

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONTEYNER TERMİNALLERİNDEKİ TAŞIYICI ARAÇLARIN
LİMAN VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SİMÜLASYON
YOLUYLA ANALİZİ**

Endüstri Mühendisi Özge Nalan ALP

FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Sistem Mühendisliği Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	1
2. KONTEYNER TERMİNALLERİ.....	3
2.1 Deniz Taşımacılığı	3
2.2 Dünya Limanları	3
2.3 Konteyner Taşımacılığı.....	4
2.4 Türkiye Limanları ve Konteyner Taşımacılığı	5
2.5 Konteyner Terminalleri Operasyonları	8
2.6 Konteyner Terminalleri Ekipmanları	11
2.6.1 Konteynerler	11
2.6.2 Alan Vinçleri (YC)	13
2.6.3 Rıhtım Vinçleri (QC)	14
2.6.4 Dolu Konteyner Forklifti (Reach Stacker-RS).....	15
2.6.5 Dahili Kamyonlar (IT)	15
2.6.6 Harici Kamyonlar (XT).....	16
2.6.7 Forkliftler	16
2.7 Konteyner Terminalleri Yerleşimi.....	16
2.8 Konteyner Terminallerinde Karşılaşılan Problemler	17
2.8.1 Terminal Tasarım Problemleri.....	18
2.8.2 Multi-modal Arayüzler	18
2.8.2.1 Terminal Yerleşimi	18
2.8.2.2 Ekipman Seçimi	18
2.8.2.3 Kızaklama Kapasitesi (Berthing).....	18
2.8.2.4 IT Sistemi ve Kontrol Yazılımı.....	19
2.8.2.5 Operasyonel Planlama Düzeyi	19
2.8.2.6 Rıhtım Yükleme.....	19
2.8.2.7 Vinç ataması ve Bölüşümü	19
2.8.2.8 Depolama Planlaması ve Sıralama.....	19
2.8.2.9 Depolama ve İstifleme Politikası	20
2.8.2.10 İşgücü Çizelgeleme	20
2.9 Konteyner Terminalleri Operasyonları İle İlgili Yapılan Çalışmalar	21

3.	SİMÜLASYON	27
3.1	Simülasyonun Kullanım Alanları	30
3.2	Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları.....	32
3.3	Simülasyon Modellerinin Yapısı	33
3.4	Simülasyon Türleri.....	35
3.4.1	Kesikli Olay Simülasyonu	35
3.4.2	Statik ve Dinamik Modeller.....	36
3.4.3	Açık Döngü ve Kapalı Döngü Modelleri.....	36
3.4.4	Sürekli Simülasyon	36
3.4.5	Karma Simülasyon.....	36
3.4.6	Simülasyon Sürecinin Aşamaları.....	37
3.4.7	Problemin Formülasyonu.....	39
3.4.7.1	Çalışmanın Amacı.....	39
3.4.7.2	Sistemin Tanımı	41
3.4.8	Simülasyon Deneylerinin Tasarımı.....	41
3.4.8.1	Matematik Modelin Formülasyonu.....	42
3.4.8.2	Simülasyon Deneyi İçin Veri Derleme	42
3.4.8.3	Örnekleme	44
3.4.8.4	Model Geçerliliği	45
3.4.9	Bilgisayar Modelinin Kurulması.....	45
3.4.9.1	Başlangıç Koşulları ve Denge.....	46
3.4.9.2	Zaman Akış Mekanizması	47
3.4.9.3	Proses Türetme İşlemleri	49
3.4.9.4	Parametre ve Varsayım Analizleri	49
3.4.9.5	Kayıt Tutma ve İstatistikler.....	50
3.4.9.6	Bilgisayar Modeli Geçerliliği.....	50
3.4.9.7	Simülasyon Verilerinin Analizi	51
3.5	Simülasyon İle İlgili Literatürdeki Çalışmalar.....	52
4.	ARENA 10.....	55
4.1	ARENA Programının Genel Yapısı.....	55
4.2	ARENA 10.0 Programının Menüleri	57
4.3	ARENA 10.0 Programında Model Kurma ve Çalıştırma	63
5.	UYGULAMA	66
5.1	Kamyonların Kullanıldığı Sistem İçin Yapılan Analiz.....	67
5.2	Dolu Konteyner Forkliftleri İçin Yapılan Analizler	74
5.3	Mevcut Duruma Göre Vinç Sayısı Artırılmış Sistemin Simülasyon İle Değerlendirilmesi.....	78
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER	83
	KAYNAKLAR	85
	İNTERNET KAYNAKLARI	88
	ÖZGEÇMİŞ	89

KISALTMA LİSTESİ

DWT	Dead Weight Ton
Eİ	En İyileme
ESCAP	Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
GA	Genetik Algoritma
GRT	Gross Register Tonnage
IT	Dahili Kamyonlar
QC	Rıhtım Vinci-Köprülü Vinçler
RS	Reach Stacker
RTGC	Rubber Tyred Gantry Crane
SSAP	Depolama Alan Yükleme Problemi
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TEU	Twenty Feet Equivalent Unit
XT	Harici Kamyonlar
YC	Alan Vinçleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bir liman konteyner terminallerindeki operasyon alanları ve taşımaların akışı	8
Şekil 2.2 Terminaldeki konteyner akışı	9
Şekil 2.3 Bir konteyner bloğunun yapısı ve blokta kullanılan ekipmanlar	9
Şekil 2.4 Konteyner terminalindeki karar hiyerarşisi (Aydın, 2006)	10
Şekil 2.5 Konteyner terminali prosesleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir akış diyagramı	10
Şekil 2.6 Konteynerler	12
Şekil 2.7 Bir konteyner terminalinde teslim alma ve bırakma operasyonlarına genel bakış	13
Şekil 2.8 Alan vinçleri	14
Şekil 2.9 Rıhtım vinçleri	15
Şekil 2.10 Dolu Konteyner Forklifti	15
Şekil 2.11 Bir konteyner terminalinin konteyner alan yerleşimi (Ng ve Mak, 2004)	17
Şekil 2.12 Konteyner terminali görünümü	17
Şekil 3.1 Simülasyon sürecinin aşamaları	37
Şekil 4.1 Arena 10.0 arayüzü görünümü	56
Şekil 4.2 File Menüsü	57
Şekil 4.3 Edit Menüsü.....	58
Şekil 4.4 Görüntü (View) Menüsü.....	59
Şekil 4.5 Araçlar Menüsü	59
Şekil 4.6 Arrange Menüsü	60
Şekil 4.7 Object Menüsü.....	61
Şekil 4.8 Run Menüsü.....	62
Şekil 4.9 Window Menüsü.....	62
Şekil 5.1 Konteyner Terminali Genel Görünümü.....	66
Şekil 5.2 Kamyonların kullanıldığı mevcut durum için simülasyon modeli	67
Şekil 5.3 Gemilerin varışı ve rıhtıma yanaşması aşaması.....	68
Şekil 5.4 Gemiden konteynerlerin boşaltılması ve kamyonlara yüklenmesi aşaması	69
Şekil 5.5 Konteynerlerin konteyner istif sahasına gönderilmesi aşaması.....	70
Şekil 5.6 Dolu konteyner forkliflerinin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli	74
Şekil 5.7 Vinç sayısı artırılmış simülasyon modeli	79

