

Konteyner Terminallerinde Ağır Vasıta Park Sahası Kapasitesinin Simülasyon Yöntemi ile Optimizasyonu

Mehmet Sinan YILDIRIM¹, Metin Mutlu AYDIN^{2*}, Ümit GÖKKUŞ³

ÖZET: Konteyner terminalleri konteyner yüklerinin dağıtıldığı, toplandığı, ulaştırma türünün değiştirildiği yerlerdir ve ülkelerin dış ticaret performansı için önemli birer ulaştırma yapılarıdır. Günümüzde konteyner birim yükünün ve türler arası ulaştırma olanaklarının gelişmesi farklı ulaştırma türlerinin kombine bir şekilde kullanılabilmesinin önünü açmıştır. Bu durum kombine yük taşımacılığında avantaj sağlayan demiryolu taşımacılığının önemini giderek daha da arttırmıştır. Bu gelişmelere rağmen bazı ülkelerde demiryolu taşımacılığı yerine karayolu taşımacılığının halen etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Diğer ulaştırma türleri ile karşılaştırıldığında konteyner terminallerinde karayolu taşımacılığı, bağlantılı karayolu altyapısında trafik sıkışıklığı, gürültü kirliliği, hava kirliliği vb. trafik ve çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu problem özellikle limanların çevresinde ağır vasıtaların park etme arayışları ve konteyner terminallerinde yük almak ya da boşaltmak için kuyruğa girmesiyle ciddi trafik ve çevresel problemlere neden olabilmektedir. Bu çalışmada belirtilen bu problemlerin çözümünde katkı sağlayabilmek amacıyla tipik bir konteyner terminali için ağır vasıta park sahası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Saha kapasitesi için öncül bir kapasite optimizasyon çalışması, simülasyon modeli desteği ile yapılmıştır. Park saha kapasitesinin belirlenmesi için bir maliyet optimizasyonu yöntemi geliştirilerek, simülasyon model çıktıları ile kapasite optimizasyonu hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda simülasyon optimizasyon yöntemi ile ağır vasıtaların yol ağlarında ve limanlarda beklemelerini önleyebilmek amacıyla optimum park sahası kapasitesinin belirlenebildiği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Konteyner, terminal, park alanı, ağır vasıta, optimizasyon, maliyet.

Optimization of the Parking Area Capacity for Heavy Vehicles at Container Terminals Using Simulation Optimization Approach

ABSTRACT: Container terminals are important infrastructures for trade performance of countries where containers are distributed, collected and change their transportation modes. Today, the development of the intermodal transportation and emerge of the marine containers has enabled the use of different transportation modes in a combined way. Therefore the importance of railway transportation, providing significant advantage for intermodal transportation, has gradually increased. Unfortunately, the road transport is still the leading transportation model in several countries. When compared with other modes of transport, road freight transportation cause severe traffic congestion problems and contributes to the environmental problems such as noise and air pollution. This problem is especially vigorous due to the truck parking and pooling phenomena around the container terminals and terminal gates. In this study, a typical capacity optimization study was conducted for a heavy vehicle parking area within a container terminal using a simulation model. A cost optimization procedure was proposed for determination of the optimum parking area capacity by utilizing the simulation model output. In the study, it was revealed that the optimum heavy vehicle parking area capacity can be determined by simulation optimization method coupled with a cost model.

Keywords: Container, terminal, parking area, heavy vehicle, optimization, cost.

¹ Mehmet Sinan YILDIRIM (Orcid ID: 0000-0001-5347-2456), ³Ümit GÖKKUŞ (Orcid ID: 0000-0002-2422-6392), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

² Metin Mutlu AYDIN (Orcid ID: 0000-0001-9470-716X), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Metin Mutlu AYDIN, e-mail: metinmutluaydin@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 19-11-2019

Kabul tarihi / Accepted: 25-01-2020

GİRİŞ

Konteyner terminalleri, rıhtımlar vasıtasıyla gemilerden konteynerlerin elleçlendiği ve barındırıldığı kıyı yapılarıdır. Günümüzde ise belirtilen bu işlevinden daha çok kombine taşımacılık ile ithal ve ihraç konteynerlerin hinterlanda dağıtıldığı veya hinterlandtan toplandığı önemli altyapı tesislerine evrilmişlerdir (Gökkuş ve ark. 2017; De Langen ve ark., 2012). Gelişen teknoloji ve ekonomik imkanlarla birlikte terminaller dünya ticareti için ülkelerin dış dünyaya açıldığı önemli lojistik kapıları olmaktadır. Son yıllarda dünya ticaret hacmi ve buna bağlı olarak limanlardaki yük elleçlemesi her yıl sürekli olarak artış göstermektedir (UNCTAD, 2015). Günümüzde limanlar, türler arası ulaştırma olanaklarının maksimum derecede kullanılabilirdiği konteyner birim yük tipine yüksek oranda geçiş sağlamışlardır. Konteyner yük tipine göre özelleşmiş konteyner terminalleri sayesinde yüklerin türler arası geçiş ve elleçleme süreleri önemli ölçüde azaltılarak limanları verimliliğinde ciddi bir artış sağlanabilmektedir (YPC, 2009).

Konteyner terminallerinin verimli bir şekilde işletilmesi ile liman operasyon maliyetleri azaltılarak terminalin diğer terminaller veya lojistik merkezler ile olan rekabetçiliği arttırılabilmekte, azaltılan maliyetler sayesinde konteyner terminali, lojistik firmalar tarafından daha çok tercih edilebilmektedir (TEM, 2014). Konteyner terminallerinin tercih edilebilirliğini etkileyen bir diğer önemli etken ise terminallerin sahip olduğu ulaştırma olanakları ile bağlantılı olarak yüklerin zamanında ve güvenilir bir şekilde terminale ulaştırılabilmesidir. Örneğin lojistik süreçteki gecikmelerin mümkün olduğunca minimize edilerek konteyner yüklemek veya boşaltmak amacıyla terminale gelen ağır vasıtaların terminaldeki bekleme sürelerinin minimum terminalin tercih edilebilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir.

