

BİR KONTEYNİR TERMİNALİNDE TAŞIMA OPERASYONLARININ SİMÜLASYON İLE ANALİZİ

Osman KULAK

M. Egemen TANER

Olca POLAT

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Kınıklı Kampüsü, 20070, DENİZLİ*

okulak@pau.edu.tr

mtaner051@pau.edu.tr

opolat@pau.edu.tr

ÖZET

Konteynir taşımacılığında, dış ticaret hacmine bağlı olarak, talebin her geçen gün artması terminal operasyonlarının etkin yönetilerek kapasite artışının sağlanmasını zorunlu hale getirmiştir. Konteynir terminallerindeki talep artışını karşılayan kapasite artışları, sistemdeki darboğaz operasyonların belirlenmesi ve ilgili kaynakların etkin kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Terminallerdeki operasyonların önemli bir parçası olan taşıma operasyonlarına yönelik terminal içi taşıyıcı araç sayısı ve tipi belirleme problemi, önemli bir karar problemidir. Bu çalışmada, Türkiye'deki orta ölçekli bir konteynir terminali incelenerek, terminal içi taşıma operasyonlarını analiz eden bir simülasyon modeli tasarlanmıştır. Model yardımıyla terminal içi taşıyıcı araç sayısı ve tipinin, terminalde taşınan konteynir sayısı, kaynak (vinçler ve araçlar) kullanım oranları ve geminin limanda servis görme süresi gibi tanımlı performans kriterleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

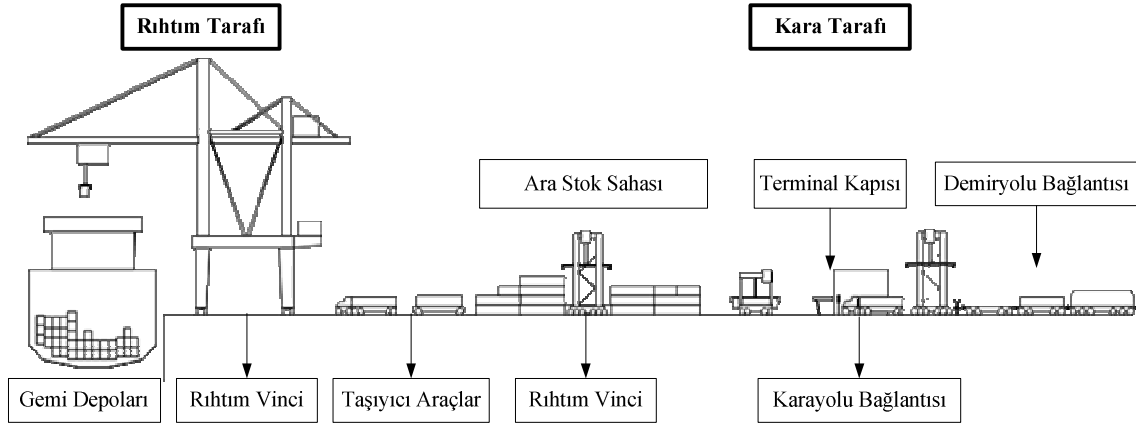
Anahtar Sözcükler: Konteynir taşıma araçları, konteynir terminali, simülasyon

1. GİRİŞ

Konteynir terminalleri; karayolu, tren yolu ve deniz yolu ile gelen konteynirlerin geçici olarak depolanarak taşınma biçimlerinin değiştirildiği işletmelerdir. Dış ticaret hacmindeki artış ve gelişen teknoloji beraberinde gemi taşıma kapasitelerindeki artış konteynir terminallerinin önemini arttırmıştır. Konteynir terminallerini otomatikleştirilmiş (automated) ve otomatikleştirilmemiş (non-automated) olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Otomatikleştirilmiş terminaller, konteynir bilgi teknolojisine ve otomatik kontrol teknolojisine sahiptirler. Bu yüzden bu terminaller diğer terminallere göre daha verimlidir ve maliyetleri daha düşüktür. Operasyonlarda kullanılan araçların çoğu insansız olarak çalışmaktadır. Bu tip terminaller işgücünün pahalı olduğu Batı Avrupa ülkelerinde kurulmuşlardır. Otomatikleştirilmemiş terminallerde ise operasyonlar insan kontrolünde gerçekleştirilmektedir. Bu tip terminaller ise işgücünün ucuz olduğu Güneydoğu Asya ülkelerinde kurulmuşlardır (Stenken ve diğerleri, 2004).