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Dünya limanlarındaki iş hacminin büyüklüğü	4
Çizelge 2.2	Konteyner ticareti büyüme oranları (Container Traffic Forecast, 2007)	5
Çizelge 2.3	Türkiye’deki Başlıca Limanların Konteyner Trafığı	6
Çizelge 2.4	Limanlarımızda elleçlenen konteyner miktarı [3]	7
Çizelge 2.5	Deniz limanları için konteyner trafik tahmini (TEU) [3]	7
Çizelge 5.1	15 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	71
Çizelge 5.2	18 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	71
Çizelge 5.3	21 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	71
Çizelge 5.4	24 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	72
Çizelge 5.5	27 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	72
Çizelge 5.6	30 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	72
Çizelge 5.7	33 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	73
Çizelge 5.8	36 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	73
Çizelge 5.9	50 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	73
Çizelge 5.10	15 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	75
Çizelge 5.11	18 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	75
Çizelge 5.12	21 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	76
Çizelge 5.13	24 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	76
Çizelge 5.14	27 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	76
Çizelge 5.15	30 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	77
Çizelge 5.16	33 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	77
Çizelge 5.17	36 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	77
Çizelge 5.18	50 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları	78
Çizelge 5.19	15 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	79
Çizelge 5.20	18 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	80
Çizelge 5.21	21 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	80
Çizelge 5.22	24 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	80
Çizelge 5.23	27 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	81
Çizelge 5.24	30 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	81
Çizelge 5.25	33 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	81
Çizelge 5.26	36 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	82
Çizelge 5.27	50 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları	82

ÖNSÖZ

Bu çalışmada destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Hayri BARAÇLI' ya ve tez çalışmam boyunca yardımlarını ve fikirlerini benimle paylaşan Doç.Dr. Osman KULAK' a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde yanımda olan hayatta sahip olduğum en değerli varlıklarım olan sevgili annem, babam ve kardeşlerim Zeliha ve Tuğçe' ye sevgilerimi sunar, onlara her şey için minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Özge Nalan ALP

Mayıs, 2009

ÖZET

Tedarik zinciri ve lojistik sistemlerinde deniz limanları ve konteyner terminalleri önemli bir yer tutmaktadır. Geminin rıhtıma varması ya da yükün karadan konteyner terminaline varması ile konteyner terminallerindeki süreçler başlamaktadır. Bu çalışmada, gemilerden konteynerlerin boşaltılması, gemilere konteynerlerin yüklenmesi ve konteynerlerin konteyner terminali içerisindeki hareketleri incelenecektir. Bu süreç içerisinde liman içi taşıma araçları çok önemlidir. Limanlarda kullanılan başlıca ekipmanlar, rıhtım vinçleri, alan vinçleri, kamyonlar ve forkliftler gibi araçlardır. Bu çalışmada liman için araç kullanımının liman verimliliği üzerindeki etkisi simülasyon tekniği ile analiz edilecektir. Analiz için Arena 10.0 simülasyon programı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bilgiler liman içinde kullanılan ekipmanların türlerinin ve sayısının elleçlenen konteyner miktarları ve liman verimliliği üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Arena 10.0, Kamyonlar, Konteyner Terminalleri, Reach Stackers (Dolu Konteyner Vinçleri), Simülasyon.

ABSTRACT

Seaports and container terminals are very important for supply chain and logistics systems. By the time ships berth to quay or containers arrive to the container terminals, the container terminal process starts. In this study, the loading/unloading containers to/from ships and the movements of container in container terminals will be studied. In this process, internal transport vehicles are very important. The primarily equipments those are used in ports are quay cranes, yard cranes, trucks, forklifts etc. we have discussed the effect of the internal usage vehicles on the port efficiency by using simulation technique. For analysis Arena 10.0 simulation program has been used. The information at the end has showed that the vehicles type and the number of these vehicles has an influence on the amount of the handled containers and the efficiency the terminal.

Keywords: Arena 10.0, Container Terminals, Reach Stackers, Simulation, Trucks.

1. GİRİŞ

Yaklaşık yedi milyar kişinin yaşadığı dünyamızda, her gün hava, su, yiyecek, giysi, enerji, vb. tüketilmektedir. Söz konusu tüketimin gerçekleşmesi için üretilen ürün ve hizmetlerin buldukları yerden ihtiyaç duyuldukları noktalara taşınması gerekmektedir. Tüm bu ihtiyaçlar ve tüketim isteği dünya ticaretini etkilemektedir. Dünyadaki yaklaşık 200 ülke arasında söz konusu ihtiyaçların giderilmesi için ticaret gerçekleştirilmektedir. Coğrafi sınırlar düşünülüğünde ise dünya ticaretinde taşımacılık şekillerinden en fazla deniz yolunun kullanıldığı açıktır. Denizyolu taşımacılığı, bir defada çok fazla yük taşıma olanağı, güvenilirliği, sınır aşımı olmaması, mal zayıatlarının minimum düzeyde olması, havayoluna göre yaklaşık 14 kat, karayoluna göre yaklaşık 7, demiryoluna göre ise yaklaşık 3,5 kat daha ucuz olması sebepleriyle en fazla tercih edilen taşıma şeklidir ve önemi her geçen gün artmaktadır.

Konteynerler temel olarak ürünleri taşıyan ve taşımayı yaparken ürünlerin özelliklerini koruyan, kolay taşıma ve ürünlerde daha az hasar oluşmasını sağlayan ve global bir standardizasyona sahip olan büyük kutular olarak tanımlanabilir. Konteynerler, kargo taşımacılığında kullanılan temel taşıma üniteleridir.

Dünyada karışık eşyanın %95'i de güvenilir, ucuz olması ve bir defada çok miktarda yük taşınması nedeniyle konteynerlerle taşınmakta olup dünyada, deniz yoluyla gerçekleştirilen uluslararası ticaret hacmi, her geçen gün süratle artmaktadır. Konteyner taşımacılığı, çok miktarda yük çeşidinin hızla sürece dahil olması ve konteynerler içerisinde taşınabilmesi sayesinde önemi son yıllarda hızla artan bir taşımacılık sürecidir. Konteyner taşımacılığının artması, konteyner taşıyan gemiler ve konteyner elleçleyen limanların dünya konteyner taşımacılığında önemli unsurlar olmasının sağlamışlardır.

Konteyner terminallerindeki süreçler, limana yanaşacak gemilerin rıhtımlara atanması (rıhtım yükleme), limanlardaki rıhtım vinçlerinin gemilere atanması ve işlerin bölüştürülmesi, konteyner terminallerinde konteynerlerin depolanması ve sıralanması, konteyner terminallerindeki alan vinçlerinin konteyner elleçlemeleri için atanması ve limanlardaki işgücünün iş yükünün çizelgelenmesi işlerini kapsamaktadır.

Simülasyon tekniği, incelenen sistemlerin dizaynında ve analizinde kullanılan ve tercih edilen bir programdır. Simülasyon incelenen sayıdaki çok fazla değişkeni ve bu değişkenlerin çok farklı olan özelliklerini tek bir modelde toplayabilme özelliğine ve esnekliğine sahiptir.

Bu çalışmada simülasyon tekniği sistemi modellemek ve analiz etmek için kullanılmıştır. Bunun temel nedeni, karmaşık ve çok fazla değişkene sahip olan konteyner terminallerini modellemede ve analiz etmede esneklik sağlayacak olmasıdır.

