 140 adet simülasyon çıktısına göre yapılan ANOVA testi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 1. Araç Sayısı – Araç Çağırma Kuralları İçin Elleçleme Miktarı ANOVA Sonuçları\*

Değişken Grup	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F**	P
Araç Sayısı	$6,781 \times 10^{13}$	6	$1,130 \times 10^{13}$	$4,044 \times 10^7$	0,009
Araç Çağırma Kuralı	$5,921 \times 10^{10}$	3	$1,974 \times 10^{10}$	70622,824	0,000
Etkileşim*	$8,611 \times 10^{10}$	18	$4,784 \times 10^9$	17120,137	0,000
Hata	$3,130 \times 10^7$	112	279444,178		
Toplam	$7,166 \times 10^{14}$	140			
Düzeltilmiş Toplam	$6,795 \times 10^{13}$	139			

\*Araç sayıları ve araç çağırma kurallarının ikili etkileşimidir. \*\*F: F test değeri (F tablosundan)

Yapılan ANOVA testi sonucunda araç sayıları arasında %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Yani araç sayılarının artması elleçleme miktarını anlamlı bir şekilde artırmıştır ( $p < 0,05$ ). Araç çağırma kuralları arasında da %5 anlamlılık düzeyinde önemli bir fark vardır. Araç çağırma kurallarının araç sayılarıyla birlikte kombinasyonlu olarak uygulanması yine elleçleme miktarı üzerinde anlamlı farklar yaratmıştır ( $p < 0,05$ ). Tablo 2’de, yukarıda bahsedilen farkların hangi araç çağırma kuralı lehine olduğunu belirlemek için yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları yer almaktadır. Araç çağırma kuralları için yapılan testlerde her bir kural için, 7 farklı araç sayısı senaryosuna ilişkin beşer kez tekrarlanan simülasyon sonuçları kullanılmıştır.

Tablo 2. Araç Çağırma Kuralları İçin Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi-1

Homojen Alt Gruplar (Alfa = 0,05)					
Araç Çağırma Kuralları	N	1	2	3	4
Largest Distance	35	2131039,7			
Cyclical	35		2143968,2		
Random	35			2148402,8	
Smallest Distance	35				2186285,9

Tablo 2 ayrıntılı olarak incelendiğinde, en yüksek elleçleme oranına sahip araç çağırma kuralının kabul edilebilir oranda “en yakın araç kuralı” olduğu görülmektedir. Yani AGV’yi en yakın mesafedeki konteynırı elleçlemek için atamak zaman tasarrufu sağlayacağından ve beklemler azalacağından, daha yüksek elleçleme miktarı sağlayacaktır. Tablo 3’te “en yakın araç kuralı” altında en uygun araç sayısını belirlemek için yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları yer almaktadır. Gerçekleştirilen testlerde farklı araç sayıları için “en yakın araç kuralı” ile 5’er kez tekrarlanan simülasyon sonuçları kullanılmıştır.

Tablo 3: Araç Sayıları İçin Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi

Homojen Alt Gruplar (Alfa = 0,05)							
Araç Sayıları	N	1	2	3	4	5	6
10	5	789789,7					
20	5		1518227,3				
30	5			2089242,3			
40	5				2463485		
50	5					2762870,5	
60	5					2814570,9	
70	5						2863610,5