Terminallerde, konteynir ticaret şekillerine göre; ihracat, ithalat ve transit olmak üzere 3 tip hizmet gerçekleştirilmektedir. Bu hizmetler gerçekleştirilirken farklı ekipmanlar kullanılmaktadır. Şekil 1'de bir konteynir terminalinde gerçekleşen taşıma ve elleçleme operasyonları ile terminalde kullanılan genel taşıma ekipmanları gösterilmiştir. Terminallerde temel olarak 3 tip ekipman kullanılmaktadır. Bunlar; gemiye/gemiden konteynir yüklenmesinde/boşaltılmasında rıhtım vinci, ara stok sahasında istif vinci ve bu vinçler arasındaki taşımaları gerçekleştiren taşıyıcı araçlardır.

Konteynir terminal operasyonları, uluslar arası ticaretteki gelişme ile birlikte son günlerde birçok bilimsel araştırma çalışmalarına konu olmaktadır. Vis ve de Koster (2003), Steenken ve diğerleri (2004), Stahlbock ve Voss (2008). Murty ve diğerleri (2005) çalışmalarında konteynir terminallerindeki günlük operasyonlar sırasında ortaya çıkan karar problemlerini ele almışlardır. Operasyonlarla ilgili daha kapsamlı bir çalışma Günther ve Kim (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Terminal Operasyonları ve Genel Taşıma Ekipmanları

Literatürde simülasyon kullanılarak terminal performans analizi yapılan birçok çalışma mevcuttur. Shabayek ve Yeung (2002), Nam ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmalar bunlardan önemli olanlarıdır. Terminallerdeki taşıma sitemlerinin simülasyon yöntemi kullanılarak karşılaştırılmasında ise Liu ve diğerleri (2002), Yang ve diğerleri (2004), Vis ve Harika (2004), Duinkerken ve diğerleri (2006), Vis (2006) çalışmaları mevcuttur.

Bu çalışmada, bir konteynir terminalinde taşıyıcı araç sayısının ve tipinin, terminal performans kriterleri üzerindeki etkisinin saptanması amaçlanmıştır. Bu amaçla Arena 10.0 simülasyon yazılımı kullanılarak bir simülasyon modeli kurulmuştur.

2. KONTEYNİR TERMİNALLERİNDEKİ TAŞIMA OPERASYONLARI

Bir konteynir terminalinde gemi-ara stok sahası ve ara stok sahası-kapı olmak üzere iki yönlü taşıma mevcuttur. Gemi-ara stok sahası taşıma operasyonları terminal içi taşıyıcı araçlarla gerçekleştirilirken, ara stok sahası-kapı taşıma operasyonları terminal dışı özel taşıyıcı araçlarla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada terminal içi taşıma operasyonları incelenmiştir.

Bir konteynir terminalinde rıhtıma yanaşacak olan her gemi, rıhtıma ulaşmadan belli bir süre önce boşaltacak olduğu konteynirlerin sayısını ve pozisyonlarını terminal yönetimine iletir. İlgili gemiye yüklenecek olan konteynirlerin sayısı ve ara stok sahasındaki pozisyonları ise terminal yönetimi tarafından tespit edilir. Geminin rıhtıma yanaşması sonrasında, konteynirler, daha önce belirlenmiş olan sıra ile rıhtım vinçleri tarafından boşaltılmaya başlanırlar. Bu konteynirler kıydan terminal içi taşıyıcı araçlarla ara stok sahasındaki istif vinçlerine taşınırlar. Boşaltma operasyonlarının sona ermesinden sonra, yüklenecek konteynirler belirlenmiş olan sıra ile istif vinçlerinden alınarak rıhtım vinçlerine terminal içi taşıyıcı araçlar kullanılarak taşınırlar.