Ülkemizde bulunan orta ölçekli bir konteyner terminalinde simülasyon tekniği ile araçların verimliliği üzerinde modellemeler ve analizler yapılmıştır. Konteyner terminallerinde oluşan darboğazlar ve sıkışıklıkların ortaya çıkmasının çeşitli nedenleri vardır. Liman operasyonlarının iyi planlanmaması, liman ekipmanlarının etkili bir şekilde kullanılmaması, iyi bir işgücü çizelgelemesinin yapılmaması gibi nedenlerle darboğazlar ortaya çıkabilmektedir. Bu tez çalışmasında, konteyner terminallerinde kullanılan araçların liman verimliliği, elleçlenen konteyner miktarları ve kullanılan araçların kullanım oranları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

İlk olarak konteyner terminalinin mevcut durumu analiz edilmiştir. Daha sonra konteyner terminalinde taşıma aracı olarak kullanılan kamyonlar yerine dolu konteyner forkliftleri kullanılan durum analiz edilmiştir. Son olarak, dolu konteyner forkliftleri ve mevcut duruma göre sayıları artırılmış alan vinçlerinin kullanıldığı durum analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın ilerleyişi şu şekildedir: Bölüm 2’de Türkiye ve Dünya’daki deniz taşımacılığı ve konteyner taşımacılığı ile ilgili bilgi verilmiş ve konteyner terminalleri incelenmiştir. Bölüm 3’te çalışmada analiz için kullanılan simülasyon tekniği ile ilgili bilgi verilmiştir. Bölüm 4’te modelin oluşturulduğu program olan Arena 10.0 hakkında açıklamalara yer verilmiştir. Bölüm 5’te Ülkemizde bulunan orta ölçekli konteyner terminalinde yapılan uygulamalar yer verilmiştir. Bölüm 6’da ise, konuyla ilgili elde edilen sonuçlar, değerlendirmeler ve ileride yapılabilecek çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

2. KONTEYNER TERMİNALLERİ

2.1 Deniz Taşımacılığı

Dünyadaki malların üçte ikisi deniz yolu ile taşınmakta olup uluslararası denizcilik küresel ticarete hayati bir rol oynamaktadır. Denizcilik endüstrisi uluslararası büyük hacimli malların pratik olarak en düşük maliyetle taşınmasını sağlamaktadır. Denizcilik sektörü en kısa sürede gemilerin geriye dönüşünü gerektirmekte ve yüksek oranda kazanç getirmektedir. Gemi değerleri ve kiralama ücretleri denizcilik kapasitesinin arz ve talep değişikliklerine bağlıdır. Gemi talepleri küresel ve bölgesel ekonomik koşullar, uluslararası ticaretteki gelişmeler, liman tıkanıkları, ticaret rotaları, ekin hâsılatı, savaş durumu, siyasi gelişmeler, ambargo ve grevler, tüketici, kuru yük malları ve ham petrol ve petrol ürünlerine talep gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Dünya deniz ticaret filosu 2007 başlarında yıllık %8,6 artışla 1,04 milyar DWT (Geminin Taşıma Kapasitesi)'a ulaşmış olup 2006–2010 yıllık döneminde 10 000 adedi geçeceği beklenmektedir. Türk ticaret filosunda 2006 itibariyle 1.429 gemi olup 7,2 milyon DWT' dur. 2006 yılı verilerine göre Türk şirketleri tarafından işletilen deniz ticaret filosunun global filodaki payı %1 olup 2026 yılında 15 milyon DWT düzeyine geleceği tahmin edilmektedir.

Gittikçe yükselen bir trend gösteren ve trilyon dolarlık hacme sahip denizcilik sektörünün başlıca global trendleri konteyner trafiğinin artmaya devam etmesi, artan gemi boyutları, denizcilik rotalarının birleşmesi, denizcilik hatlarının küreselleşmesi/birleşmesi ve liman operatörlerinin birleşmesidir (Ece, 2007).

2.2 Dünya Limanları

Dünyada yaklaşık olarak 2500 adet liman bulunmaktadır. Bu limanların her birisi diğer limanlarla rakip olmasa da büyük limanlar arasındaki rekabet oldukça fazladır. Çeşitli kriterlere göre dünyanın en büyük limanı olduğunu ilan eden birden fazla liman olması, liman başarımı ve trafiğini ölçmede standartlaştırılmış bir yöntem bulunmadığını göstermektedir. Dünya limanlarında her yıl 10 milyar ton yük elleçlenmekte ve konteyner elleçleme miktarında sürekli bir artış görülmektedir. Konteyner elleçleme kapasitesinin fazla olmasının sebepleri çeşitlidir. Dünya çapındaki limanların çoğu, geniş alanlara sahiptir, rıhtım sayısı, kullanılan teknik ekipman, işçilerin sayısı ve niteliği limanların etkin hizmet verilmesi için tasarlanmıştır. Gerekli altyapı yatırımları ve bilişim sistemi yatırımları tamamlanmıştır (Örn:

Hong Kong Limanı, Singapur Limanı, Hamburg Limanı, Antwerp Limanı, Rotterdam Limanı, vb.). Çizelge 2.1, dünyanın belli başlı 11 limanındaki iş hacminin büyüklüğünü gösterilmek amacıyla hazırlanmıştır (Eliyi vd., 2008):

Çizelge 2.1 Dünya limanlarındaki iş hacminin büyüklüğü

LİMANLAR	Ülke	TEU (Milyon)
Hong Kong	Çin	20.499
Singapur	Singapur	18.411
Shanghai	Çin	11.280
Shenzhen	Çin	10.615
Busan	Güney Kore	10.408
Kaohsiung	Tayvan	8.843
Los Angeles	ABD	7.149
Rotterdam	Hollanda	7.107
Hamburg	Almanya	6.138
Antwerp	Belçika	5.445
Dubai	Birleşik Arap Emirlikleri	5.152

2.3 Konteyner Taşımacılığı

Bir konteyner terminali global üretim ve genellikle deniz ve kara taşımacılığı arasında multi-modal arayüz olarak hizmet eden uluslar arası işlerde önemli bir rol oynamaktadır. Konteyner terminallerinin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar (Zhang vd., 2002):

1. Konteynerleri teslim alacak kişilere teslim etmek ve konteynerleri nakliyecilerden almak,
2. Konteynerleri gemiye yüklemek ya da gemiden boşaltmak,
3. Deniz ve kara taşıyıcılarının varış süreleri arasındaki farkı göz önüne alarak, konteynerleri geçici olarak depolamak.

Dünyada karışık eşyanın %95'i de güvenilir, ucuz olması ve bir defada çok miktarda yük taşınması nedeniyle konteynerler ile taşınmakta olup dünyada, deniz yoluyla gerçekleştirilen uluslararası ticaret hacmi, her geçen gün süratle artmaktadır.

Son zamanlarda, kıtalararası deniz taşımacılığında konteynerlerin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. 1985'te 50 milyon TEU (Twenty feet Equivalent Unit) ile başlayan Dünya

konteyner devir hızı, 2004'te 350 milyon TEU' dan daha fazla konteyner miktarına ulaşmıştır (Günther vd., 2006). Dünya konteyner elleçlemesi %13,4 oranında artışla 2006'da 440 milyon TEU' ya ulaşmıştır. Global konteyner ticaret hacminin 2002'den 2015'e kadar %6,6 büyüyeceği ve 2015'de 177,6 milyon TEU' ya ulaşacağı beklenmektedir (Ece, 2007).

Geçmiş ve 2015 yılı için tahmini konteyner hacimleri Çizelge 2.2' de açıklanmıştır.

