

## KONTEYNER TERMİNALİNE YAPILACAK OPTİMUM YATIRIMIN SEÇİMİNDE BİLGİSAYAR SİMÜLASYON MODELLEMESİNİN KULLANIMI

Ergün DEMİREL<sup>1</sup> Mücahit ŞİŞLİOĞLU<sup>2</sup>

### ÖZET

*Ulaştırma ve küresel ticari faaliyetlerde limanlar çok önemli rol oynamaktadır. Her gün milyonlarca ton ticari mal dünya ekonomisinin işleyişi içinde limanlarda işlenmektedir. Limanların düzgün ve etkin çalışmasının sağlanmasında ve terminal altyapı yeteneklerinin geliştirilmesinde en uygun yatırım alternatifinin seçimi için, matematiksel optimizasyon tekniklerinin kullanımı gerekli olmaktadır.*

*Bu çalışmada; bir konteyner terminali altyapısının geliştirilmesi için optimum yatırım alternatifi seçiminde, simülasyon modellerinin ve Veri Zarflama Analizi optimizasyon yönteminin avantajlarını birleştiren bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu amaçla, bir intermodal konteyner terminalinde yürütülen faaliyetlerin bezetimini yapan ayrık (discrete) simülasyon modeli kullanılarak, limanda aylık olarak işlenen toplam konteyner sayısının ve ortalama gemi servis süresinin farklı yatırım senaryoları için tahmin edilmesi yaklaşımı esas alınmıştır. Hedef olarak seçilen konteyner terminali için optimum yatırım kararının belirlenmesinde, 16 değişik simülasyon senaryosu esas alınmıştır. Her bir senaryo için terminal ekipmanlarının farklı bileşenleri modelde girdi olarak kullanılmıştır. Söz konusu terminal parametreleri; rihtim uzunluğu, rihtimdaki vinç sayısı, liman içinde konteyner taşıyan çekici/kamyon sayısı ve konteyner depolama alanında kullanılan vinç sayısıdır. Optimizasyonun amacı; ortalama gemi servis süresini en aza indirmek ve aynı zamanda işlenen konteyner miktarını azami sayıya çıkartmaktır.*

*Müteakip aşamada, konteyner simülasyon senaryoları çıktılarının birbirlerine göre etkinliklerinin değerlendirilmesi için Veri Zarflama Analizi yöntemi bir araç olarak kullanılmıştır. Çalışmanın son bölümünde, Veri Zarflama Analizi sonuçlarını ve altyapı yatırım maliyetlerini girdi olarak kabul eden maliyet etkinlik analizi neticesinde, hedef konteyner terminalinin geliştirilmesi için gerekli olan minimum maliyetli optimum yatırım paketi karar teklifi yapılmaktadır.*

<sup>1</sup> Yrd. Doç. Dr. , Piri Reis Üniversitesi, Tuzla/ İstanbul, edemirel@pireis.edu.tr

<sup>2</sup> Doktora öğrencisi, Piri Reis Üniversitesi, Tuzla/ İstanbul, mucasis@yahoo.com

*Bu çalışma liman optimizasyonu için kullanılacak bütünleşik matematiksel modellerle ilgili bir araştırmayı içermektedir. Model; güvenilir, açık uçlu ve kullanıcı dostu olması nedeniyle, gelecekteki çalışmalar için de kullanılabilir.*

**Anahtar Sözcükler:** Konteyner terminali, Liman yatırım optimizasyonu, Simülasyon modellemesi, Veri zarflama analizi.

## 1. GİRİŞ

Simülasyon modellemesi ve finansal optimizasyon teknikleri, altyapı yatırımları da dahil olmak üzere konteyner terminallerinin (KT) planlama süreçlerinde kullanılmaktadır. Söz konusu modeller altyapı yatırımlarının seçiminde kullanılan etkin karar destek araçlarıdır. Bu çalışmadaki simülasyon modeli, KT'ye yatırımı planlanan yeni altyapı araçlarının sisteme sağlayacağı katkının veya performans artışının önceden tahmin edilmesinde ve buna göre yatırım kararının verilmesinde kullanılmaktadır.

KT'deki lojistik faaliyetlerin simülasyonu, genel olarak gemilerin limana varış ve ayrılışlarını, konteynerlerin yükleme/boşaltması ile terminal içindeki hareketlerini kapsar. Çok çeşitli ve pahalı altyapı araçlarının kullanımını gerektirmesi nedeniyle lojistik faaliyetler karmaşık ve yüksek maliyetlidir. KT'deki faaliyetler konteynerlerin en kısa sürede işlem görmesini hedeflediğinden, KT altyapısının planlaması ve faaliyetlerinin yönetiminde optimizasyon esas alınmaktadır. Bu noktada, KT'nin simülasyon modellemesinin yapılması KT yöneticilerine altyapı yatırım kararlarında maliyet etkenlik analizlerini yapabilmelerinde yardımcı olmaktadır. Çalışmanın amacı, KT'nin kapasitesini geliştirebilecek alternatif altyapı yatırım paketleri içinde maliyet etkin olarak en iyi olanı belirlenmiş etkenlik kriterlerine göre belirlemektir.