Terminal içerisindeki taşıma operasyonlarını gerçekleştirmek için farklı tiplerde taşıyıcı araçlar kullanılmaktadır. Bu araçlardan bazıları; Forklift, Dolu Konteynir Forklifti (Reach Stackers), Terminal İstif Taşıyıcıları (Straddle Carriers), Kamyonlar, Çoklu Treyler, Otomatikleştirilmiş Kılavuzlu Araçlardır (Automated Guided Vehicles – AGV).

3. KONTEYNİR TERMİNALİ VE SİMÜLASYON MODELİ

Çalışmamız kapsamında İstanbul'daki orta ölçekli bir konteynir terminali incelenmiştir. Otomatikleştirilmemiş türde olan bu terminal, rıhtımların ara stok sahasının 3 yanına dik bir

şekilde dizilmesi ile de benzersiz bir yerleşime sahiptir. İncelenen terminal 3 rıhtıma sahiptir. Bu rıhtımlarda 4 tane raylı rıhtım vinci ve bir tane lastik tekerlekli mobil vinç hizmet vermekteyken ara stok sahasında 9 lastik tekerlekli istif vinci hizmet vermektedir. Rıhtım-1'e ve Rıhtım-2'ye ikişer raylı rıhtım vinci, Rıhtım-3'e ise bir lastik tekerlekli mobil vinç yerleştirilmiştir. Ara stok sahası 9 hat içermektedir ve her bir hat iki bloğa sahiptir. İstif vinçlerinin her biri, bir hatta hizmet edecek şekilde atanmıştır. Terminal içi taşıyıcı araçlarla yapılan taşıma operasyonları ise filo büyüklüğü 30 adet olan kamyonlarla gerçekleştirilmektedir.

Bu terminalin simülasyon modelinin kurulmasında kullanılan Arena 10.0, olaylara ve süreçlere modelleme mantığıyla yaklaşan bir simülasyon yazılımıdır. Siman Benzetim Dilini ve animasyon sistemlerini kullanan Arena, animasyon öğelerinin simülasyon modülleri ile entegrasyonuna izin vermektedir. Her Siman modülü gerçek sürecin bir faaliyetini temsil etmektedir. Arena'nın animasyon özellikleri kurulmuş olan modelin doğrulanması için çok uygundur.

3.1 Verilerin Toplanması

İncelenen terminalden, oluşturulacak olan simülasyon modelinde kullanılmak üzere toplanan veriler; Gemi Gelişleri, Gemi Cinslerine Göre Yükleme-Boşaltma Sayıları ve Operasyon Süreleri, Blokların Birbirlerine ve Rıhtımlara Olan Mesafeleri, Kamyonların Yük Durumlarına Göre (Dolu – Boş) Hızları, İstif Vinçlerinin Liman İçi ve Liman Dışı Kamyonlara Hizmet Süreleridir.

Toplanan bu veriler içerisindeki gemi gelişleri verisi ile gemi cinslerine göre yükleme ve boşaltma sayıları verisi, terminalin 2000 – 2007 yıllarındaki aylık olarak gelen toplam gemi sayısı ve elleçlenen konteynır sayısı kayıtlarından elde edilmiştir. Toplanan veriler Input Analyzer 10.0 yazılımında analiz edilmiş ve yazılımdaki testler yardımıyla kabul edilebilir hata oranları ile dağılımlar oluşturulmuştur.

3.2 Simülasyon Modeli Yapısı

Geliştirilen simülasyon modelinde varlık olarak gemiler ürettirilmektedir. Modelin ilk aşamasında gelen gemilerin özellikleri (yükleme ve boşaltma miktarları, gemi cinsi) atanmakta ve rıhtımlara 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 terminal içi taşıyıcı araç tahsisi gerçekleştirilmektedir. Terminal içi araç tahsis edilmesinde "En Yakın Araç Kuralı (Nearest Vehicle Rule)" kullanılmaktadır. Modelin üçüncü ve son aşaması ise ara stok sahasındaki istif vinçleri ile gerçekleştirilen operasyonları kapsamaktadır.