Çizelge 2.2 Konteyner ticareti büyüme oranları (Container Traffic Forecast, 2007)

Yıllar	Konteyner Hacim(Milyon TEU)	Ortalama Büyüme Oranı(%)
1980	13,5	-
1990	28,7	7,8
2000	68,7	9,1
2005	116, 6	11,2
2015	177,6	5,0

1960'larda üretimlerinden sonra konteynerler, uluslar arası yükler için standart yükleme tasarımı olarak görülmüştür. Bir tedarik zincirinde farklı partiler arasındaki konteynerlerin aktarılması küresel kullanım için malları üreten imalatçıları, yük nakliyatçıları, nakliyat şirketlerini, transfer hizmetlerini ve müşterileri içerir. Konteyner terminalleri öncelikli olarak, farklı taşıma modları arasındaki bir ara yüz olarak hizmet eder, örneğin, yerel demiryolları ya da kamyon taşımacılığı ve açık deniz denizyolu taşımacılığı. Küresel olarak rol oynayan endüstriyel kuruluşlar, Asya ülkelerindeki üretim kapasitelerini artırdığından, Asya ve Dünya'nın diğer kısmı arasındaki konteyner trafiği buna bağlı olarak artmıştır. Bu yüzden, 1990'dan 1996' ya kadar, Asya ve Avrupa arasındaki toplam konteyner trafiği hacmi ikiye katlanmıştır, fakat aynı periyotta Avrupa ve Amerika arasındaki toplam konteyner akış sadece %10 yukarı çıkmıştır (Günther vd., 2006).

2.4 Türkiye Limanları ve Konteyner Taşımacılığı

Türkiye'de ithalat ve ihracat taşımalarının yaklaşık %90'lık bölümü deniz yoluyla yapılmakta olup 2004 yılında denizyolu ihracatımız 47 milyon ton, ithalatımız ise 104,7 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türk Ticaret Filomuzda 150 GRT kapasitenin üzerinde 1209 adet gemi bulunmakta, gemilerin genel yaş ortalaması 18 ve 23 olup konteyner filosu ise 9 yaş

ortalamasıyla filonun en genç gemi tipidir. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde üç tipte olmak üzere 71 adet liman ve iskele bulunmaktadır: Özel liman ve iskeleler (3.şahısların kullanımına genelde kapalıdır), özelleşen limanlar ve devlet limanları. 2002 yılından beri, devlet elinde bulundurduğu mevcut limanların hızla özelleştirilmesi sürecine girmiştir. Çizelge 2.3'te Türkiye'de halen devlete ait olan stratejik öneme sahip limanların konteyner trafiği gösterilmektedir [5].

Çizelge 2.3 Türkiye'deki Başlıca Limanların Konteyner Trafiki

	Haydarpaşa	Mersin	İskenderun	Samsun	Derince	Bandırma	İzmir	Toplam (TEU)
	298.230	299.376	714	1.824	1.194	1.417	470.576	1.073.331
2001	224.544	290.354	30	1.403	687	1.110	491.377	1.009.505
2002	224.642	363.920	32	374	687	4	573.211	1.162.870
2003	244.467	467.111	1.745	0	1.936	0	700.795	1.416.054
2004	316.982	532.999	607	0	1.509	36	804.563	1.656.696
2005	340.629	596.289	0	0	550	0	784.377	1.721.845
2006	400.067	643.749	52	0	609	0	847.926	1.892.403
2007	242.369	232.181	603	0	376	0	512.768	988.297

Konteyner ulaştırma servisleri TCDD (Türkiye Cumhuriyet Devlet Demiryolları) limanlarında ve Marmara bölgesinde bulunan İzmit Körfezinde ve Ambarlı' da bulunmaktadır. Yeni özel konteyner limanları aynı alanda yapım aşamasındadır. 1998 yılında, bütün konteyner taşıma miktarı 1.579.292 bin TEU' dur. Geçtiğimiz 10 yılda, konteynerleşme ciddi bir gelişme göstermiş ve bugün her limanda genel kargoyu aşmaktadır, fakat limanlara ve limanlardan olan trafik %95 oranında kamyonlarla yapılmaktadır. Limanlardan ve karayolundan demiryoluna trafiği etkilemek için, TCDD birleşik ulaştırma stratejileri üzerine çalışmalar yapmakta ve kapıdan kapıya taşımacılıkta demiryolunun payının artışı amaçlanmaktadır. Yeni konteyner terminalleri için çalışmalar sürmektedir.

Denizcilik konteyner taşımacılığında, Türkiye Akdeniz ülkeleri içinde İtalya, İspanya ve Fransa'dan sonra 4. sırada yer almaktadır. Konteyner taşımacılığında önemli kargo miktarı İzmir, Mersin ve Haydarpaşa Limanlarından sağlanmaktadır. 2005 yılında konteyner trafiği 1.722 bin TEU ulaşmış ve geçtiğimiz 5 yıl içinde her yıl ortalama %60 bir artış göstermektedir. %54'den fazla konteyner TCDD limanlarından taşınmaktadır. Ülkemizdeki

limanlarda 2005, 2006 ve 2007 yıllarında iç ticaret ve dış ticaret için taşınan konteyner miktarları çizelge 2.4' te gösterilmiştir:

Çizelge 2.4 Limanlarımızda elleçlenen konteyner miktarı [3]

	2005	2006	2007
İÇ TİCARET(KABOTAJ) TAŞIMALARI			
Yükleme	6.579	14.008	34.005
Boşaltma	8.167	6.913	27.128
TOPLAM	14.745	20.921	61.133
DIŞ TİCARET TAŞIMALARI			
İHRACAT			
Türk Bayraklı Gemilerle Taşınan	200.519	195.558	241.801
Yabancı Bayraklı Gemilerle Taşınan	1.397.931	1.613.977	1.910.213
İHRACAT TOPLAMI	1.598.450	1.809.433	2.152.014
İTHALAT			
Türk Bayraklı Gemilerle Taşınan	187.284	187.672	235.342
Yabancı Bayraklı Gemilerle Taşınan	1.390.648	1.652.977	1.989.311
İTHALAT TOPLAMI	1.577.932	1.840.649	2.224.653
DIŞ TİCARET TOPLAMI	3.176.382	3.650.082	4.376.667
TOPLAM ELLEÇLENEN KONTEYNER MİKTARI	3.191.128	3.671.003	4.437.800

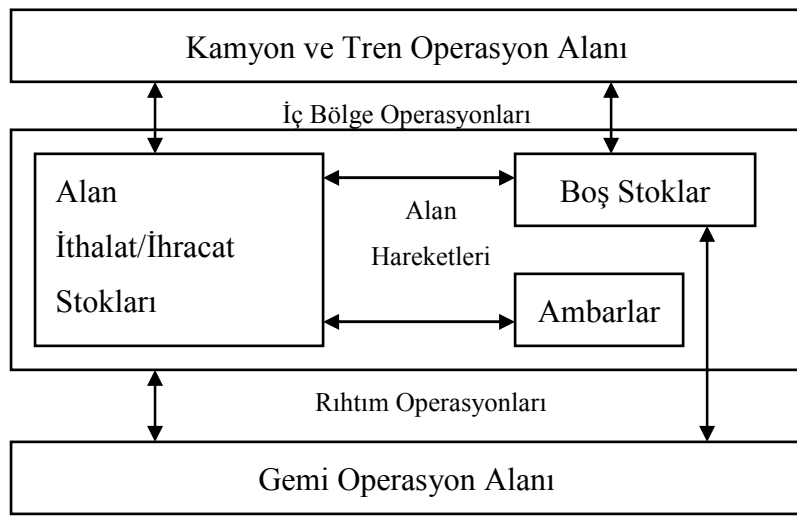
Yakın gelecekte konteyner taşımacılığında yükselen bir talep olacağı öngörülmekte ve 2020 yılı itibarıyla 6 milyon TEU' ya ulaşacağı tahmin edilmektedir (Çizelge 2.5):