Çalışmada hedef liman olarak Ambarlı/İstanbul'daki MARPORT KT seçilmiştir. Simülasyon modellemesinde ise terminalde aylık işlenen konteyner sayısının TEU olarak maksimize edilmesi ve ortalama gemi servis süresinin minimize edilmesi esas alınmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde yazın taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde KT'deki faaliyet süreçleri tanımlanmış, bu süreçlerin simülasyon modellemesi yapılmış, altyapı yatırım alternatifleri belirlenerek modelde girdi olarak kullanılmış ve her bir alternatife ilişkin performans değerleri elde edilmiştir. Müteakiben bu bölümde Veri Zarflama Analizi yöntemi

kullanılarak her bir yatırım alternatifinin simülasyon performans çıktılarına göre göreceli etkinlik değerleri hesaplanmıştır. Bölüm dördte ise optimum yatırım paketinin belirlenmesinde kullanılacak olan maliyet etkenlik analizi yapılmıştır. Çalışmanın son bölümünde sonuçlar ve müteakip çalışma alanı önerileri sunulmuştur

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

KT'lerin tasarımında, planlamasında ve yönetiminde simülasyon modellemesi (SM) yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok değişik SM, limanlardaki faaliyetlerin, özellikle KT'lerdeki modellemesinde kullanılmıştır. Modellerdeki kodlama değişik bilgisayar lisansları ile gerçekleştirilmiş veya paket programlardan faydalanılmıştır. PORTSIM, Modsim II ve III, PCModel, SIMPACK, SIMAN, SIMLIB, SIMPLE++, SLX, SLAM ve Visual SLAM, ARENA, AweSim, Witness software, Taylor II, GPSS/H, TermSim, Extend-version 3.2.2, HARAP, MUST, Anylogic, Matlab, FORTRAN, Pascal, Visual BASIC, C, C++ ve Java bu alanda kullanılan bilgisayar yazılım lisansları ve paket programlarıdır. İncelemede, ARENA paket programıyla oluşturulmuş olan SM'leri esas alan makale ve incelemelere kaynak araştırmasında ağırlık verilmiştir. İnceleme konusuyla ilgi önem arz eden önceki bazı çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

Dragoviç ve diğerleri ; gemi-demir yeri-rıhtım bağlantılarını kapsayan değişik konteyner rıhtımı modellerinin GPSS/H programlama dili ile simülasyon modellerini yapmışlardır (Dragoviç vd, 2005:316-335). Pusan limanındaki rıhtım faaliyetlerinin optimizasyonunu esas alan sınırlı bir modeldir.

Huang ve diğerleri; Singapur limanındaki konteyner terminallerinin faaliyetlerini simüle etmişlerdir (Huang vd, 2007). Terminal dizaynı, kapasite planlaması ve faaliyetlerin planlanması konularında söz konusu modelin kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir.

Esmer ve diğerleri; Alsancak/İzmir limanı verilerini girdi olarak kullanan ARENA simülasyon modeliyle limanın verimliliğini ölçmüşlerdir. (Esmer vd, 2008)

Chan ve diğerleri; simülasyon modellerinde girdi olarak kullanılan gemi, konteyner ve taşıyıcı gibi nesnelere arasındaki zamanın olasılık dağılımının bulunmasına yönelik çalışmalar yapmışlardır (Chan vd,2008).

Zanen ve diğerleri; konteynerlerin istif sahasında kalma süreleri ile saha işgaliye oranları arasındaki ilişkiyi modellemişlerdir (Zanen vd,2008).

Legato ve diğeri; konteyner terminalindeki vinçlerin simülasyon modellemesini yapmışlardır (Legato vd, 2009).

Dragoviç ve diğeri; konteyner terminalindeki operasyonlara yönelik kararların optimizasyonunu sağlayacak bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir (Dragoviç vd, 2009). Bu modelin, terminal yönetimine ilişkin stratejik ve taktik kararların alınmasında karar vericiye kolaylık sağlayabileceği belirtilmiştir.

Esmer; “konteyner terminallerinde lojistik süreçlerin optimizasyonu ve bir simülasyon modeli” başlıklı doktora tezinde, gemi operasyonları, konteynerlerin liman sahasına taşınması, depolanması ve elleçlenmesi süreçlerinin optimize edilmesi için simülasyon modellemesi yapmıştır (Esmer, 2009).

Park ve diğeri; çeşitli Kore konteyner terminallerinin maliyet optimizasyonu ile TEU olarak çıktı optimizasyonunu sağlayacak simülasyon ve optimizasyon modellerini kullanmışlardır (Park vd, 2010).

Ateş ve diğeri; liman performans ölçümlerinde simülasyon ve Veri Zarflama Analizi(VZA) tekniklerini kullanmışlardır (Ateş, 2013: 1-2). Liman yöneticilerinin farklı işlevsel seçenekler konusunda verecekleri kararlarda model kullanımının destek olabileceği ifade edilmiştir.

Benzer şekilde Ateş ve diğeri; Karedeniz’e kıyısı olan beş ülkeye ait toplam dokuz konteyner limanının etkinliklerini birbirlerine göre göreceli olarak VZA ile ölçmüştür (Ateş vd, 2013).Çalışmada simülasyon modeli kullanılmadan, 2009 yılına ait gerçek liman verileri girdi ve çıktı olarak kullanılmıştır. Girdi olarak; konteyner rıhtımı uzunluğu, vinç sayısı, konteyner stok alanı ve rıhtım derinliği, çıktı olarak da yıllık işlem gören konteyner sayısı (TEU) esas alınmıştır.