Modellemede yapılan varsayımlar ise şu şekildedir:

- Kurulan model tüm konteynırları 20 ft. (1 TEU) olarak kabul etmektedir.
- Kamyonlar aynı anda sadece bir konteynır taşıyabilmektedirler.
- Gerçek sistemde kullanılan kamyonlar birbirlerinden farklı özelliklere sahiptirler; ancak kurulan simülasyon modelindeki tüm araçlar aynı özelliktedirler.
- Modelde operasyonların hava şartlarından etkilenmediği kabul edilmiştir.
- Gemi gelişleri çizelgelemeye dayalı değildir ve bu yüzden gemi gelişleri ile ilgili elde edilen veriler değişkenlik göstermektedir.
- İstif alanındaki vinçlerin zamanla zemin üzerinde oluşturduğu bozulmalar sebebiyle operasyonların gerçekleştirilmesi esnasında yaşanan gecikmeler dikkate alınmamıştır.

Kurulan simülasyon modeline ait performans kriterleri; yıllık konteynır elleçleme miktarı (TEU/yıl), kaynak (rıhtım ve istif vinçleri ile taşıyıcı araçlar) kullanım oranları (%) ve gemilerin terminalde ortalama servis görme süresi (saat) olarak belirlenmiştir.

3.3 Simülasyon Sonuçları

Terminalin taşıma operasyonlarının analiz edilmesi amacıyla farklı filo büyüklükleri için terminalin performans kriterleri incelenmek istenmiştir. Bu kapsamda 36-33-30-27-24-21-18-15 araçlık filo büyüklükleri için simülasyon modelleri kurulmuştur. 5 tekrar altında, bir yıllık simülasyon süresi için simülasyon sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Mevcut Durum

<i>Terminal İçi Taşıyıcı Araç Sayısı</i>	36	33	30	27	24	21	18	15
<i>Elleçleme Miktarı (TEU/yıl)</i>	403.552	401.904	395.972	390.298	383.242	374.346	363.568	347.374
<i>Rıhtım Vinci Kullanım Oranı(%)</i>	91,79	95,31	90,41	90,67	92,59	89,79	90,98	90,93
<i>İstif Vinci Kullanım Oranı(%)</i>	90,45	90,56	88,55	88,15	87,00	83,05	81,01	78,76
<i>Taşıyıcı Araç Kullanım Oranı(%)</i>	98,03	98,04	98,97	97,86	97,74	98,27	97,70	98,21
<i>Gemilerin Terminalde Ortalama Servis Görme Süresi (Saat)</i>	32,12	32,28	33,06	33,28	33,82	34,16	34,87	35,91

Rıhtım vinçleri, terminal içi taşıyıcı araçları beklediklerinden, Tablo 1’deki kullanım oranı değerleri de göz önünde tutularak, bu araçlarla beraber darboğazlar yaratmaktadırlar.

Bu darboğazı ortadan kaldırmak için terminal içi taşıyıcı araç tipinde değişikliğe gidilmelidir. Terminal içi taşıyıcı araç tiplerinden birisi olan forklift yüklenme kapasitesi bakımından terminale uygun değilken, diğer bir araç tipi olan terminal istif taşıyıcıları da modern terminallerde en çok kullanılan taşıyıcı olmasına rağmen incelenen terminal yerleşimine uygun değildir. Çoklu treyler sistemi ise büyük ölçekli terminallerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. AGV’ler ise otomatikleştirilmiş konteynır terminallerinde kullanılmaktadır (Yüksel ve Çevik 2006). Bu çalışmada, kamyonlar yerine konteynırların rıhtımlardaki ve bloklardaki bekleme sürelerini azaltmak amacıyla “Dolu Konteynır Forklifti (Reach Stacker)” kullanılmıştır. Bu sistemde; rıhtım ve istif vinçleri taşıyıcı araçlardan bağımsız olarak geçici stok alanlarında boşaltma ve yükleme operasyonlarını gerçekleştirmektedirler. Konteynırlar, terminal içi taşıyıcı araçlar tarafından bu alanlara bırakılıp, bu alanlardan alınmaktadırlar. Bu sistem için geliştirilen modelde, geçici stok alanı büyüklüğü her blok için 5, her rıhtım için 10 konteynır kapasitelidir. Geliştirilen modeller aynı filo büyüklüklerinde tekrar çalıştırılarak, simülasyon sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Terminal İçi Taşıyıcı Araçların Dolu Konteynır Forklifti Olması