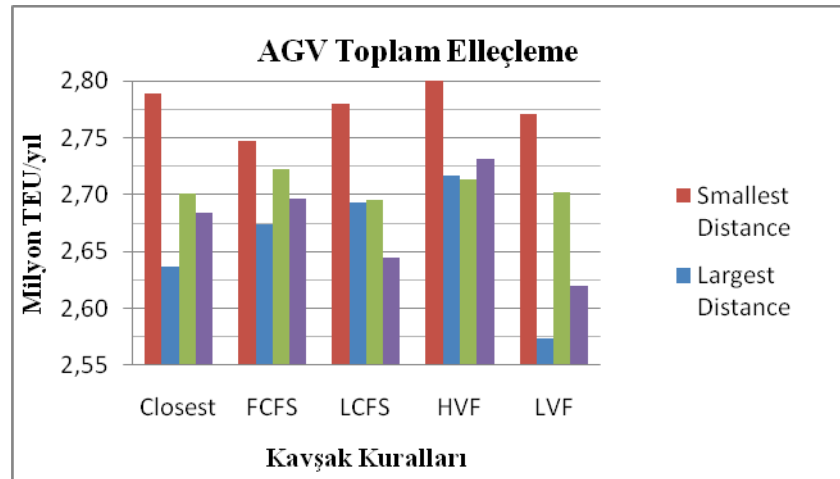
Tablo 3 ayrıntılı olarak incelendiğinde, 50 ve 60 filo büyüklüğündeki araç sayıları arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Yani araç sayısının 50’den 60’a yükseltilmesi gözle görülür bir artış sağlamayacaktır ve ek maliyetler doğuracaktır. 50-60 aralığındaki optimum araç sayısının bulunması amacıyla, 51-54-57-60 araç sayıları için yeniden Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Tablo 4’te belirtilen araç sayıları için “en yakın araç kuralı” altında 5’er kez tekrarlanan simülasyon çıktıları ile yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları yer almaktadır.

Tablo4: Araç Sayıları İçin Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi

Homojen Alt Gruplar (Alfa = 0.05)			
Araç Sayıları	N	1	2
51	5	2745641,6	
54	5		2789305,6
57	5		2800128,0
60	5		2814569,6

Tablo 4 ayrıntılı olarak incelendiğinde 51 ve 54, 57, 60 filo büyüklüğündeki araç sayıları arasında anlamlı bir fark vardır. 54, 57 ve 60 filo büyüklükleri arasında ise, %5 anlamlılık düzeyinde, önemli bir fark yoktur. Çalışmada, kızaklı AGV’lere ilişkin fizibilite çalışması yapılmamasına rağmen, yüksek alım ve kurulum maliyeti nedeniyle bu taşıyıcı araçların optimum filo büyüklüğü 54 olarak belirlenmiştir.

İkinci deney setinde simülasyon modeli, tasarlanan terminal içi kavşak geçiş kurallı senaryoların değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Bu amaçla birinci deney setinde belirlenen araç sayısı (54) için, yukarıdaki bölümlerde tanımlanan 5 farklı kavşak geçiş kurallı ve tanımlanan 4 farklı AGV araç çağırma kurallı senaryolar test edilmiştir. Şekil 4’te farklı AGV çağırma kurallarının uygulanması durumundaki kavşak geçiş kurallarının performans kriteri olan toplam elleçleme miktarı üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 4. AGV Elleçleme Miktarları/Kavşak Kuralı- Araç çağırma Kuralı

Şekil 4’te görüldüğü gibi, farklı AGV çağırma kurallarının uygulanması durumundaki kavşak geçiş kurallarının performans kriteri olan toplam elleçleme miktarı üzerindeki etkisi sabit değildir. Bu nedenle AGV çağırma kurallarının ve kavşak geçiş kurallarının toplam elleçleme miktarı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla elde edilen simülasyon çıktılarına SPSS 16.0 yazılımı kullanılarak ANOVA testi uygulanmıştır. Tablo 5’te AGV çağırma kurallarının ve kavşak geçiş kurallarının etkisi için, 100 adet simülasyon sonuçlarına göre gerçekleştirilen ANOVA testi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 5'ten elde edilen sonuçlara göre, uygulanan araç çağırma kuralları %5 anlamlılık düzeyinde elleçleme miktarları açısından farklılık göstermektedir. Aynı şekilde kavşak geçiş kuralları ve araç çağırma kurallarının etkileşimleri de %5 anlamlılık düzeyinde farklıdır.