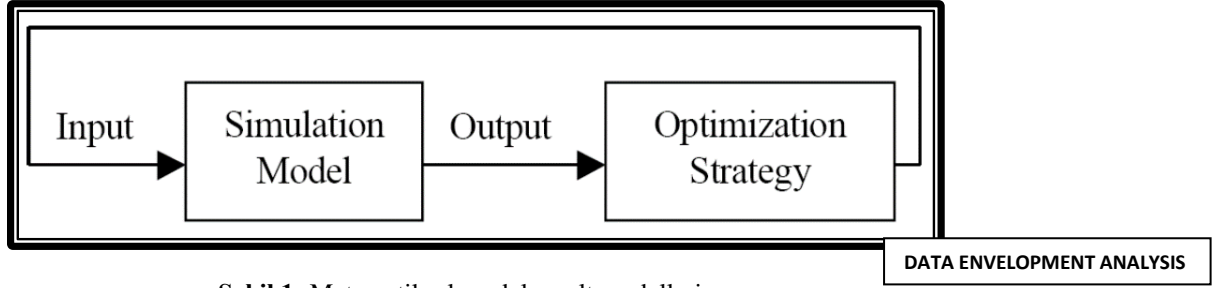
Güner ve diğeri; Türkiye’de liman özelleştirmelerinin operasyonel etkinlikleri üzerindeki etkisini VZA ile ölçmüştür (Güner vd, 2014: 218-236). Çalışmada limanların 14 yıllık verileri kullanılmış, ancak simülasyon modellemesi yapılmamıştır.

Önceki çalışmaların genel olarak simülasyon veya VZA modelleri üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Keza, altyapı yatırım alternatiflerinin maliyet etkenlik açısından bu modellerle birlikte değerlendirildiği bütünlük bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Bu incelemede ise; simülasyon, VZA ve maliyet etkenlik analizi birbiriyle bütünlük bir model olarak ele alınmıştır. Keza simülasyon modellemesinde, MARPORT konteyner limanının 2014 yılı gerçek verileri simülasyon modelinin girdilerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu çalışma ile mevcut bir konteyner limanına yapılması düşünülen alt yapı yatırım seçenekleri içinde maliyet etkenlik açısından en optimum olanın yatırım öncesi belirlenmesi imkanı kazanılmış olacaktır.

### 3. METOD

Araştırmanın amacı, bir konteyner terminalinin kapasitesinin artırılması için yapılacak olan alt yapı yatırım seçenekleri içerisinde optimum olanın seçim kararında kullanılacak bir matematiksel model oluşturmaktır. Modelde hedef kriterleri olarak, minimum altyapı maliyetiyle ortalama gemi servis zamanının minimize edilmesi ve aylık elleçlenen konteyner sayısının maksimize edilmesi seçilmiştir.

Matematiksel modelimiz aşağıda Şekil 1’de gösterildiği şekilde üç alt modelden oluşmuştur.. Bunlar; Simülasyon modeli, Veri Zarflama Analizi ve Maliyet Etkenlik Analizidir.



Şekil 1: Matematiksel model ve alt modelleri.

#### a. Simülasyon Modeli

Simülasyon modeli (SM) ve analizi; fiziksel bir sistemin bilgisayarda matematiksel modelinin oluşturulması ve bu sistemin analizinin yapılması sürecidir ( Chung, 2004:115). Sistem birbiriyle girdi ve çıktı değerleriyle ilişkili olan birimlerin oluşturduğu bütünleşik bir yapı olarak tanımlanabilir. Bu sistemlerin oluşum amaçları;

- Çalışmakta olan bir sistem hakkında bilgi sahibi olmak,
- Sistem performansının geliştirilmesi için çalışma ve yönetim politikalarını iyileştirilmek,
- Yeni konsept ve sistemleri kurmadan önce denemek,
- Faal olan sistemin işleyişini kesintiye uğratmadan, sistem hakkında detaylı bilgi sahibi olmaktır.

Sistemin mevcut olmadığı veya yeni bir sistemin satın alınması söz konusu olduğunda, simülasyon modeli ile önceden sistem performansı hakkında bilgi sahibi olunabilir. SM'nin maliyeti, üretime yönelik kapsamlı bir sistemin maliyetine göre çok düşüktür. Sisteme yönelik değişik çeşitlilikteki maliyetler önceden değerlendirilebilir. Keza, sistemi kurmadan

önce içinde yer alabilecek değişik cihaz ve eçhizeden en uygun olanları belirlenebilir.

Simülasyon avantajları arasında;

- Analizi kısa süre içinde yapılabilmesi
- Analitik modelleme ve formülasyon ihtiyacının az olması,
- Modelin görsel sunumunun kolay olması sayılabilir.