<i>Terminal İçi Taşıyıcı Araç Sayısı</i>	36	33	30	27	24	21	18	15
<i>Elleçleme Miktarı (TEU/yıl)</i>	428.894	428.878	426.098	425.966	424.998	422.016	420.786	419.726
<i>Rıhtım Vinci Kullanım Oranı(%)</i>	61,26	60,99	60,95	60,62	60,76	60,29	60,21	59,95
<i>İstif Vinci Kullanım Oranı(%)</i>	96,08	95,66	95,59	96,17	94,86	95,02	94,61	93,87
<i>Taşıyıcı Araç Kullanım Oranı(%)</i>	93,24	93,39	93,41	95,54	95,83	95,98	96,02	97,04
<i>Gemilerin Terminalde Ortalama Servis Görme Süresi (Saat)</i>	27,81	28,02	28,10	28,94	29,06	29,62	30,12	30,25

Rıhtım vinçlerinin kullanım oranları azalırken, istif vinçlerinin kullanım oranları %95 civarındadır. Dolayısıyla darboğaz noktalarının istif vinçleri olduğu aşikârdır. Bunun sebebi; istif vinci sayısının, rıhtım vinci kapasitesine göre yetersiz kalmasıdır. Oluşan yeni darboğazı

aşabilmek içinse istif vinci sayısı artırımına gidilmiştir. İstif vinci sayısı 18 yapılarak, her vinç bu sayede her bir hat yerine her bir bloğa hizmet edecek şekilde atanmıştır. Simülasyon modeli tekrar düzenlenerek terminal içi taşıyıcı araçların her iki tipi için de çalıştırıldığında Tablo 3'teki ve Tablo 4'teki sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 3. İstif Vinci Sayısının 18 Olması
(Terminal İçi Taşıyıcı Araç: Kamyonlar)**

<i>Terminal İçi Taşıyıcı Araç Sayısı</i>	36	33	30	27	24	21	18	15
<i>Elleçleme Miktarı (TEU/yıl)</i>	614.266	612.124	610.328	607.160	606.298	592.856	573.272	533.796
<i>Rihtim Vinci Kullanım Oranı(%)</i>	89,16	88,54	89,65	89,79	89,49	89,14	89,69	90,65
<i>İstif Vinci Kullanım Oranı(%)</i>	69,84	68,35	67,99	67,74	67,49	66,96	65,07	53,36
<i>Taşıyıcı Araç Kullanım Oranı(%)</i>	56,13	58,37	70,38	69,66	81,94	84,29	89,23	92,65
<i>Gemilerin Terminalde Ortalama Servis Görme Süresi (Saat)</i>	25,29	25,88	26,22	26,39	26,98	27,89	29,12	29,97

**Tablo 4. İstif Vinci Sayısının 18 Olması
(Terminal İçi Taşıyıcı Araç: Dolu Konteynır Forkliftleri)**

<i>Terminal İçi Taşıyıcı Araç Sayısı</i>	36	33	30	27	24	21	18	15
<i>Elleçleme Miktarı (TEU/yıl)</i>	647.726	647.720	635.608	628.132	632.232	620.968	620.934	617.108
<i>Rihtim Vinci Kullanım Oranı(%)</i>	91,91	91,82	90,01	89,27	89,49	88,64	88,16	87,61
<i>İstif Vinci Kullanım Oranı(%)</i>	73,10	72,88	71,85	70,98	71,75	70,45	69,49	69,62
<i>Taşıyıcı Araç Kullanım Oranı(%)</i>	27,86	30,00	32,60	35,45	40,43	45,55	52,62	64,67
<i>Gemilerin Terminalde Ortalama Servis Görme Süresi (Saat)</i>	24,87	25,08	25,59	26,01	25,93	27,88	27,94	28,02