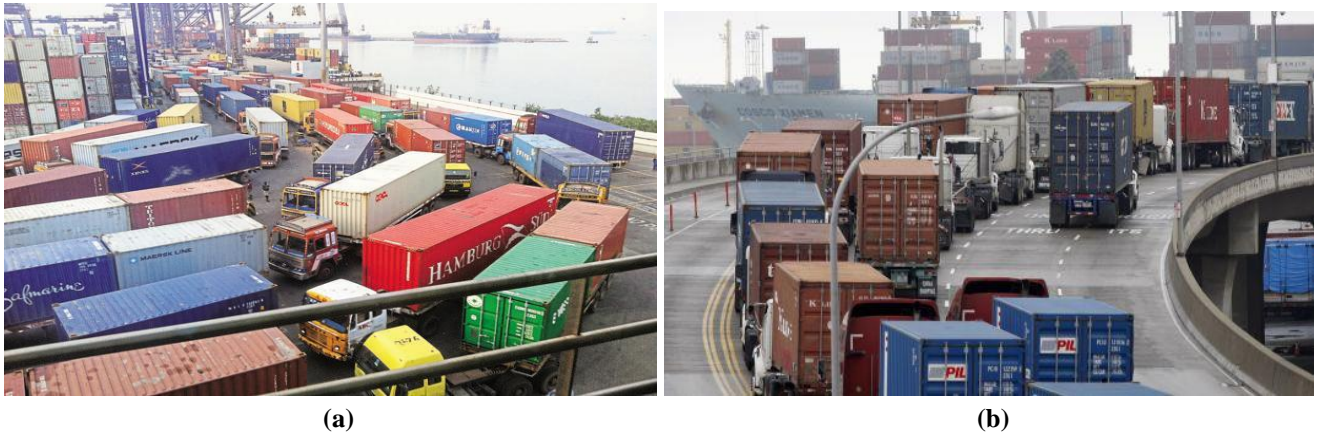
Bugün gelişmemiş ve gelişmekte olan birçok ülkedeki konteyner terminallerinde yükün dağıtılması ve toplanmasında aktif olarak kullanılan taşımacılık türlerinin başında ağır vasıtalarla yapılan karayolu taşımacılığı gelmektedir. Karayolu yük taşımacılığının yol açtığı en önemli problemlerden biri ise, ağır vasıtaların şehir merkezi ya da şehir merkezine yakın bölgelerde yer alan terminallere erişim sırasında şehir içi ya da şehirler arası yollarda oluşturdukları trafik sıkışıklığıdır. Özellikle park yeri sıkıntısı yaşanan bazı konteyner terminallerinde ağır vasıtalar yol kenarı, terminal giriş/çıkış kapıları, şehir içi ara sokaklar veya boş alanlara park ederek ya da park etmek için arayış içerisine girerek trafik sıkışıklığı ve park alanı problemlerine yol açmaktadır (Yıldırım ve ark., 2019). Bu çalışma kapsamında konteyner terminallerinde hizmet alan ağır vasıtaların oluşturduğu trafik sıkışıklığı probleminin çözümü için ağır vasıta park sahalarının etkin bir şekilde tasarımı önerilmiştir. Bu çözümün etkinliği, çalışmada simülasyon modeli ile sınanacaktır. Çalışma kapsamında tipik bir şehir içi liman için ağır vasıta park sahası tasarlanmıştır. Bu amaçla bir öncül kapasite optimizasyonu yöntemi geliştirilerek, kapasitenin tayini için simülasyon destekli bir optimizasyon modeli kullanılmıştır.

LİTERATÜR TARAMASI

Türkiye’de ve Dünya’da konteyner terminallerinin yıllar içerisinde gerek altyapı gerekse donanım ve teknolojik olarak çağın gerisinde kaldığı durumlar sıklıkla gözlemlenebilmektedir. Terminallerin kapasitesinin arttırılmasının önündeki en büyük problemlerden birisi olan mevcut lojistik faaliyetler kaynaklı sıkışıklık ve konteyner yükleme/boşaltma gecikmeleri, liman işletmecilerini, kullanıcılarını ve sonuç olarak bulunduğu bölgenin ekonomisini olumsuz etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, düşük işletim performansı ve uzun yükleme/boşaltma süreleri nedeniyle yaşanan gecikme ve kayıplar, yeni liman yatırımlarının farklı bölgelere kaymasına sebep olmaktadır (Awad-Núñez, 2016). Özellikle son yıllarda konteyner gemilerinin büyümesi ile artan liman ticaret hacmi limanlarda her geçen gün daha fazla ağır

vasıta giriş ve çıkışına yol açmaktadır (ESCAP, 2005). Konteyner gemilerini veya terminal giriş saatlerini bekleyen ağır vasıtalar, terminal kapısında ve çevre yollarda uzun ağır vasıta kuyruklarına sebep olmaktadır. Bu durum aynı güzergâhı kullanmakta olan diğer vasıta sürücüleri için ciddi bir trafik sıkışıklığı ve yol güvenliği problemine yol açabilmektedir (Lange ve ark., 2017). Belirtilen bu soruna ait örnek bir liman girişi ağır vasıta sıkışıklık problemi Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 1’de gösterilen liman veya konteyner terminali girişindeki bekleyen ağır vasıtaların sebep olduğu kuyruklar nedeniyle, şehirlerde ağır vasıta kaynaklı hava kirliliği, trafik sıkışıklığı ve kazalar görülebilmektedir.

Son dönemde ülkemizde limanların geliştirilmesi ve elleçleme kapasitesinin artırılması için çeşitli proje ve çalışmalar ortaya konulsa da özellikle limanın şehir içinde bulunması ile karayolu ulaştırması kaynaklı trafik sıkışıklığı problemleri ve ağır vasıta park saha sıkıntısı sorunlarına sıklıkla rastlanmaktadır. Bu problemin çözüm önerilerinin başında demiryolu bağlantılı kombine taşımacılık gelmektedir. Maalesef ülkemizde karayolu taşımacılığının son derece gelişmiş olması sebebiyle birçok liman ve terminalde yük taşımacılığında ağır vasıtalar halen etkin ve yaygın şekilde kullanılmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2015). Şehir merkezi veya merkeze yakın bölgelerde yer alan limanlara ve terminallere ulaşım sağlayan ağır vasıtalar trafik sıkışıklığı, yol kenarı uygunsuz ve riskli parklanma, kazalar ve emisyon kaynaklı hava kirliliği gibi birçok probleme yol açabilmektedir. Bu sorun birçok araştırmacı ve karar vericiler tarafından sıklıkla dile getirilen ve çözüm aranan önemli sorunlar arasında gösterilmektedir. Terminallerdeki ağır vasıta bekleme sürelerini azaltmak için literatürde farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir (Lange ve ark., 2017). Bu çalışmaların birçoğu konteyner terminallerine odaklanmış olup ağır vasıta gelişlerinin yoğunluğunu azaltmayı ve bir düzene sokmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla çözüm üretebilme amacıyla liman girişlerinde farklı kuyruklar ve vasıta önceliklerinin uygulanması (Gracia ve ark., 2016), limanların geceleyin daha aktif olarak kullanımının teşvik edilmesi (Bentolila ve ark., 2016), liman girişine kameralar yerleştirilerek girişteki kuyruğa göre işletim performansının değiştirilmesi (Huynh ve ark., 2011), ağır vasıta gelişlerinin optimize edilerek kontrol edilmesi ve yönetilmesidir (Huynh ve Walton, 2011).



Şekil 1. Konteyner terminallerinde giriş ve çıkışta bekleyen ağır vasıta trafiğine ait örnek görsel (a) Chennai limanı (URL-1) ve Long Beach / Kaliforniya limanı (URL-2).