Bunula birlikte; girdi bilgilerinin yanlış olması durumunda simülasyonun yanlış sonuçlar verebileceği ve tek başına bir problemi çözmeye yeterli olamayacağı da hatırlanmalıdır. Simülasyon modellemesi konteyner terminalindeki işlem süreçleri, banka hizmet sistemleri ve hava alanı güvenlik sistemi gibi değişik üretim ve hizmet alanlarında kullanılabilir.

## **b. Konteyner Terminali Simülasyon Modeli**

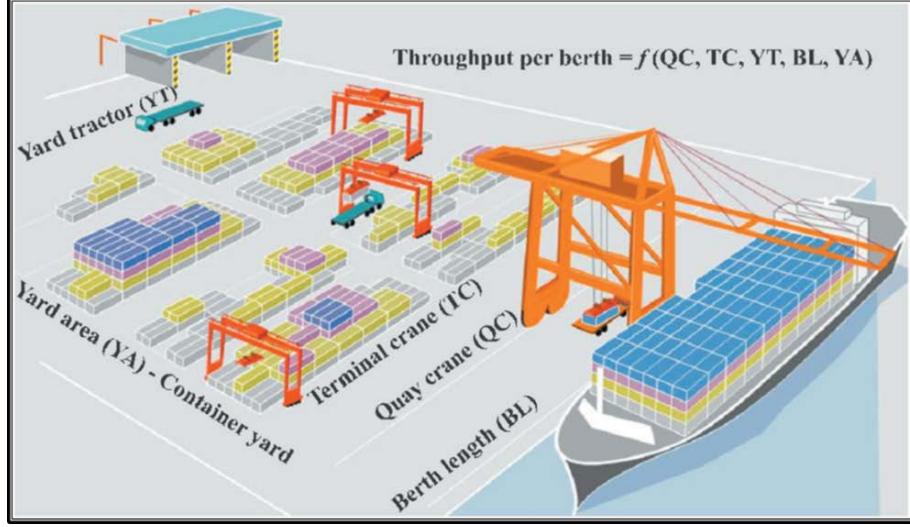
Analizin amacı ve hedef kriterleri tanımlandıktan sonra, Konteyner Terminalindeki(KT) süreçler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir (Esmer, 2009: 46-53);

**-Rıhtım Planlaması:** Limana varan gemiler uzunluğuna, taşıdığı konteynerlerin çeşitliliğine ve draftına göre tahsis edilen rıhtımlara aborda olmaktadır. Uygun rıhtım olmaması durumunda gemi alargada, demir üzerinde beklemektedir. Konteyner gemisinin limana varışıyla o gemi için servis zamanı başlatılmaktadır (Lim, 1998:105-110).

**-Konteynerlerin Yüklenmesi/ Boşaltılması:** Gemilere tahsis edilen rıhtım vinçleri ile yükleme/boşaltma yapılmaktadır.

**-Konteynerlerin Liman İçinde Taşınması ve Depolanması:** Liman içinde konteynerler çekiciler tarafından kendilerine tahsis edilmiş konteyner depolama alanlarına nakledilmekte ve oradaki lastik tekerlekli vinçlerle park sahasına istiflenmektedir. İhraç edilecek konteynerler için ise süreç tersine işlemektedir.

Bir konteyner terminalindeki cihaz ve teçhizatlar ile bunların kullanım yerleri Şekil 2’de gösterilmiştir



Şekil 2: Konteyner limanında kullanılan cihaz ve teçhizat.

Söz konusu süreçlerin Simülasyona ARENA paket yazılım ile yapılmış ve bilahare sistem bütünlüğü sağlanmıştır.

Sistemde kullanılan bazı parametrelerin tahmin edilmesinde MARPORT Limanındaki veriler esas alınmıştır.

Örnek olarak;

- Gemilerin liman geliş zamanlaması dağılımı ( ortalaması 7.35 saat olan expolansiyel olasılık dağılımı),
- Gemilerin tonajı, taşıdıkları konteyner sayısı ve çeşitliliği,
- MARPORT Limanındaki rıhtımların uzunlukları ve derinliği,
- Rıhtım vinçlerinin ve lastik tekerlekli vinçlerin konteyner işleme hızları,
- Çekici vasıtaların liman içindeki hızları ( üçgen olasılık dağılımı, parametreleri; 15, 25, 30 km/saat ),
- Limanda faaliyetler kesintisiz 7/24 icra edilmesi.

Limandaki faaliyetlerle ilgili yönetsel konularda yapılan varsayımlar ise aşağıdadır.

- Önce gelen gemi uygun boş ruhtum olduğunda rıhtım tahsisi yapılmaktadır,
- Çekici vasıtalar vinçlere tahsis edilmemiştir. Boş olan çekçi ihtiyaç duyulan vince ( rıhtım ve Lastik tekerlekli) gönderilmektedir,
- Simülasyon süresi bir haftadır. Enterpalosyonla bir aylık elleçlenen toplam konteyner sayısı hesaplanmaktadır.