Çizelge 2.5 Deniz limanları için konteyner trafik tahmini (TEU) [3]

	2005	2010	2015	2020
Bütün Limanlar	3.301.000	3.380.000	4.500.000	6.000.000

2.5 Konteyner Terminalleri Operasyonları

Konteyner terminalleri büyüklük, fonksiyonellik ve geometrik yerleşimde farklılık gösterse de genel olarak aynı alt sistemleri içerirler (Şekil 2.1) (Günther vd., 2006). Gemi operasyonu ya da gemiyi bağlama alanı gemilerin yükleme ve boşaltmaları için rıhtım vinçleri ile donatılmıştır. İthalat ve ayrıca ihracat konteynerleri da belirli bir miktar bloğa bölünmüş bir alanda depolanırlar. Özel istif alanları soğutma için elektrik tedarikine ihtiyaç duyan soğutmalı konteynerler ya da tehlikeli malları depolamak için ayrılmıştır. Boş konteynerler için ayrı alanlar kullanılır. Bazı terminaller, konteynerleri doldurmak ya da boşaltmak için ya da ek lojistik hizmetleri için barakaları kullanırlar (Günther vd., 2006).

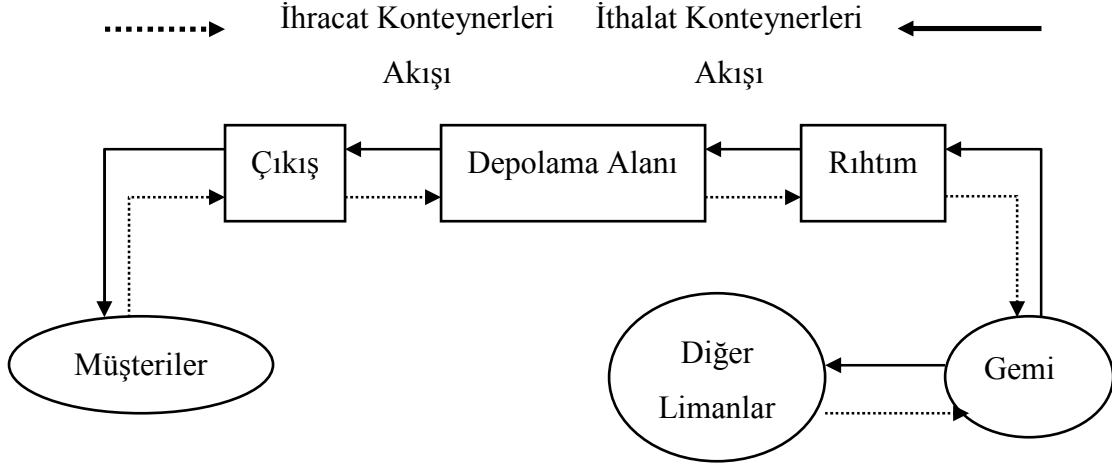


Şekil 2.1 Bir liman konteyner terminallerindeki operasyon alanları ve taşımaların akışı

Kamyon ve tren operasyon alanı, terminali dış aktarma sistemlerine bağlıdır. İhracat ve ithalat konteynerleri için operasyon zinciri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Şekil 2.2). Bir terminale bir kamyon ya da tren ile varıştan sonra konteyner, ana verileri ile tanımlanır ve kaydedilir, dâhili taşıma ekipmanları ile taşınır ve alandaki depolama bloklarından birine gönderilir.

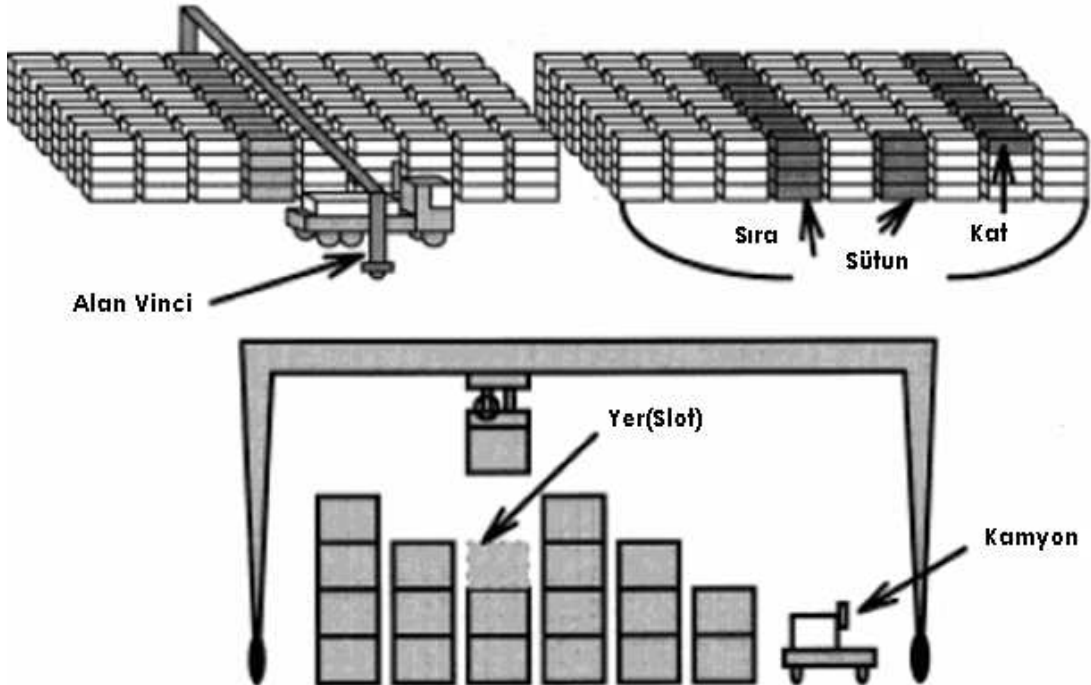
Ayrı depolama blokları, bir blokta bir sütun, sıra ve kat ile verilmiştir ve konteynerin terminale varış zamanına göre atanır. Bir alan bloğunda bir konteyneri konumlandırmak için, özel vinçler ya da kaldırma araçları kullanılır. Son olarak, belirli bir vincin varışından sonra, konteyner alan bloklarından alınır ve rıhtım vinçlerinin konteynerleri daha önceden tanımlanmış istifleme pozisyonuna yüklediği rıhtıma taşınır. Bir ithalat konteynerini elleçlemek için gerekli operasyonlar tersine bir düzende gerçekleştirilir. Tüm farklı tiplerdeki taşıma ve elleçleme ekipmanlarını içeren çok büyük sayıdaki eşzamanlı operasyonları çizelgelemek, son derece karışık bir işidir. Devamlı değişen terminal durumuna ve gelecekteki

olayların ve zamanlarının sınırlı tahmin edilebilirliğine bakarak, bu kontrol işi gerçek zamanlı olarak çözülmelidir. Liman konteyner terminalleri, kullanılan taşıma ve elleçleme ekipmanının tipleriyle, çok büyük bir şekilde farklılaşmaktadır (Günther vd., 2006).