Tablo 5: Araç Çağırma Kuralları – Kavşak Geçiş Kuralları ANOVA Testi Sonuçları

Değişken Grup	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F**	P
Araç Çağırma Kuralları	2,678x10 <sup>11</sup>	3	8,927x10 <sup>10</sup>	90358,617	0,000
Kavşak Geçiş Kuralları	3,206x10 <sup>10</sup>	4	8,015x10 <sup>9</sup>	8112,358	0,002
Etkileşim*	4,227x10 <sup>10</sup>	12	3,522x10 <sup>9</sup>	3565,043	0,000
Hata	7,904x10 <sup>7</sup>	80	987960,97		
Toplam	7,256x10 <sup>14</sup>	100			
Düzeltilmiş Toplam	3,422x10 <sup>11</sup>	99			

\*Kavşak geçiş kuralları ve araç çağırma kurallarının ikili etkileşimidir. \*\*F: F test değeri (F tablosundan)

Bu etkileşim göstermektedir ki, araç çağırma kuralları ve kavşak geçiş kurallarının etkinliği birbirine bağlıdır. Tablo 6'da yukarıda bahsedilen farkların optimum araç sayısında hangi dağıtım kuralı lehine olduğunu belirlemek için yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları yer almaktadır. Araç çağırma kuralları için yapılan testlerde, 54 araçlık filo büyüklüğü için, 5 farklı kavşak geçiş kuralına ilişkin beşer kez tekrarlanan simülasyon sonuçları kullanılmıştır.

Tablo 6: Araç Çağırma Kuralları İçin Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi-2

Homojen Alt Gruplar (Alfa = 0.05)					
Araç Çağırma Kuralları	N	1	2	3	4
Largest Distance	25	2642109,68			
Cyclical	25		2657807,97		
Random	25			2696700,26	
Smallest Distance	25				2779308,80

Tablo 6 ayrıntılı olarak incelendiğinde, optimum 54 araç filo büyüklüğünde gerçekleştirilen simülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlarda 4 farklı şekilde uygulanabilen dağıtım kuralları arasından, elleçleme miktarı bakımından en iyisi “en yakın araç kuralı” görülmüştür. “En yakın araç kuralı” %5 anlamlılık düzeyinde diğer dağıtım kurallarından farklıdır. Tablo 7'de kavşak geçiş kuralları için “en yakın araç kuralı” ve beşer kez tekrarlanan simülasyon sonuçları ile yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 7: Kavşak Geçiş Kuralları İçin Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi

Homojen Alt Gruplar (Alfa = 0.05)					
Kavşak Kuralları	N	1	2	3	4
FCFS	5	2747114			
LVF	5		2770685		
LCFS	5			2780275	
Closest	5			2789305	
HVF	5				2809165

Tablo 7 ayrıntılı olarak incelendiğinde, %5 anlamlılık düzeyinde İhraç konteynır önceliği kuralının (HVF – High Value First) diğer kavşak kurallarından daha iyi olduğu belirlenmiştir.

## 6. Sonuç

Bu çalışmada, tasarlanan Π rihtımlı dolgu tipi bir konteynır terminalinde araç sayısının, araç çağırma kurallarının ve kavşak geçiş kurallarının test edilmesi amacıyla bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre gerçekleştirilen testler belirtilen terminal konfigürasyonu için en iyi senaryonun araç sayısının 54 kızaklı AGV olduğu durumda araç çağırma kuralı olarak “en yakın araç kuralı” ve kavşak geçiş kuralı olarak

“ihraç konteynir önceliği kuralı” uygulanması ile elde edildiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, doğal bir limandaki konteynir terminalinde Vis ve Bakker (2006) tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışmayla karşılaştırıldığında, AGV dağıtım kuralı olarak “en yakın araç kuralı” çağırma kuralının seçilmesinde benzerlik bulunmaktadır. Ancak ilgili çalışmada kavşak geçiş kuralı olarak önerilen “*ilk gelen ilk işlem görür kuralı*”nın yerine bu çalışmada “İhraç konteynir önceliği kuralı” önerilmiştir. Kavşak kurallarındaki bu farklı sonuçların nedeninin terminallerin farklı yerleşimi olduğu söylenebilir.