Literatürde optimizasyon ve simülasyon yaklaşımının limanlar ve ulaştırma sistemlerinin modellenmesi amacı ile kullanıldığı bir takım çalışmalar mevcuttur. Örneğin Los Angeles ve Long Beach limanlarında ağır vasıta randevu sistemleri geliştirilmiştir. Önerilen bu sistemler ile ağır vasıtalar limana bitişik yerde bulunan park sahasından yük alacağı ya da boşaltacağı saati belirterek randevu almakta ve yükleme/boşaltma saatine kadar kendisine tahsis edilen alanda beklemektedir (Giuliano ve

O'Brien, 2008). Sistemin ağır vasıta kullanıcıları ve işletmeciler açısından içerdiği sorunlar nedeniyle daha da geliştirilmesi amacıyla Dünya'nın birçok bölgesindeki farklı limanlarda yapılan çalışmalar etkin şekilde devam etmektedir (Davies ve Kieran, 2015; Huynh ve ark., 2016). Liman giriş ve çıkışlarındaki parklanma karmaşasını önlemek amacıyla simülasyon ile modelleme çalışmaları da yapılmıştır. Bu çalışmalar ile liman operasyonları modellenerek, işletme performansları simülasyon yöntemi ile daha etkin şekilde değerlendirilebilmektedir (Merkuryev ve ark., 1998). Böylece limanlar ve bunlara ait park sahaları simülasyon yaklaşımı kullanılarak kolaylıkla ve etkin olarak tasarlanabilmektedir (van Vianen ve ark., 2014; Merkurjevs, 2006). Ayrıca liman ile bağlantılı ve önemli problemlerden birisi olan rıhtım atama problemi (Hartmann ve ark., 2011; Adam, 2009) simülasyon modelleri ile de incelenebilmekte ve çözüm önerileri geliştirilebilmektedir. Liman kaynaklı problemlere etkin çözüm önerisi getirebilmek amacıyla özellikle mikro düzeyde simülasyon modelleri ile liman operasyonları kapsamlı bir şekilde modellenebilmektedir (Vo ve ark., 2016; Steenberghen ve ark., 2012).

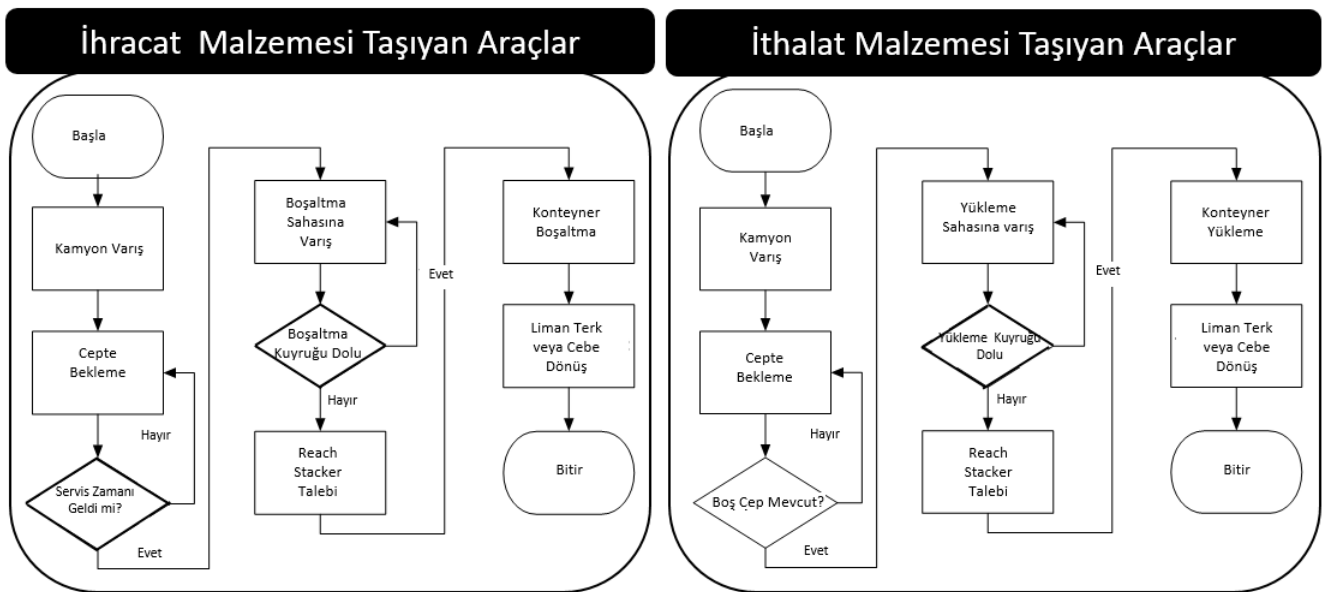
Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak konteyner terminalleri için kavramsal bir ağır vasıta park sahası çözümü önerilmiştir. Önerilen bu çözüm ile ağır vasıtaların mevcut terminal operasyonunu aksatmadan ve terminal dışında parklanmayı en aza indirerek yükleme ve boşaltma yapması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen optimizasyon çalışması ile farklı saha maliyet modelleri geliştirilmiş ve bu modeller kullanılarak ağır vasıta hizmet bekleme süreleri için optimum park sahası kapasiteleri belirlenmiştir. Çalışmada simülasyon destekli optimizasyon yönteminin ağır vasıta park sahalarının kapasite tasarımında kullanılabileceği ve kapasite tayini çalışmasında ağır vasıta varış dağılımı, park sahasında bekleme süresi, servis süresi ve park sahası geometrik tasarımının kapasite üzerindeki belirleyici parametreler olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Güncel literatür değerlendirildiğinde bu çalışmanın mevcut literatüre katkısı ve getirdiği yenilikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Literatürde kavramsal olarak ağır vasıta park sahalarına değinilse de tipik bir ağır vasıta park sahasının kapasitesi bu çalışma da oldu gibi optimizasyon tabanlı bir mikro simülasyon yöntemi ile planlanmamıştır. Bu çalışma bu boşluğu doldurma açısından oldukça önemlidir.
- Çalışmada seçilen metodolojiye uygun olarak ağır vasıta park saha tasarımı için saha geometrik özelliklerine bağlı ve saha alanını göz önüne alan bir özgün bir maliyet modeli geliştirilmiştir.
- Çalışmada ağır vasıta hareketleri mikroskobik ölçekte gerçekçi bir şekilde modellenerek ağır vasıtaların saha içi manevraları ve hareketleri etmen tabanlı simülasyon yöntemi ile ele alınmıştır.
- Çalışma kapsamında kullanılan yöntem ve elde edilen bulgular ülkemizdeki şehir limanları için ağır vasıta park saha kapasitelerinin belirlenmesi hususunda bir örnek teşkil etmekte ve gelecekteki çalışmalar için bir altlık oluşturmaktadır.