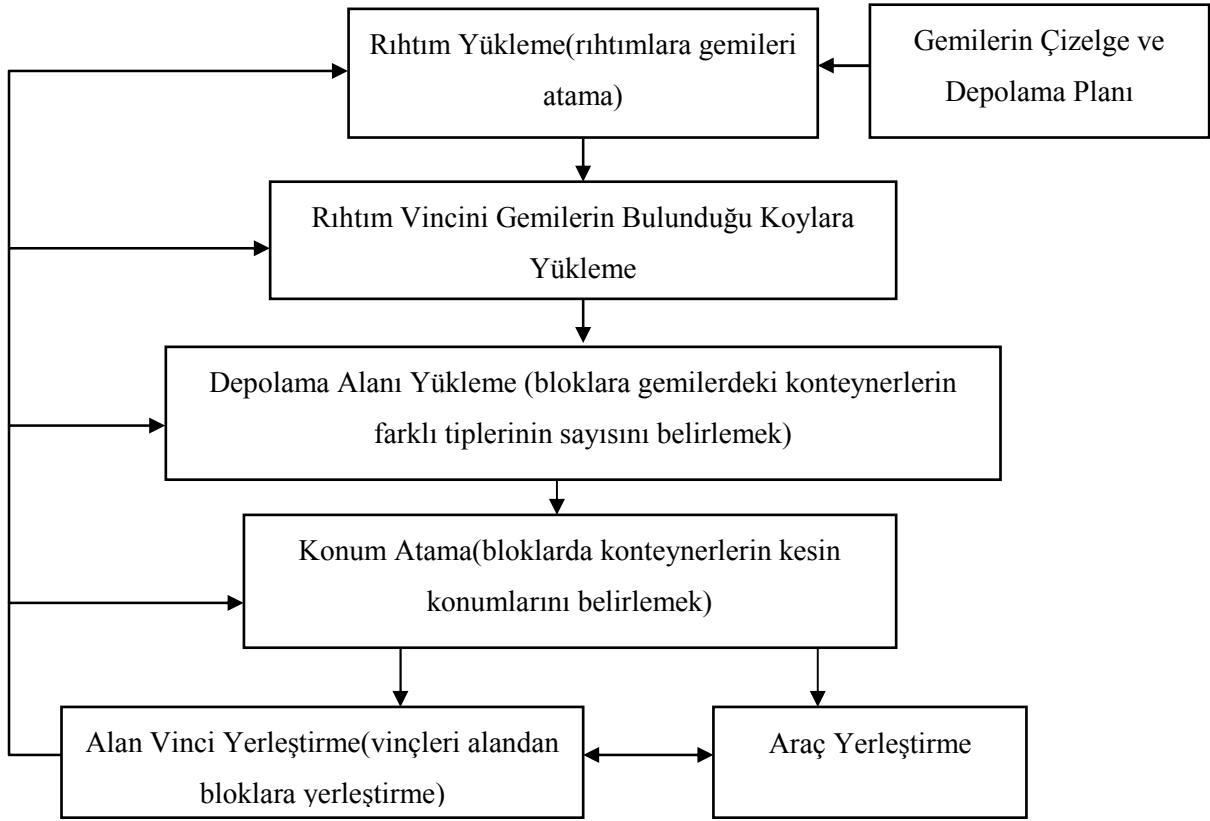
Şekil 2.2 Terminaldeki konteyner akışı

Bir konteyner bloğunun yapısı ve konteyner bloğundaki ekipmanlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 2.3):



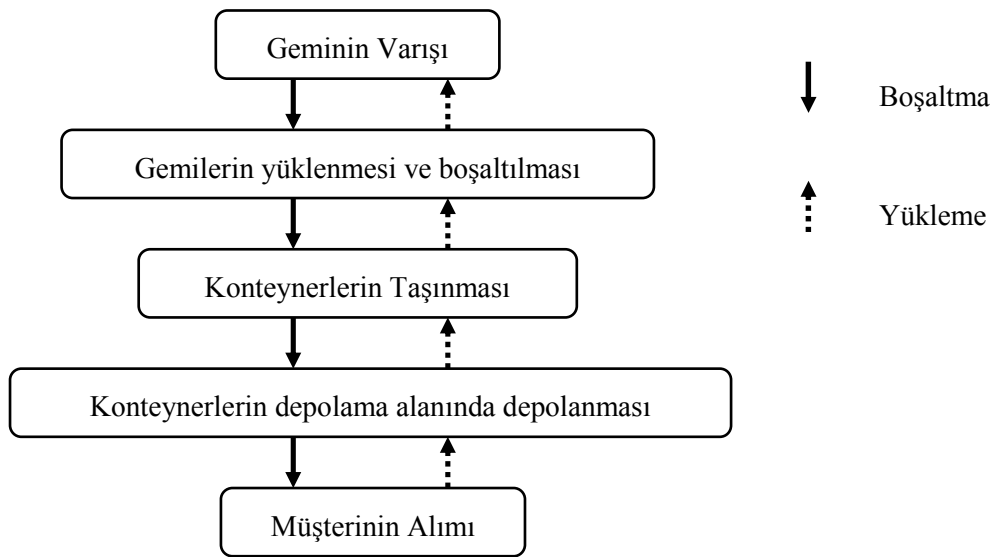
Şekil 2.3 Bir konteyner bloğunun yapısı ve blokta kullanılan ekipmanlar

Konteyner Terminallerindeki karar problemleri ile ilgili hiyerarşi aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.4):



Şekil 2.4 Konteyner terminallerindeki karar hiyerarşisi (Aydın, 2006)

Konteyner terminallerindeki prosesler arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde açıklanmıştır (Şekil 2.5):



Şekil 2.5 Konteyner terminali prosesleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir akış diyagramı

2.6 Konteyner Terminalleri Ekipmanları

Konteyner terminallerinde yukarıda bahsedilen prosesleri en verimli şekilde gerçekleştirmek için gerekli olan bileşenlerden biri terminalde ve limanda kullanılan ekipmanlardır. Konteyner terminalleri ve limanlarda kullanılan ekipmanlar ve işlevleri aşağıda açıklanmıştır:

2.6.1 Konteynerler

Konteynerler içlerinde çok çeşitli yüklerin taşınabileceği büyük kutulardır (Şekil 2.6). Çoğunlukla çelikten yapılmakla birlikte alüminyum veya plastikten yapılan tipleri de vardır. Taşıyacakları yüke göre özel tipleri olmakla birlikte genellikle iki boyda standartlaşmışlardır. Boyu 20 feet genişlik ve yüksekliği 8 feet olan konteynerler standart konteynerlerdir ve 1 TEU olarak sembolize edilir. İkinci tip konteyner ise boyu birincinin iki katı (40 feet) olan konteynerlerdir ve 2 TEU olarak adlandırılırlar.