Simülasyon senaryolarında esas olarak dört girdi parametresi değiştirilerek 16 değişik alt yapı senaryosu elde edilmiştir. Bu parametreler; rıhtım uzunluğu, Rıhtım Kreyni sayısı, çekici sayısı ve konteyner park alanlarında kullanılan lastik tekerlekli vinç sayısıdır. Örneğin, halihazırda MARPORT limanında toplam rıhtım uzunluğu 1,560 m. iken diğer senaryolarda rıhtım uzunlukları 1.800m., 2.000m. ve 2.300 m. olarak kabul edilmiş, diğer girdi parametreleri ise MARPORT limanındaki mevcut teçhizat sayısı esas alınarak sabit tutulmuştur (Rıhtım vinçi sayısı 10, Çekici sayısı 92 ve Lastik tekerlekli vinç sayısı 41). Benzer yaklaşım diğer girdi parametreleri için de uygulanarak sonuçta toplam 16 değişik simülasyon senaryosu elde edilmiştir. ARENA simülasyon programının çalıştırılması neticesinde elde edilen neticeler, diğer bir ifadeyle aylık elleçlenen konteyner sayısı ve ortalama gemi servis zamanı Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1:** Simülasyon senaryoları ve neticeleri

SENARYOLAR (DMU's)	GİRDİLER				ÇIKTILAR	
	RIHTIM UZUNLUĞU (M)	RIHTIM VİNCİ SAYISI	ÇEKİCİ SAYISI	TEKERLEKLİ VİNÇ SAYISI	AYLIK ELLEÇLENEN TEU	ORTALAMA GEMİ SERVİS ZAMANI(HR)
LENG-1	1.560	10	92	41	140.416	11,67
LENG-2	1.800	10	92	41	145.038	11,15
LENG-3	2.000	10	92	41	147.610	10,93
LENG-4	2.300	10	92	41	148.911	10,82
QCRN-1	1.560	12	92	41	141.615	11,54
QCRN-2	1.560	14	92	41	142.313	10,83
QCRN-3	1.560	16	92	41	143.232	10,01
QCRN-4	1.560	18	92	41	143.917	9,57
YRDT-1	1.560	10	100	41	140.965	11,62
YRDT-2	1.560	10	110	41	141.097	11,11
YRDT-3	1.560	10	120	41	142.187	10,56
YRDT-4	1.560	10	130	41	142.683	10,37
YRDC-1	1.560	10	92	45	141.085	11,56
YRDC-2	1.560	10	92	50	141.643	11,05
YRDC-3	1.560	10	92	55	142.455	10,86
YRDC-4	1.560	10	92	60	142.918	10,77



### c. Veri Zarflama Analizi

Veri Zarflama Analizi (VZA); aynı hedefler için çalışan birden fazla benzer sistemin birbirine göre göreceli etkinliklerini ölçmek için kullanılan ve parametrik olmayan bir yöntemdir. VZA'da etkinlikleri incelenen birimleri girdileri çıktılara dönüştüren ve etkinlikleri ölçülecek olan birimlerdir. Limanlar, bankalar, satış mağazaları, hastaneler gibi ürün veya hizmet sağlayan birimler olabilir (Ateş, Esmer, 2013: 73-80).

Bu incelemede ise Karar Birimleri; 16 değişik yatırım senaryosuna göre alt yapı imkânlarına sahip olacak konteyner terminali konfigürasyonlarıdır. Temel Liman konfigürasyonu olarak MARPORT / Ambarlı Limanındaki mevcut teçhizat ve fiziksel değerler esas alınmıştır. Değişik altyapı yatırımlarını içeren 16 simülasyonunda girdi olarak kullanılan dört parametre VZA'da Karar Birimleri için girdi olarak, keza simülasyonun modellemesi neticesinde elde edilen iki performans kriteri değeri de ( ortalama gemi servis zamanı ve aylık TEU adedi) Karar birimlerinin çıktısı olarak ele alınmıştır.

### d. VZA Modelinin Uygulaması

Modelimizde, 16 konteyner simülasyonu senaryosunun performansı incelenmiştir. Değişik sayıda KT altyapı teçhizatının kullanımını esas alan her bir yatırım alternatifi senaryosu karar birimi (DMU) olarak kabul edilmiştir. Karar birimlerinin birbirlerine göre görece etkinliklerini ölçmek için dört girdi ve iki çıktı kullanılmıştır. Girdi parametreleri; rıhtım uzunluğu(m), rıhtım vinçlerinin sayısı, çekici sayısı ve konteyner park yerlerinde kullanılan tekerlekli vinç sayısıdır. Çıktı parametreleri ise BS sonunda elde edilen aylık elleçlenen toplam konteyner sayısı(TEU) ile ortalama gemi servis zamanıdır. Tablo 1'de gösterilen bu parametreler VZA modelinde girdi ve çıktı olarak kullanılmıştır.

KT simülasyon alternatiflerinin 0.00 ile 1,00 arasında değer alabilecek göreceli etkinliklerini hesaplamak için ölçeğe göre sabit getiri (CCR) ve ölçeğe göre değişken getiri (BCC) yöntemleri kullanılmıştır. Bahse konu değişik VZA yöntemleriyle elde edilen etkenlik değerleri Tablo-2 de sergilenmiştir. Yazılım olarak CEPA (Centre for Efficiency and Productivity Analysis) tarafından geliştirilen DEAP Coelli versiyon 2.1 programı dört değişik hesaplama modeli için esas alınmıştır.