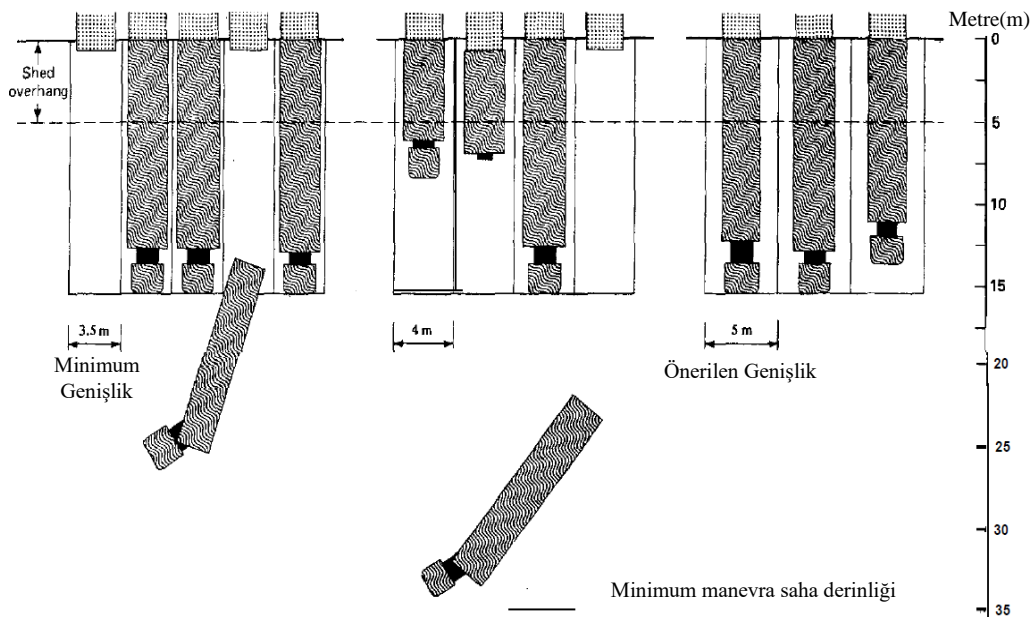
MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada şehir içi bir limanda ağır vasıta park sahası tasarımı için etmen tabanlı (Agent Based) simülasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım dahilinde saha tasarımında kullanılacak etmenler öncelikle kategorize edilerek birbirleriyle olan etkileşimleri belirli kural setleri dahilinde belirlenmiştir. Bir etmen tabanlı simülasyon modelinde kullanılan etmenler, sabit (statik) ve hareketli (dinamik) olarak kategorize edilebilmektedir. Bu çalışmada statik model etmenleri olarak park saha cepleri, park sahası, servis yolları, park giriş/çıkışı ve vasıta yükleme/boşaltma sahası parametreleri belirlenmiştir. Simülasyon yaklaşımındaki park sahası diğer tüm parametreleri kapsadığı için diğer tüm etmenleri içinde barındırmaktadır. Simülasyonda park cepleri ve yükleme/boşaltma sahaları ise ağır vasıtalar

tarafından kullanılan model kaynakları olarak teşkil edilmiştir. Böylece her bir ağır vasıta bu kaynakları kullanmak için talepte bulunmakta ve gerektiği süre boyunca kaynak ağır vasıtalar tarafından işgal edilmektedir. İşgal (kullanım) süresi sonunda ise kaynak diğer ağır vasıtaların kullanımı için serbest bırakılmaktadır. Modelde ağır vasıta park cepleri için bir bekleme kuyruğu tasarlanmıştır. Park sahasında boş bir cep bulamayan ağır vasıtalar park sahası dışında boş bir park cebinin açılmasını beklemekte ve böylece vasıtalar ceplere FIFO (İlk Gelen İlk Hizmet Alır) kuyruk yönetimi ile atanmaktadır. Boş bir park cebine atanan ağır vasıta, servis yollarını kullanarak park sahası içerisinde hareket etmekte ve cebe yerleşmektedir. Park sahası içerisindeki her bir ağır vasıta belirli bir bekleme süresi sonunda yükleme ve boşaltma operasyonları için servis sahasına çağrılarak yükleme/boşaltma işlemlerini tamamlamaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon modeli için ihraç ve ithal konteyner taşıyan ağır vasıtaların davranışlarına ait akış şemaları sırasıyla Şekil 2’de gösterilmiştir.



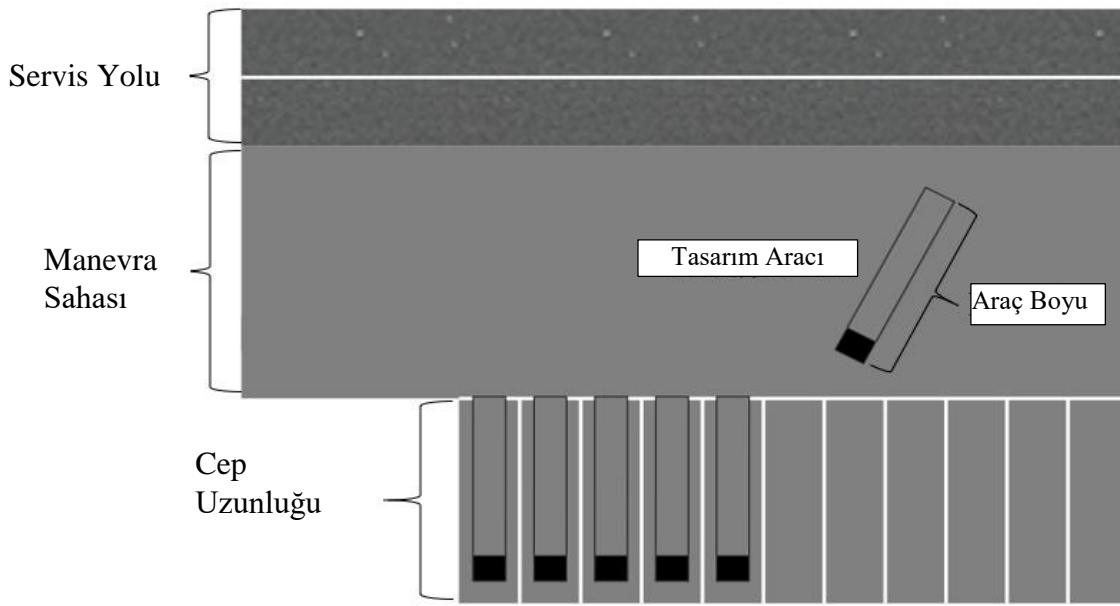
Şekil 2. İhraç ve ithal konteyner taşıyan ağır vasıtaların park sahasındaki davranışları için geliştirilen akış şemaları.



Şekil 3. Limanlarda yükleme/boşaltma istasyonları için önerilen boyutlandırma (UNCTAD, 1985).

Ağır vasıtaların kullandığı park sahalarının geleneksel ağır vasıta park sahalarına olan benzerlikleri yanında farklılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle liman konteynerleri ağır vasıtaların park sahası içerisinde rahatça manevra yapabilmeleri ve park ceplerine yanaşabilmeleri amacıyla daha büyük park cepleri ve geniş manevra alanlarının planlanması gerekmektedir. UNCTAD tarafından limanlardaki ağır vasıta yükleme-boşaltma istasyonları için önerilen park cepleri karakteristikleri ve manevra alanı boyutları Şekil 3’de görülmektedir (UNCTAD, 1985).

Bu çalışmada ise ağır vasıta park sahasının boyutlandırılmasında öncelikle park cepleri ile servis yollarının geometrik olan planlaması yapılmıştır. Çalışmada bir tercih olarak açılı park cepleri yerine dik yerleşimli park cepleri tasarlanarak ağır vasıtaların manevra yapabilmesi amacı ile servis yolları ile cepler arasında bir manevra sahası konumlandırılmıştır. Hazırlanan ağır vasıta park sahası tasarımı Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çalışma için tasarlanan ağır vasıta park sahası

Hazırlanan tipik ağır vasıta park saha tasarımı eşliğinde, saha inşaat maliyetinin hesaplanması için kullanılacak saha alanı, manevra sahası, park cebi boyutları ve saha kapasitesine bağlı olarak hesaplanacaktır. Modelde her bir park cebi için gerekli olan alanın hesaplanması için Denklem 1 geliştirilmiştir.

$$A_s = L_{sw} \times (L_{sd} + L_{cd} + L_{lw}) \times c_t \quad (1)$$

Burada;

A_s : Park cebi alanı (m^2),

L_{sw} : Park cebi genişliği (m),

L_{sd} : Park cebi boyu veya derinliği (m),

L_{cd} : Manevra sahası genişliği (m),

L_{lw} : Servis yolu genişliği (m),

c_t : Kullanılmayan alanları hesaba katan çarpım faktörüdür.