Geliştirilen model yardımıyla elde edilen simülasyon sonuçlarına göre araç çağırma kuralları ve kavşak geçiş kuralları etkisinin, terminal tipine göre değişiklik gösterebileceğini öngörülmüştür. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda, araç çağırma kuralları ve kavşak geçiş kurallarının farklı dolgu tip konteynir terminallerine göre etkisi doğal limanlarla karşılaştırılarak araştırılacaktır. Ayrıca bu tip terminallerdeki farklı terminal içi taşıyıcı araç tiplerinin performans kriteri üzerinde etkisi diğer bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır.

## 7. Kaynaklar

1. Angeloudis P., ve Bell M.G.H. (2010) An uncertainty-aware AGV assignment algorithm for automated container terminals. *Transportation Research Part E* 46 (3): 354-366
2. Bish EK, Chen FY, Leong YT, Nelson BL, Ng WC, ve Simchi-Levi D (2005) Dispatching vehicles in a mega container terminal. *OR Spectrum* 27:491–506
3. Durrant-Whyte H.F. (1996), An autonomous guided vehicle for cargo handling applications, *International Journal of Robotics Research* 16: 407–440
4. Egbelu, P.J., ve Tanchoco, J.M.A., (1984). Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules. *International Journal of Production Research*, 22: 359-374.
5. Evers J.J.M., Koppers S.A.J. (1996). Automated guided vehicle traffic control at a container terminal”, *Transportation Research A* 30 (1): 21–34.
6. Grunow M, Günther H-O, ve Lehmann M. (2006) Strategies for dispatching AGVs at automated seaport container terminals. *OR Spectrum* 28:587–610
7. Kim K.H., ve Bae J.W. (2004) A look-ahead dispatching method for automated guided vehicles in automated port container terminals. *Transport Science* 38(2):224–234
8. Kulak O., Polat O., Gujjula R ve Günther H-O. (2011) Strategies for improving a long-established terminal’s performance: A simulation study of a Turkish container terminal. *Flexible Services and Manufacturing* (kabul edilmiş yayın).
9. Nguyen V., ve Kim K. (2009) A dispatching method for automated lifting vehicles in automated port container terminals. *Computers & Industrial Engineering* 56:1002–1020
10. Petering, M.E.H., ve Murty, K.G., (2009), “Effect of block length and yard crane deployment systems on overall performance at a seaport container transshipment terminal”, *Computers and Operations Research* 36: 1711–1725
11. Polat O., Kulak O., Taner M.E., Günther H.-O., "Effect of Resource Allocation Rules in Different Layout Types of Seaport Container Terminals", 24th European Conference on Operational Research, Lisbon, Portugal, July 2010

- 12.Qiu L., Hsu W-J., Huang S.Y., ve Wang H., (2002), "Scheduling and routing algorithms for AGVs: a survey", International Journal of Production Research 40: 745–760
- 13.Roodbergen, K.J.. ve Vis, I.F.A. (2009), A survey of literature on automated storage and retrieval systems, European Journal of Operational Research, 194, 343-362.
- 14.Stahlbock, R., ve Voß, S., (2008), "Operations research at container terminals: A literature update", OR Spectrum 30: 1-52
- 15.Steenken, D., Voß, S., ve Stahlbock, R., (2004), "Container Terminal Operation and Operations Research – A Classification and Literature Review", OR Spectrum 26: 3-49
- 16.Vis, I.F.A., (2006), "A comparative analysis of storage and retrieval equipment at a container terminal", International Journal of Production Economics 103: 680-693
- 17.Vis, I.F.A. (2006), Survey of Research in the Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems, European Journal of Operational Research 170(3), 677-709.
- 18.Vis, I.F.A., Bakker, M. (2008), Dispatching and layout rules at an automated container terminal, Progress in material handling research: 2008, K Ellis et al. (eds), Material Handling Institute, Charlotte, North Carolina, 685-703.
- 19.Vis, I.F.A., Van Anholt, R.G. (2010), Performance analysis of berth configurations at container terminals, OR Spectrum 32(3), 453-476