**Tablo 2:** Konteyner simülasyon modellerinin CCR ve BCC etkinlik değerleri.

SENARYO LAR (DMUs)	CCR		BCC	
	GİRDİ YAKLAŞI MLI	ÇIKTI YAKLAŞI MLI	GİRDİ YAKLAŞI MLI	ÇIKTI YAKLAŞI MLI
LENG-1	0,89	0,96	0,86	0,97
LENG-2	0,92	1,00	0,91	1,00
LENG-3	0,91	0,97	0,90	0,98
LENG-4	0,87	0,91	0,87	0,91
QCRN-1	0,91	0,96	0,92	0,97
QCRN-2	0,95	0,97	0,95	0,98
QCRN-3	1,00	0,99	1,00	0,99
QCRN-4	0,89	0,91	0,88	0,91
YRDT-1	0,88	0,78	0,86	0,78
YRDT-2	0,83	0,73	0,84	0,73
YRDT-3	0,81	0,71	0,80	0,72
YRDT-4	0,78	0,69	0,76	0,68
YRDC-1	0,96	0,86	0,93	0,86
YRDC-2	0,97	0,89	0,95	0,89
YRDC-3	0,93	0,84	0,89	0,85
YRDC-4	0,90	0,79	0,86	0,79

Girdi yaklaşılımlı CCR yöntemine göre, mevcut rıhtım uzunluğunun 240 m. uzatmayla 1.800 metreye çıkartılmasını öngören LENG-2 senaryosu 1,00 etkinlik değeri ile 16 KT simülasyon modeli içinde en etkin olarak

sınıflandırılmıştır. Benzer şekilde, çıktı yaklaşımı BBC yöntemine göre de rihim vinci sayısının 12'den 16'ya çıkarılmasını öngeren QCRN-3 senaryosu da 1,00 etkinlik puanı ile en etkin yatırım alternatifi olarak belirlenmiştir. VZA etkinlik değerlerinin göreceli sıralaması Tablo 3'te sunulmuştur.

**Tablo 3:** Yatırım paketlerinin VZA etkinlik değerlerine göre göreceli sıralaması.

SENARYO (DMU <sub>s</sub> )	ÇIKTILAR		GÖRECELİ ETKİNLİK SIRASI			
	ELLEÇLENEN AYLIK TEU	ORTALAMA SEVRİS ZAMANI (HR)	CCR		BBC	
			GİRDİ YAKLAŞIMLI	ÇIKTI YAKLAŞIMLI	GİRDİ YAKLAŞIMLI	ÇIKTI YAKLAŞIMLI
LENG-1	140.416	11,67	11	6	12	5
LENG-2	145.038	11,15	6	1	6	1
LENG-3	147.610	10,93	7	4	7	4
LENG-4	148.911	10,82	13	8	10	7
QCRN-1	141.615	11,54	8	5	5	6
QCRN-2	142.313	10,83	4	3	2	3
QCRN-3	143.232	10,01	1	2	1	2
QCRN-4	143.917	9,57	10	7	9	8
YRDT-1	140.965	11,62	12	13	13	13
YRDT-2	141.097	11,11	14	14	14	14
YRDT-3	142.187	10,56	15	15	15	15
YRDT-4	142.683	10,37	16	16	16	16
YRDC-1	141.085	11,56	3	10	4	10
YRDC-2	141.643	11,05	2	9	3	9
YRDC-3	142.455	10,86	5	11	8	11
YRDC-4	142.918	10,77	9	12	11	12

VZA analizinin daha ayrıntılı yapılması neticesinde, yatırım paketlerindeki etkinlik zafiyetinin yönetsel becerilerdeki yetersizliklerden veya uygun olmayan ölçekte kaynak kullanımından kaynaklandığı anlaşılabilir.

#### 4. MALİYET ETKENLİK ANALİZİ

Analizimizin son safhasında, hedefleri minimum maliyetle elde edebilecek olan yatırım paketleri belirlenmiştir. Bir önceki bölümde açıklandığı gibi VZA etkinlik katsayıları 1.00 olan LENG-2 ve QCRN-3 senaryoları yatırım kararı için aday olan senaryolardır. 16 konteyner terminali simülasyon modeli içinde en etkin karar birimleri olarak sınıflandırılmışlardır.

Söz konusu altyapı yatırım paketleriyle sağlanan iyileştirmeleri MARPORT limanın mevcut imkanlarıyla karşılaştıracak olursak, LENG-2 senaryosu rıhtım uzunluğunda 240 m.lik bir artış öngördüğünü görürüz. Diğer yandan, QCRN-3 senaryosu da ilave 6 rıhtım vincinin satın alınmasını gerektiren 16 rıhtım vincinin kullanımını esas almıştır.

MARPORT limanı yetkililerinden alınan bilgiye göre liman inşaatında bir metrekaarelik rıhtımın maliyeti 1.100 ABD dolarıdır. Rıhtım inşaatında asgari 40 metrelik genişlik esas alınmaktadır. Bu verilere göre inşaatı önerilen rıhtım alanı 9.600 m<sup>2</sup> (240\*40), maliyeti ise 10.560.000 dolardır (9.600\*1.100). Diğer yatırım paketi içinde yer alan yeni bir rıhtım vincinin fiyatı ise yaklaşık olarak 3,8 milyon dolardır. Temini öngörülen dört rıhtım kreyninin toplam maliyeti ise 22.8 milyon dolardır (3,8\*6).