Modelde toplam ağır vasıta park saha alanı Denklem 2 ile hesaplanmaktadır.

$$A_{st} = N_s \times A_s \quad (2)$$

Burada;

A_{st} : Toplam park sahası alanı (m²)

N_s : Park cebi sayısıdır.

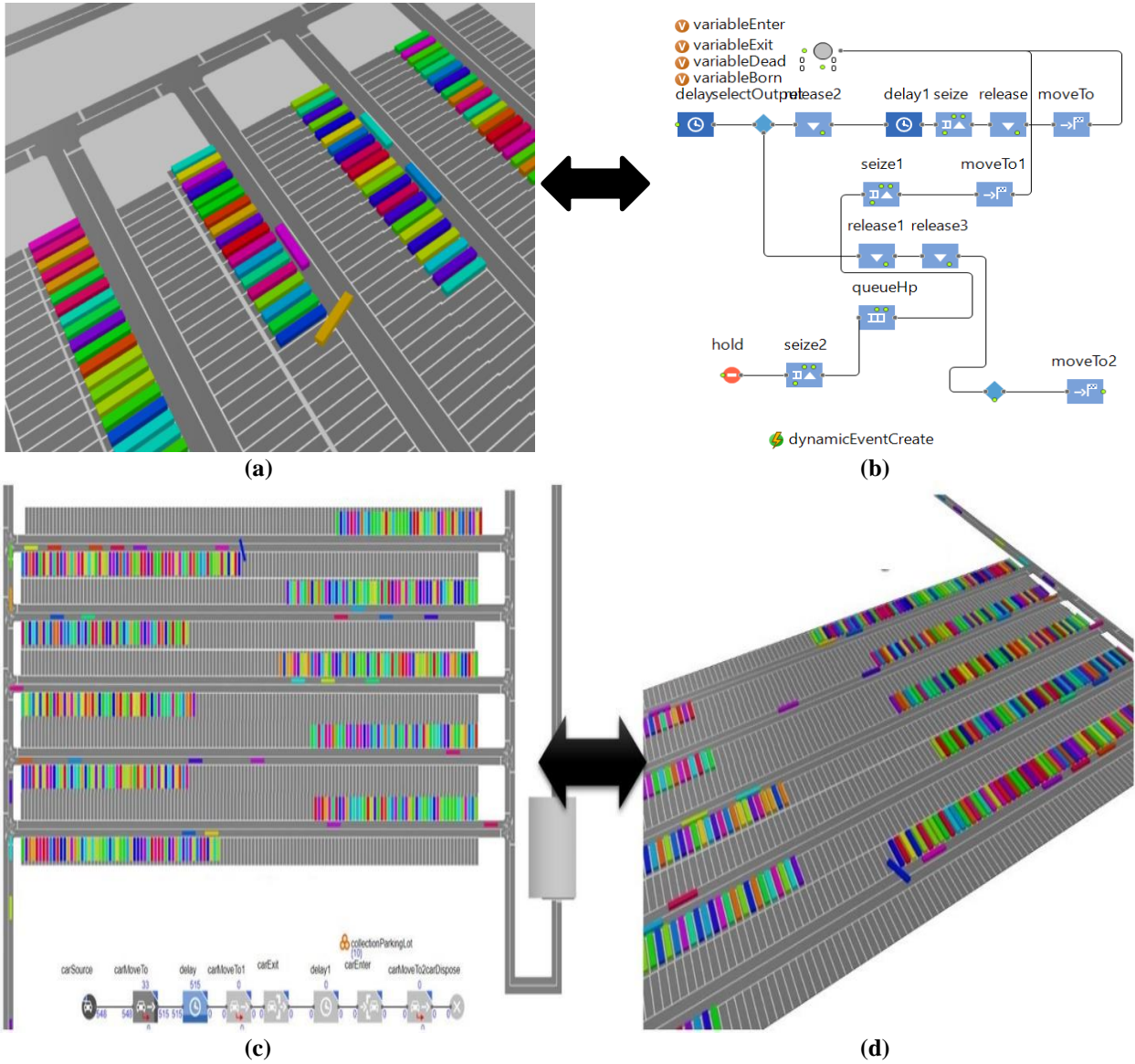
Çalışmada ağır vasıta park sahası tasarım parametreleri ve saha tasarımında kullanılacak tüm faktörler için gerçekçi kabuller yapılması amaçlanmıştır. Ağır vasıtalar için park cebi derinliği toplam vasıta boyu olarak kabul edilmiştir. Park cebi genişliği olarak UNCTAD (1985) tarafından önerilen ölçüler kullanılmıştır. Park sahasında ve modelde kullanılan tasarım aracı (ağır vasıtalar) için kabul edilen geometrik vd. özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Park sahası ve tasarım aracına (ağır vasıta) ait model girdi parametreleri.

Parametre No	Parametre Adı	Değer
1	Park cebi derinliği	19 m
2	Park cebi genişliği	5 m
3	Manevra sahası genişliği	8 m
4	Tasarım ağır vasıtası boyu	15 m (Treyler) + 4 m (Kabin)
5	Tasarım ağır vasıtası tipi	Treyler + Çekici
6	Vasıtaların sahadaki maksimum hızı	30 km h ⁻¹
7	Vasıtaların park manevrası hızı	5 km h ⁻¹
8	Vasıtaların hızlanma ve yavaşlama ivmesi	1.2 m s ⁻² 1.8 m s ⁻²

Park sahası işletimi için geliştirilen simülasyon modeli, AnyLogic programı kullanılarak mikroskobik ölçekte ve 3 boyutlu olarak gerçekçi bir şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan yazılım Java programlama dili tabanlı olup yazılım içerisinde simülasyon modelinin işleyişi Nesne Tabanlı (Object Oriented) Java programlama dili ile kodlanabilmektedir. Model hazırlanırken pratiklik açısından yazılımda mevcut olan çeşitli kütüphaneler kullanılmıştır. Özellikle ağır vasıtaların hareketlerini incelemek ve park saha ceplerini tasarlamak için “Road Traffic Library” kütüphanesi kullanılmıştır. Ağır vasıtaların park sahasına gelişi, hizmet alması ve ilgili gecikmeler ise yazılımın ana kütüphanesinde bulunan çeşitli operasyon blokları aracılığıyla modellenmiştir. Modelde ağır vasıtalar farklı model varlıkları olarak “carSource” bloğunda üretilmiştir. Ağır vasıtalar kendi başlarına uygun bir park cebi arayarak cebe hareket eder, park cebini geldiğinde manevra yaparak ilgili cebe girer ve önceden belirlenmiş bir servis süresine kadar cepte beklerler. Ağır vasıtaların model içerisindeki hareketleri “carMoveTo” blokları ve vasıtaların servis beklemeleri “Delay” blokları ile modellenmektedir. Ağır vasıtaların yükleme ve boşaltma operasyonları ise konteyner terminalindeki vinçlerin modellenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda her bir ağır vasıta servis sahasına geldiğinde “Seize” ve “Release” blokları kullanarak vinçlerden hizmet almakta ve operasyon bitiminde vinçleri serbest bırakmaktadır.