Taşıdıkları yüke göre değişik özellikleri olabilir; örneğin kapakların açılış şekillerinin değişik olması, soğutuculu olmaları gibi. Konteynerler, terminale getirilip götürülürken treylerlerle yüklenip çekici denilen büyük kamyonlarla nakledilirler. Konteynerler genellikle çelik saçtan yapılmaktadır. Köseleri ise çelik dikmelerden yapılır. Alüminyum konteynerler çok hafif yükler için kullanılmaktadır. Konteynerler başlıca iki gruba ayrılır:

Kuru yük konteynerleri: Bu tür konteynerler çeşitli değişik malların taşınmasında kullanıldığı için bunlara parça mal konteynerleri de denir. Çok çeşitli malların birden fazla gönderici tarafından yüklenebilmesi konteynerleri ekonomik yapmıştır. Bu kuru yük konteynerleri ile toplam konteyner taşımacılığının yaklaşık % 85'i yapılmaktadır.

Özel tip konteynerler: Bunlarda kendi içinde altı sınıfa ayrılır:

- *Üstü açık konteynerler:* Genellikle makine teçhizat ve mermer gibi malların taşınmasında kullanılır. Tabanı ve duvarları çelikten çok sağlam yapılıdır.
- *Soğutmalı (frigo) konteynerler:* Et, balık, yas meyve ve sebze taşımacılığında kullanılır.
- *Üstü ve yanları açık konteynerler:* Ağaç ve demir çelik ürünleri taşınmasında yaygın olarak kullanılır.
- *Tecrit edilmiş konteynerler:* Kısa süreli taşımalarda ısı izolasyonu sağlar. Özellikle donmuş gıda maddelerinin ayrıca soğutma sistemine gerek duymaksızın dağıtımını için uygundur.

- *Dökme mal konteynerleri:* Hububat, bakliyat gibi ürünler konteynerin üst kısmındaki kapaklardan doldurulabilir ve boşaltılabilir.
- *Sıvı yük konteynerleri:* Sıvı ürünlerin ve basınçlı gazların taşınmasında çok yaygın olarak kullanılır.
- *Yan duvarları kafesli konteynerler:* Canlı hayvan taşımada kullanılır. Çelikten, alüminyumdan ve cam elyaf takviyeli plastikten yapılmış konteynerler kullanımdadır. Özellikle hava taşımada alüminyum konteyner tek seçenek gibidir.

İthalat konteynerleri, gemiden boşaltılan ve müşteriler tarafından alınacak konteynerlerdir. Bu konteynerler ya direk olarak terminal dışına çıkartılırlar ya da konteyner istifleme alanında müşteri gelip konteyneri liman dışına çıkartana kadar beklerler.

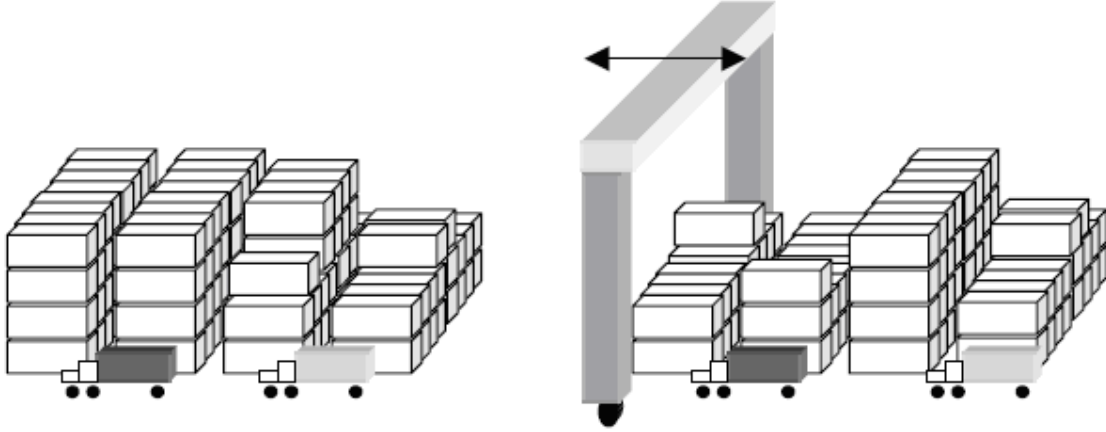
İhracat konteynerleri, müşteriler tarafından satın alınan ve gemiye yüklenmesi için depolama alanında bekleyen konteynerlerdir. Bu konteynerler satıcılar tarafından, terminale getirilmiş ve buldukları ülkenin dışına çıkartılacak olan konteynerlerdir.



Şekil 2.6 Konteynerler

2.6.2 Alan Vinçleri (YC)

Bir konteyner terminalinde alan vinçlerinden konteynerleri kamyonlara ya da kamyonlardan transfer etmek için yararlanılır (Şekil 2.7) (Kim vd., 2003).



Şekil 2.7 Bir konteyner terminalinde teslim alma ve bırakma operasyonlarına genel bakış

Bir terminaldeki depolama alanı genellikle depolama blokları ya da bloklar olarak adlandırılan dikdörtgensel alanlara ayrılmıştır. Tipik bir blok alanın altı tanesi konteynerleri sıralarda ya da sütunlarda depolamak için, 7.' si kamyon geçişleri için kullanılan 7 istif alanından (ya da line) oluşmuştur. Her dizi, tipik olarak, uç uca boylu boyunca sıra ile dizilmiş yirmi 20'lik konteyner sırasından oluşur. Bir 40'lik konteyner istiflemek için, iki 20'lik istif alanı kullanılır.

Her istifte, konteynerler diğer birinin üzerine konur. Bir istifteki konteyneri konumlandırmak için ya da bir istiften almak için alan vinçleri olarak isimlendirilen büyük vinçler kullanılır. Kesinlikle kullanılan ve çok büyük bir öneme sahip olan alan vinçleri, lastik tekerlekler üzerinde hareket eden lastik tekerlekli köprülü vinçlerdir (Rubber Tyred Gantry Crane-RTGC). RTGC'nin köprüsü bloğun genişliği doğrultusunda birinci ile yedinci dizi arasında hareket edebilen bir sürücüyü sahiptir. RTGC, lastikleri üzerinde bloğun uzunluğu boyunca hareket edebilir. Bu iki hareketle, RTGC bloğun herhangi bir dizisine/den ya da kamyon geçiş yolundaki kamyonu/dan bir konteyneri kaldırmak ya da aşağı bırakmak için lastiklerini konumlandırabilir.

Bir RTGC'nin yüksekliği her dizinin yüksekliğini belirtmektedir (örneğin; bir istifte konteynerlerin bir bölümü dikey olarak konumlandırılabilir). RTGC'lerin eski modelleri beş-seviye-yüksek RTGC'lerdir. Bu model bir istifte sadece dört konteyner koyabilir, beşinci

seviyeye bloğun genişliği boyunca konteyner hareketi için ihtiyaç duyulmaktadır. Daha yeni modeller, altı-seviye-yüksek RTGC'lerdir. Bunlar bir istife beş konteyner koyabilir ve altıncı seviyeyi konteyner hareketi için kullanırlar (Murty vd., 2005).



Şekil 2.8 Alan vinçleri

2.6.3 Rıhtım Vinçleri (QC)

Bir konteyner vinci (ayrıca konteyner elleçleme vinçleri, gemi-kıyı vinci) konteyner gemilerinden konteynerleri yükleme ve boşaltma için geniş iskele boyunca bulunan köprülü vinçlerin bir tasarımıdır (Şekil 2.9). Konteyner vinçleri bir rıhtım ya da alanın uzunluğunu dolaşabilen destekleyici bir yapı ve sürücü olarak isimlendirilen bir hareketli platformdan oluşur. Sürücü, bir konteynerin üstüne kadar alçalabilir ve konteynerdeki dört bağlama noktasından konteynerde bir twistlock mekanizması kullanarak bağlanır. Vinçler normal olarak, bir seferde tek bir konteyneri taşır, fakat bazı yeni vinçler bir seferde dört tane 20'lik konteynerden fazla konteyneri kaldırma kabiliyetine sahiptir.