Bu değerlerin mukayesesi için maliyet etkenlik oranı kullanılmıştır.

MALİYET ETKENLİK ORANI= VZA ETKİNLİK KATSAYISI/  
YATIRIM MALİYETİ (Mil. \$)

Daha yalın bir ifadeyle, maliyet etkenlik katsayısı; her bir birim yatırım maliyeti (milyon ABD doları) karşılığında elde edilen VZA etkinlik katsayısıdır. Buna göre yüksek maliyet etkenlik oranı, söz konusu yatırım projesinin diğer alternatiflere göre daha maliyet etkin olduğu anlamına gelmektedir. İncelememizdeki aday yatırım paketlerine ilişkin maliyet etkenlik oranları aşağıdadır;

LENG-2 MALİYET ETKENLİK ORANI= 1,00/10,56 = 0,0945

QCRN-3 MALİYET ETKENLİK ORANI= 1,00/22,80 = 0,0439

LENG-2 oranı QCRN-3 oranından büyük olduğu için (0,0945 > 0,0439), hedef liman olan MARPORT'a LENG-2 senaryosunu maliyet

etkinliği en yüksek yatırım paketi olarak önerebiliriz. Diğer bir ifade ile MARPORT konteyner terminali yöneticileri mevcut rıhtım uzunluğu olan 1.560 metreyi 1.800 metreye uzatacak Şekilde altyapı iyileŐtirme yapımına karar verebilirler. Bu analiz Tablo 4’de zet olarak gösterilmiştir.

**Tablo 4:** Yatırım projeleri iin maliyet etkenlik analizi.

		MARPORT MEVCUT ALTYAPI	OPTIMUM YATIRIM SENARYOLARI	
			LENG-2	QCRN-3
<b>GİRDİLER</b>	RIHTIM UZUNLUĞU (M)	<b>1.560</b>	<b>1.800</b>	<b>1.560</b>
	RIHTIM KREYN SAYISI	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>14</b>
	EKİCİ SAYISI	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>
	TEKERLEKLI KREYN SAYISI	<b>41</b>	<b>41</b>	<b>41</b>
<b>IKTILAR</b>	ELLELENNEN AYLIK TEU	<b>140.416</b>	<b>145.038</b>	<b>143.232</b>
	ORTALAMA SERVİS ZAMANI (HR)	<b>11,67</b>	<b>11,15</b>	<b>10.01</b>
<b>MALİYET ETKENLİK ANALİZİ</b>	VZA ETKİNLİK ORANI	<b>0,89</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
	IKTI İYİLEŐMESİ AYLIK TEU ARTIŐI	<b>0</b>	<b>4622</b>	<b>2816</b>
	IKTI İYİLEŐME YZDESİ AYLIK TEU ARTIŞ YZDESİ	<b>0</b>	<b>% 3,29</b>	<b>% 2,01</b>
	IKTI İYİLEŐMESİ ORTALAMA SERVİS ZAMANI AZALMASI	<b>0</b>	<b>0,52</b>	<b>1,42</b>
	IKTI İYİLEŐME YZDESİ ORTALAMA SERVİS ZAMANI AZALMA YZDESİ	<b>0</b>	<b>% 4,46</b>	<b>% 11,67</b>
	YATIRIM MALİYETİ (MİL. \$)	<b>0</b>	<b>10,56</b>	<b>22,80</b>
	MALİYET ETKİNLİK ORANI (ETKENLİK/MALİYET (MİL. \$))	<b>0</b>	<b>0,0945</b>	<b>0,0439</b>

## 5. SONUÇLAR

Deneysel sonuçlar, simülasyon modelinin değişik hedeflere bağlı olarak optimum yatırım stratejisinin belirlenmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Konteyner terminalinin performansı aylık elleçlenen konteyner sayısı(TEU) ve ortalama gemi servis zamanına göre belirlenmiştir. MARPORT limanı verileri girdi parametrelerinin tanımlanmasında esas alınmıştır. Bunlar; rıhtım uzunluğu (m), rıhtım kreynlerin sayısı, çekici sayısı ve lastik tekerlekli kreyn sayısıdır.

Simülasyon modeli ile rıhtım kreyni görevlendirmesi ve konteyner sahası modellemesi gibi alt modellerin bütünleştirilmesinde ve çıktıların istatistiksel olarak analizinde ARENA paket programından faydalanılmıştır. Modellemede, terminalin iyileştirilmesi için her biri değişik alt yapı yatırımı öngören 16 farklı senaryo girdi olarak kullanılmıştır. Alternatif yatırım önerilerinin göreceli etkinliklerinin belirlenmesinde, simülasyon girdi ve çıktı verilerini kullanan Veri Zarflama Analizi yönteminden istifade edilmiştir.

İncelemenin son safhasında, yatırım paketlerinde yer alan ekipmanların maliyetlerini de dikkate alan maliyet-etkenlik analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; MARPORT limanının azami aylık konteyner elleçleme sayısına ulaşması ve ortalama gemi servis zamanının minimum seviyeye indirilmesi ve bu hedeflere minimum maliyetle ulaşılabilmesi için mevcut liman boyunun 1.560 m'den 1.800 m'ye uzatılmasını öngören LENG-2 senaryosu karar vericilere yatırım paketi olarak önerilebilir.