Çalışmada park sahası tasarlanırken için öncelikle servis yolları ve park cepleri yazılım kütüphanesinde yer alan yol ve saha etmenleri kullanılarak oluşturulmuştur. Ağır vasıtaların yükleme ve boşaltma yapacağı bölge park sahasının dışında konumlandırılmıştır. Modelde her ağır vasıta farklı bir renk ile gösterilmektedir. Simülasyon modelinin işletimi esnasında ağır vasıta hareketleri ve manevraları, vasıta hareketlerine ait mantıksal bloklar ve modelin 3 boyutlu görüntüleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Simülasyon modelindeki (a) ağır vasıta hareketleri, (b) yazılım blokları ile ağır vasıtaların üretilmesi ve (c-d) modelin 3 boyutlu görüntüsü.

Çalışmada optimum saha kapasitesinin belirlenmesi amacı ile bir maliyet modeli geliştirilmiştir. Ağır vasıtaların park sahasının dolu olması durumunda saha giriş kuyruğunda beklemesi ile ortaya çıkacak toplam bekleme sürelerinin bir fonksiyonu olan ağır vasıta bekleme ceza maliyeti, önerilen optimum saha kapasitesinin tayini modelinde kullanılacaktır. Bu mantık çerçevesinde saat cinsinden toplam ağır vasıta bekleme süresi ile birim saatlik bekleme maliyetinin çarpımı ile toplam ağır vasıta bekleme maliyeti tespit edilmiştir. Hesaplanan bu maliyet yıllık park sahası amortisman giderine eklenerek, yıllık maliyetlerin minimizasyonu amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca park saha arazisinin yıllık maliyeti ve yapım maliyeti metrekare başına \$50, proje ömrü 20 yıl ve amortisman hesabı için yıllık iskonto oranı dolar bazında %4 olarak kabul edilerek maliyet analizi yapılmıştır. Ağır vasıtalara ödenen bekleme maliyetleri ise saatlik \$10 olarak kabul edilecektir (UNCTAD, 1985; Davies ve Kieran, 2015; Huynh ve ark., 2016).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Optimizasyon Analizi Sonuçları

Çalışmada kapsamında geliştirilen simülasyon modeli işletim koşulları aynı ağır vasıta varış dağılımı için farklı servis hizmet süreleri kullanılarak oluşturulmuştur. Ağır vasıtaların park sahasında bekleme sürelerinin normal istatistiksel dağılıma uyduğu (normal dağılım) kabul edilerek ortalama bekleme süresi 2 saat ve standart sapması 0.4 saat (S-1 senaryosu), ortalama bekleme süresi 4 saat ve standart sapması 0.5 saat (S-2 Senaryosu) ve ortalama bekleme süresi 5 saat ve standart sapması 0.6 saat (S-3 Senaryosu) olmak üzere 3 farklı ağır vasıta bekleme senaryoları planlanmıştır (Çizelge 2-4). Toplamda her bekleme senaryosu için ise 13 farklı park saha kapasitesi içeren alt işletim senaryoları hazırlanmıştır. Bu yaklaşım ile toplamda işletilecek senaryo sayısı 39 olmuştur. Ağır vasıta yükleme ve boşaltma süreleri de tüm senaryolar için normal olasılık dağılımına uyduğu kabul edilerek, modelde ortalaması 10 dakika ve standart sapması 2 dakika olan normal dağılım fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Model işletiminde Monte Carlo işletme çalışması yapılmayarak her bir senaryo için tek bir model koşumu gerçekleştirilmiştir. Model çıktıları değerlendirme aşamasında model performans indisi olarak ortalama ağır vasıta bekleme süresi (saat araç⁻¹) dikkate alınarak elde edilmiştir.

Çizelge 2. S-1 Senaryosu için elde edilen model işletim sonuçları ($\bar{x} = 2$; $\sigma = 0.4$)

Senaryo No	Kapasite (araç)	Alan (m ²)	Saha Maliyeti *10 ⁶ (\$)	Yıllık Saha Maliyeti *10 ⁶ (\$ yıl ⁻¹)	Ort. Bekleme (saat araç ⁻¹)	Üretilen Vasıta (sayı)	Toplam Bekleme *10 ⁶ (saat)	Toplam Maliyet *10 ⁶ (\$)
1	300	63.2	9.48	0.70	18.0	421.46	227.59	228.29
2	600	126.4	18.95	1.40	8.0	420.97	101.03	102.43
3	900	189.5	28.43	2.09	2.3	421.79	29.10	31.20
4	1200	252.7	37.91	2.79	0.4	421.30	5.06	7.85
5	1500	315.9	47.39	3.49	0.0	421.11	0.00	3.49
6	1800	379.1	56.86	4.18	0.0	421.38	0.00	4.18
7	2100	442.3	66.34	4.88	0.0	421.03	0.00	4.88
8	2400	505.4	75.82	5.58	0.0	420.24	0.00	5.58
9	2800	589.7	88.45	6.51	0.0	420.44	0.00	6.51
10	3000	631.8	94.77	6.97	0.0	420.12	0.00	6.97
11	4000	842.4	126.36	9.30	0.0	419.66	0.00	9.30
12	5000	1053.0	157.95	11.62	0.0	420.21	0.00	11.62
13	6000	1263.6	189.54	13.95	0.0	420.75	0.00	13.95

Çalışma kapsamında elde edilen model işletim sonuçları detaylı olarak değerlendirildiğinde, S-1 senaryosu için 1500 araçlık, S-2 senaryosu için 2100 araçlık ve S-3 senaryosu için ise 2800 araçlık park saha kapasitelerinin kullanılması durumunda, araçların bekleme yapmadan park hizmeti aldıkları görülmüştür. Yani bu durumda park alanını kullanacak olan ağır vasıtalardan hiçbirisi gereksiz bir bekleme maruz kalmadan önerilen park alanı içinde kendisine ait olan cebe gidip kolaylıkla ve hızlı bir şekilde park edebilecektir. Dolayısıyla bu durum park alanı içerisinde gereksiz kuyruklara, gecikme ve kapasite kayıplarına neden olmayacaktır. Bu çalışmada şehiriçi limanlar için önerilen pilot ağır vasıta park alanında herhangi bir gereksiz beklemenin olmaması, yükleme ve boşaltma için limanı kullanacak ağır vasıtaları şehiriçi ana yollarda çok yavaş hareket etmesi, park yeri araması, yol kenarlarına park ederek şehiriçi trafiği olumsuz yönde etkilemesi gibi olumsuz durumların önüne geçebilecektir. Şehiriçi için optimum kapasiteye sahip park alanları ağır vasıta sürücülerinde oluşan park yeri arama stresinin önüne geçecek ve ayrıca ağır vasıtaların tam zamanında yükleme/ boşaltma alanına giriş yapmalarını sağlayarak limanların işletme performanslarını da arttıracaktır.

Yapılan analizlerden optimum saha kapasitesinin belirlenmesi amacıyla farklı kapasite değerlerine göre maliyet değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan park sahası maliyetlerinin kapasiteye göre değişimi önerilen 3 farklı senaryo için (S-1, S-2 ve S-3) Şekil 6'da görüldüğü gibi elde edilmiştir.