Tablo 3'te ve Tablo 4'te görüldüğü gibi terminalin yıllık konteynır elleçleme miktarı ilk duruma göre yaklaşık %50 artış göstererek 600.000 TEU'nun üzerine çıkmıştır. Bu durumda yeni darboğaz noktaları rihtim vinçleri gözükmektedir. Ulaşılabilecek diğer bir sonuç ise dolu konteynır forkliftlerinin kamyonlara göre daha verimli olmasıdır. Dolu konteynır forkliftleri terminal içi taşıma operasyonlarında kullanıldığı zaman, darboğaz yaratan rihtim vinçlerinin sayıları arttırılmadan, bu araçların sayısı azaltıldığında, terminalin yıllık konteynır elleçleme miktarı belirli bir düzeyde devam etmektedir.

Gerçekleştirilen tüm deneylerdeki sonuçlar ANOVA testi ile analiz edilmiştir. Test sonuçları deneylerin %5 anlamlılık düzeyinde birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, bir konteynır terminalinde taşıyıcı araç sayısı ve tipinin belirlenmesi için simülasyon modelinden yararlanılmıştır. Kurulan simülasyon modeliyle deneyler yapılarak, konteynır terminalindeki taşıyıcı araçların sayısı ve tipinin, belirlenmiş terminal performans kriterleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, terminaldeki ara stok sahasının ve terminal içi taşıyıcı araçların paylaşımının performans kriterleri üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

KAYNAKÇA

Duinkerken, M.B., Dekker, R., Kurstjens, S.T.G.L., Ottjes, J.A., Dellaert, N.P., 2006. Comparing Transportation Systems for Inter-Terminal Transport at the Maasvlakte Container Terminals. *OR Spectrum* 28, 469-493.

Günther, H.O., Kim, K.H., 2006. Container Terminals and Terminal Operations. *OR Spectrum* 28, 437-445.

Liu, C.I., Jula, H., Ioannou, P.A., 2002. Design, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminals. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 3(1), 12-26.

Murty, K.G., Liu, J., Wan, Y., Linn, R., 2005. A Decision Support System for Operations in a Container Terminal. *Decision Support Systems* 39, 309-332.

Nam, K. C., Kwak, K.S., Yu, M.S., 2002. Simulation Study Of Container Terminal Performance. *Journal Of Waterway, Port, Coastal And Ocean Engineering* 128(3), 126-132.

Shabayek, A.A., Yeung, W.W., 2002. A Simulation Model for the Kwai Chung Container Terminals in Hong Kong. *European Journal of Operational Research* 40, 1-11.

Stahlbock, R., Voß, S., 2008. Operations Research at Container Terminals: A Literature Update. *OR Spectrum* 30, 1-52.

Stenken, D., Voß, S., Stahlbock, R., 2004. Container Terminal Operation and Operations Research – A Classification and Literature Review. *OR Spectrum* 26, 3-49.

Vis, I.F.A., de Koster, R., 2003. Transshipment of Containers at a Container Terminal: An Overview. *European Journal of Operational Research* 147,1-16.

Vis, I.F.A., Harika, I., 2004. Comparison of Vehicle Types at an Automated Container Terminal. *OR Spectrum* 26, 117-143.

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.

Yang, C.H., Choi, Y.S., Ha, T.Y., 2004. Simulation-Based Performance Evaluation of Transport Vehicles at Automated Container Terminals. *OR Spectrum* 26, 149-170.

Yüksel, Y., Çevik, E., 2006. Liman Mühendisliği. *Deniz Mühendisliği Serisi* 3,125