Araştırmaların çoğunluğu operasyonel seviyede kaynakların optimum kullanımı konusuna yoğunlaşmış olmasına rağmen gelecekteki çalışmalar aşağıda belirtilen model geliştirmelerini de kapsayabilir;

- İntermodal ulaştırma kapsamında konteyner terminalinin kara ulaştırmasıyla bağlantısını sağlayacak alt-model,
- Değişik hedef (objective) parametrelerinin kullanımı, örneğin konteynerlerin limanda kalış sürelerinin (Dwell time) , çekicilerin toplam seyir mesafesinin minimize edilmesi,
- Altyapı yatırım alternatiflerine ilave olarak değişik terminal yönetim usullerinin denenmesi, örneğin çalışma saatlerinin değiştirilmesi, çekicilerin belirli rıhtım kreynlerine tahsis edilmesi, gemilere rıhtım tahsisinde önceliklendirme yapılması,

Keza, modelde yer alan üç alt modelin, simülasyon, VZA ve maliyet etkenlik alt modellerinin bir bilgisayar yazılımı ile entegrasyonun

sağlanması, işlemlerin hızlandırılması ve olası veri taşıma işlemlerinde ortaya çıkabilecek hataların önlenmesi açısından da fayda sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

- Akbay, K. S. (1996). Using Simulation Optimization to Find the Best Solution. IIE Solutions, May issue, 24-29.
- Ateş, A. ve Esmer, S. (2013), *Liman İşletmelerinde Performans Ölçümü*, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize.
- Avriel, M., Penn, M., Shpirer, N., Witteboon, S. (1998). *Stowage Planning For Container Ships To Reduce The Number Of Shifts*. Annals of Operations Research 76: 55-71.
- Chang, Y. T., Tongzon, J., Luo, M. ve Lee, P. (2008) *Estimation of Optimal Handling Capacity of a Container Port: An Economic Approach*. IAME. Dalian.
- Chung, C. (2004), *Simulation Modeling Handbook, A Practical Approach*, CRC Press LLC.
- Cooper, W. W., Seiford, L., M., (2007)., *Data Envelopment Analysis*, Springer, New York, 2007, 21-23, 87-97.
- Dragoviç, B., Park, Nam K. ve Mestoviç, R. (2009) *Container Terminals Modeling: New Approaches to Investigation*. IAME.
- Esmer, S., (2009), *Konteyner Terminallerinde Lojistik Süreçlerin Optimizasyonu ve Bir Simülasyon Modeli*, İzmir.
- Esmer, S., Yıldız, G., ve Tuna, O. (2008) *Konteyner Terminallerinde Gemi-Rıhtım Bağlantısının Benzetim Yöntemi ile Modellenmesi*. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVII. Ulusal Kongresi, İzmir.
- Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., Zaffalon, M. (1998). *Simulation And Planning Of An Intermodal Container Terminal*. Simulation 71(2): 107-116.

- Groenveld, R., Wanders, S.,(2009). *Computer Simulation Model International Container Terminal Tanjung Perak, Surabaya, Indonesia*, Delft University of Technology – Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- Güner, S. Coşkun, E. , (2014). *An Examination of Land and Equipment Efficiency of Ports*, 559-560.
- Henesey, L., (2005). A Simulation Model for Analysing Terminal Management Operations, Proceeding of the 4th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT '05), Hamburg, Germany.
- Hoffarth, L., Voss, S. (1994). *Liegeplatzdisposition auf einem Containerterminal-Ansaetze zur Entwicklung eines entscheidungsunterstuetzenden Systems*. In:Dyck-hoff H, Derigs U, Salomon M, Tijms H (eds) Operations Research Proceedings, pp. 89-95. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Lim, A. (1998). *The berth planning problem*. Operations Research Letters 22: 105-110.
- Nam, K.-C., Ha, W.-I. (2001). *Evaluation Of Handling Systems For Container Terminals*. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 127(3): 171-175
- Park, N., Dragović, B., Zrnić, N., Moon, D.(2009), *Simulation Approach of Container Terminal Modelling*, Tongmyong University, School of Port and Logistics.
- Park, Y.-M., Kim, K. H. (2003). *A Scheduling Method For Berth And Quay Cranes*. OR Spectrum 25: 1-23.
- Preston, P., Kozan, E. (2001). *An Approach To Determine Storage Locations Of Containers At Seaport Terminals*. Computers & Operations Research 28: 983- 995.
- Roll, Y., Hayuth, Y.,(1993). *Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (DEA)*, Marit. Pol. Mgmt., VOL. 20, NO. 2, 154.



Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı. (2012). Deniz çevresi  
<http://www.denizcilik.gov.tr/dm/beb/denizcevresi.aspx>, Erişim  
Tarihi: 08.12.2014

Wilson, I. D ve Roach, P. A. (2000). *Container Stowage Planning: A Methodology For Generating Computerised Solutions*. Journal of the Operational Research Society 51: 1248-1255.

Wöber, K. (2002), *Data Envelopment Analysis*, International Association of Maritime Economics.