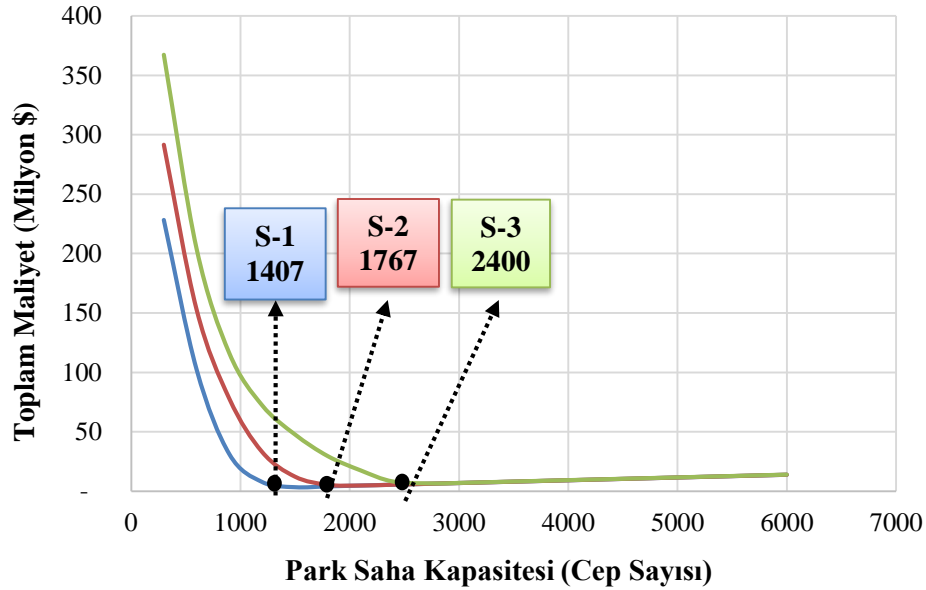
Şekil 6 incelendiğinde toplam maliyet, ortalama servis bekleme süresi ve park saha kapasitesinin (cep sayısı) orantılı olarak değişmediği görülmektedir. Çalışmada optimizasyon analizi ile belirlenen saha kapasiteleri kullanılarak 3 farklı senaryo için optimum saha kapasiteleri, toplam maliyet eğrisi kullanılarak belirlenmiştir. Her bir senaryoda eğrilerin değişim noktalarından S-1 (ortalama 2 saat bekleme), S-2 (ortalama 4 saat bekleme) ve S-3 (ortalama 6 saat bekleme) senaryoları için optimum park sahası kapasiteleri sırasıyla 1407, 1767 ve 2400 park cebi (ağır vasıta sayısı) olarak tespit edilmiş ve önerilmiştir. Limanların bulunduğu bölgenin özelliklerine, limanların karakteristik ve işletim özelliklerine göre bu kapasiteler değişiklik gösterebilmektedir.

Çizelge 3. S-2 senaryosu için elde edilen model işletim sonuçları ($\bar{x} = 4$; $\sigma = 0.5$)

Senaryo No	Kapasite (araç)	Alan (m ²)	Saha Maliyeti *10 ⁶ (\$)	Yıllık Saha Maliyeti *10 ⁶ (\$ yıl ⁻¹)	Ort. Bekleme (saat araç ⁻¹)	Üretilen Vasıta (sayı)	Toplam Bekleme *10 ⁶ (saat)	Toplam Maliyet *10 ⁶ (\$)
1	300	63.2	9.48	0.70	23.0	421.46	290.81	228.29
2	600	126.4	18.95	1.40	12.0	420.53	151.39	102.43
3	900	189.5	28.43	2.09	6.0	420.33	75.66	31.20
4	1200	252.7	37.91	2.79	2.4	420.07	30.25	7.85
5	1500	315.9	47.39	3.49	0.7	420.93	8.84	3.49
6	1800	379.1	56.86	4.18	0.1	421.28	1.26	4.18
7	2100	442.3	66.34	4.88	0.0	421.24	0.00	4.88
8	2400	505.4	75.82	5.58	0.0	420.91	0.00	5.58
9	2800	589.7	88.45	6.51	0.0	421.60	0.00	6.51
10	3000	631.8	94.77	6.97	0.0	421.82	0.00	6.97
11	4000	842.4	126.36	9.30	0.0	422.67	0.00	9.30
12	5000	1053.0	157.95	11.62	0.0	423.62	0.00	11.62
13	6000	1263.6	189.54	13.95	0.0	423.92	0.00	13.95

Çizelge 4. S-3 Senaryosu İçin Elde Edilen Model İşletim Sonuçları ($\bar{x} = 5$; $\sigma = 0.6$)

Senaryo No	Kapasite (araç)	Alan (m ²)	Saha Maliyeti *10 ⁶ (\$)	Yıllık Saha Maliyeti *10 ⁶ (\$ yıl ⁻¹)	Ort. Bekleme (saat araç ⁻¹)	Üretilen Ağır Vasıta (sayı)	Toplam Bekleme *10 ⁶ (saat)	Toplam Maliyet *10 ⁶ (\$)
1	300	63.2	9.48	0.70	29.0	421.46	366.67	228.29
2	600	126.4	18.95	1.40	16.0	422.07	202.59	102.43
3	900	189.5	28.43	2.09	9.0	421.85	113.90	31.20
4	1200	252.7	37.91	2.79	5.5	420.99	69.46	7.85
5	1500	315.9	47.39	3.49	3.5	421.77	44.29	3.49
6	1800	379.1	56.86	4.18	2.0	422.57	25.35	4.18
7	2100	442.3	66.34	4.88	1.0	422.20	12.67	4.88
8	2400	505.4	75.82	5.58	0.2	422.54	2.54	5.58
9	2800	589.7	88.45	6.51	0.0	421.98	0.00	6.51
10	3000	631.8	94.77	6.97	0.0	421.89	0.00	6.97
11	4000	842.4	126.36	9.30	0.0	421.91	0.00	9.30
12	5000	1053.0	157.95	11.62	0.0	422.27	0.00	11.62
13	6000	1263.6	189.54	13.95	0.0	422.22	0.00	13.95



Şekil 6. Farklı park saha kapasiteleri (cep sayısı) ve işletim senaryoları için saha maliyeti optimizasyonu.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde limanlar ve konteyner terminallerindeki ağır vasıtalar için park sahası yetersizliği, şehir içi trafiği olumsuz etkileyen ve ciddi sıkışıklıklara sebep olan güncel bir sorundur. Özellikle ülkemizde İzmir limanı vb. tam şehir merkezinde yar alan limanlarda ağır vasıta ile yük taşımacılığı söz konusu olduğunda ağır vasıtalar için park sahası problemleri ortaya çıkabilmektedir. Özellikle park sahası yetersiz olan şehir içi limanlarda limana yükleme veya boşaltma yapmak için gelen ağır araçlar yükleme/boşaltma saati öncesinde liman etrafında ya da şehiriçi yol kenarlarında park edip beklemek amacıyla arayışlara girebilmektedirler. Şehiriçi yollardaki bu park yeri arayışı, yol kenarına park etme durumu ve yavaş giderek vakit kazanma durumları şehiriçi yollardaki trafiği olumsuz etkileyebilmektedir. Bu sorunun çözümü için literatürde farklı çözüm önerileri öne sürülmüş olmasına rağmen konteyner terminallerinde ağır vasıta park sahalarının optimum tasarımı ve etkin şekilde kullanımı konusunun yeterince değerlendirmeye alınmadığı görülmektedir. Bu sorunun çözümü için kısıtlı genişleme alanlarına sahip limanlarda optimum boyutlardaki park sahalarının tasarlanarak işletmeye sokulması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında ise belirtilen bu soruna dikkat çekmek ve örnek bir çözüm önerisi geliştirebilmek amacıyla simülasyon modelleri ile etkileşimli bir optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla simülasyon modeli ve saha alanına bağlı olan bir maliyet modeli geliştirilmiş olup genel bir şehir içi konteyner terminal örneği için optimum ağır vasıta park saha kapasitesi belirlenmiştir. Bu amaçla yapılan park sahası kapasite hesabında ağır vasıta geliş dağılımları ve servis bekleme süreleri farklı şekillerde kabul edilmiştir. Optimum ağır vasıta park alanı kapasitesini belirlemek amacıyla önerilen 3 farklı S-1 (ortalama bekleme süresi 2 saat), S-2 (ortalama bekleme süresi 4 saat) ve S-3 (ortalama bekleme süresi 6 saat) model senaryosu için yapılan değerlendirmede, 1407, 1767 ve 2400 araçlık park sahasının kullanılması ile optimum park sahası kapasitelerine ulaşılabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca elde edilen analiz sonuçlarından park sahalarının kapasitelerinin (park sahası kapasitelerinin) geliş dağılımlarının, servis bekleme sürelerinin ve ağır vasıtaların operasyon sürelerinin optimum kapasiteler üzerinde farklılıklara neden olduğu görülmüştür. Bu sonuç, konteyner terminallerinde ağır vasıta park saha kapasitelerinin doğru ve gerçekçi bir şekilde hesaplanabilmesi için

bu tip belirleyici parametre verilerinin etkin bir şekilde belirlenmesinin büyük bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Ağır vasıtalar ile yük taşımacılığının etkili olduğu konteyner terminalleri ve limanlarda bu tür park sahalarının optimum kapasiteyi sağlayacak şekilde inşası hem terminale yük boşaltmak ya da terminalden konteyner almak için gelen ağır vasıtaların bekleme sürelerini ve işletme maliyetlerini azaltacaktır. Ayrıca bu tür park sahalarının inşası ile ağır vasıtalar doğrudan park sahalarına gelerek yükü alacağı saate ya da yükü aldıktan sonra trafiğe çıkışına izin verilinceye kadar sahada bekleyebilecektir. Böylece ağır vasıta sürücüleri şehir içi ya da şehirlerarası trafikte kendisi için uygun park yeri arama kaygısı gütmeyecek, agresif, trafikte tehlikeli ve yol kapasitesini azaltıcı davranışlar içerisine girmeyecektir. İnşa edilecek bu tür sistemli ve uygun kapasiteli park sahalarında terminalden konteyner alacak ve indirecek ağır vasıtaların kontrollü ve sistematik bir şekilde giriş çıkışları sağlanarak limanların ve kullanıcıların işletim maliyeti açısından pozitif katkılar sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Adam S, 2009. Simulation and analysis of port bottlenecks: the case of Male (Doctoral dissertation, Lincoln University). pp. 1–130.
- Awad-Núñez S, Soler-Flores F, González-Cancelas N, Camarero-Orive A, 2016. How should the Sustainability of the Location of Dry Ports be Measured?. *Transportation Research Procedia*, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.073>
- Bentolila DJ, Ziedenveber RK, Hayuth, Y, Notteboom, T, 2016. Off-peak truck deliveries at container terminals: the “Good Night” program in Israel. *Maritime Business Review*, 1(1), 2-20.
- Davies P, Kieran M, 2015. Port congestion and drayage efficiency, paper presented at the METRANS international urban freight conference. Long Beach, CA.
- De Langen PW, Van Meijeren J, Tavasszy LA, 2012. Combining Models and Commodity Chain Research for Making Long-Term Projections of Port Throughput: an Application to the HamburgLe Havre Range. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 12(3).
- Dieussaert K, Aerts K, Steenberghen T, Maerivoet S, Spitaels K, 2009. SUSTAPARK: An agent-based model for simulating parking search. In *AGILE International Conference on Geographic Information Science*, Hannover pp. 1-11.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP) (2005). *Regional Shipping and Port Development Strategies (Container Traffic Forecast)*.
- Giuliano G, O’Brien T, 2008. Responding to Increasing Port-related Freight Volumes: Lessons from Los Angeles/Long Beach and Other US Ports and Hinterlands. *JTRC OECD. ITF Discussion Paper 2008-12*.
- Gökkuş Ü, Yıldırım MS, Aydın MM, 2017. Estimation of container traffic at seaports by using several soft computing methods: a case of Turkish Seaports. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017.
- Gracia MD, González-Ramírez RG, Mar-Ortiz J, 2017. The impact of lanes segmentation and booking levels on a container terminal gate congestion. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 29(3-4), 403-432.
- Hartmann S, Pohlmann J, Schönkne A, 2011. Simulation of container ship arrivals and quay occupation. *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series*, 49(1), 135–154. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8408-18>
- Huynh N, Harder F, Smith, D, Sharif O, Pham Q, 2011. Truck delays at seaports: assessment using terminal webcams. *Transportation Research Record*, 2222(1), 54-62.
- Huynh N, Smith D, Harder F, 2016. Truck appointment systems: where we are and where to go from here. *Transportation Research Record*, 2548(1), 1-9.

- Huynh N, Walton CM, 2011. Improving efficiency of drayage operations at seaport container terminals through the use of an appointment system. In Handbook of terminal planning (pp. 323-344). Springer, New York, NY.
- Lange AK, Schwientek A, Jahn C, 2017. Reducing truck congestion at ports—classification and trends. In Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL) (pp. 37-58). epubli.
- Merkurjevs J, 2006. Simulation Modelling and Research of Marine Container Terminal Logistics Chains, PhD. Thesis. Transport and Telecommunication Institute, 172p.
- Merkuryev Y, Tolujew J, Blümel E, Novitsky L, Ginters E, Viktorova E, Pronins J, 1998. A modelling and simulation methodology for managing the Riga Harbour container terminal. Simulation, 71(2), 84-95.
- Turkish Exporters Assembly (TEM), 2014. Economy and foreign trade report.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2015. Limanlar Geri Saha Karayolu ve Demiryolu Bağlantıları Master Plan Çalışması.
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 1985. Port development, A handbook for planners in developing countries, 1985. United Nations Conference on Trade and Development. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2010.08.004>
- URL-1. <https://www.livemint.com/Politics/fgRmospkbv7UhWqqpTBK9sJ/Chennai-port-users-await-a-lasting-solution-for-congestion.html> Son Erişim Tarihi: [18 Eylül 2019].
- URL-2. <https://www.cnbc.com/2014/11/05/congestion-at-west-coast-ports-is-economic-in-part.html> Son Erişim Tarihi: [18 Eylül 2019].
- Van Vianen T, Ottjes J, Lodewijks G, 2014. Simulation-based determination of the required stockyard size for dry bulk terminals. Simulation Modelling Practice and Theory, 42, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2013.12.010>
- Vo TTA, Van Der Waerden P, Wets G, 2016. Micro-simulation of car drivers' movements at parking lots. In Procedia Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.019>
- Yıldırım MS, Aydın MM ve Gökkuş Ü, 2019. Şehir Limanları İçin Ağır Araç Otoparklarının Kapasitelerinin Simülasyon Yöntemi İle Tayini, 1st ICIVILTECH 2019 Symposium, 23-25 Ekim, Afyon, Türkiye, pp.1-1.
- YPC (Yuksel Project Consulting), 2009. Transportation master plan study for coastal structure. 2, Interim Report, 2009 (Turkish).