İthalat konteynerlerini gemiden boşaltmak ya da indirmek için ve ihracat konteynerlerini gemiye yüklemek ya da taşımak için limanlardaki rıhtımlarda kullanılan vinçlerdir. Bu vinçler genellikle bir ray üzerinde hareket ederler.



Şekil 2.9 Rıhtım vinçleri

2.6.4 Dolu Konteyner Forklifti (Reach Stacker-RS)

Konteyner sahasında istif amacıyla kullanılır (Şekil 2.10). Tekerlekleri üzerinde limanın her yerine gidebilir. Dolu konteyner için tasarlanmış olanları beş sıra yüksekliğe kadar boş konteynerler için tasarlanmış olanları sekiz sraya kadar konteyner istifleyebilir [4].



Şekil 2.10 Dolu Konteyner Forklifti

2.6.5 Dahili Kamyonlar (IT)

Konteynerleri rıhtım vinçleri ve depolama blokları arasında taşımak için geliştirilmişlerdir. Bunlar terminal içerisinde sürekli bir dolaşım halindedirler.

2.6.6 Harici Kamyonlar (XT)

İhracat konteynerlerini müşterilerden alıp depolama alanına getirmek için ve ithalat konteynerlerini depolama alanından almak ve müşterilere teslim etmek için geliştirilmişlerdir.

Ekipmanların seçiminde araç sayısı, kaldırma kapasiteleri, uygulanabilen ulaşım ve taşıma kapasiteleri aşağıdaki unsurlara bağlıdır:

- Limana gelecek gemi sayısı
- Aynı anda çalışabilecek ambar sayısı
- Depolar ve gemi arasındaki elleçlemenin dağılışı
- Kargo ünitelerinin ağırlık ve dağılışı
- Transit depolama tesislerinin dağılışı
- Depolama yükseklikleri
- Gerektiğinde havaalanında kullanılacak diğer ekipmanlar
- Kategorideki ekipmanın çalışabilirlik durumu
- Bir gündeki toplam çalışma sayısı
- İssizlik produktivite, disiplin ve yönetim durumu

2.6.7 Forkliftler

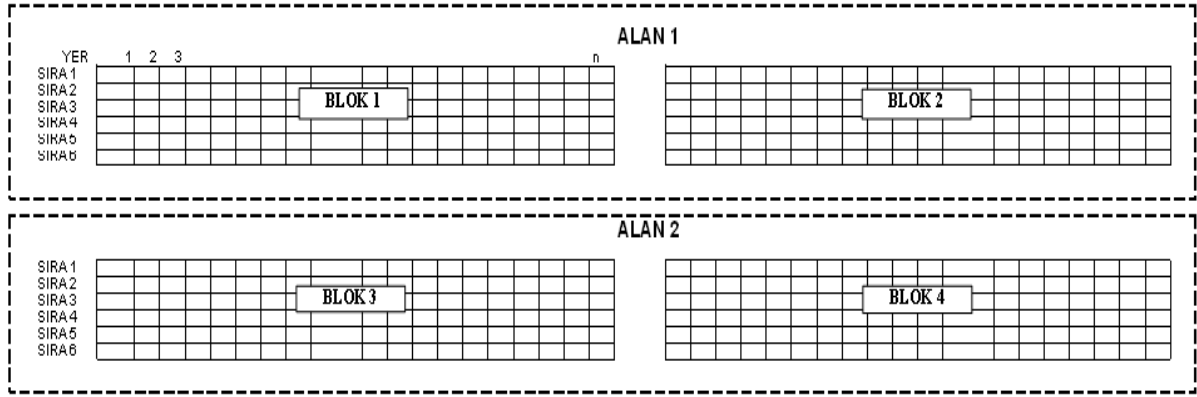
Motorlu konteyner forkliftler, boş konteynerleri elleçlemek için kullanılırlar. Ayrıca taşıma yapmak için kullanılır.

Bataryalı forkliftler, konteyner içinden malı alma ya da konteynere mal yüklenmesinde kullanılır.

2.7 Konteyner Terminalleri Yerleşimi

Terminal yerleşimi, bir terminal içindeki yolların ve konteynerlerin yerleşimini belirtmektedir. Zayıf yerleşimler yükleme ve boşaltma operasyonlarını geciktirir, tıkanıklığı artırır ve terminalde daha çok hareket ve yeniden elleçleme çalışması gerektirir.

Aşağıdaki şekilde bir konteyner terminalinin genel bir kısmı yerleşimi konteyner alanı yerleşimi görülmektedir (Şekil 2.11):



Şekil 2.11 Bir konteyner terminalinin konteyner alan yerleşimi (Ng ve Mak, 2004)

Aşağıdaki şekildeki bir konteyner terminalinin genel görünümü gösterilmiştir (Şekil 2.12):



Şekil 2.12 Konteyner terminali görünümü

2.8 Konteyner Terminallerinde Karşılaşılan Problemler

Bir konteyner terminali, çeşitli elleçleme, taşıma ve depolama üniteleri ve gelecek olayları ile ilgili tamamlanmamış bilgi arasında çok yüksek dinamik etkileşimleri olan kompleks bir sistemi gösterir. Liman konteyner terminallerinin lojistik planlama ve kontrol konularıyla ilgili çok fazla karar problemi vardır (Günther, 2006).

2.8.1 Terminal Tasarım Problemleri

Terminal tasarım problemleri, terminalin ilk planlama basamağında olan fabrika planlamacıları tarafından çözülmelidir. Bu problemler, ekonomik aynı zamanda teknik fizibilitesi ve performansı bakış açısından analiz edilmelidir. Özellikle, tamamen yeni bir terminal alanının yapısında ve otomatik ekipmanların kullanımı yüksek yatırımlar gerektirmektedir. Çeşitli tasarım problemlerinden en önemlileri açıklanmıştır (Günther, 2006):

2.8.2 Multi-modal Arayüzler

Asya'daki komşularının tersine birçok Avrupa konteyner terminalleri multi-modal tesislere sahiptir, örneğin; demiryolu, kamyon ve yurt içi sefer sistemlerine doğrudan bağlanırlar. Taşımacılığın bu farklı modlarının entegrasyonu tüm terminalin tasarımı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

2.8.2.1 Terminal Yerleşimi

Depolama alanı, taşıma rehber yolları ve rıhtımlar, her konteyner terminalinin ana varlıklarıdır. Kapasiteleri ve mekansal düzenlemeleri ağırlıklı olarak terminal düzeninin performansını belirler. Terminal yerleşimi ayrıca, dondurucu ya da tehlikeli mal konteynerleri, boş konteynerler ya da standart olmayan boyutlardaki konteynerler için belirli alanların ayrılmasını içerir.

2.8.2.2 Ekipman Seçimi

Ekipmanların farklı tipleri terminal içinde elleçleme ve taşıma için kullanılabilir. Öncelikli olarak, otomasyon seviyesi ve performans göstergeleri ile farklılaşırlar. Son zamanlarda, bu tip ekipmanlar kompleks lojistik kontrol problemlerini artırdıkları halde, otomatik depolama vinçleri ve sürücüsüz araçların kullanımını artıran bir trend vardır.

2.8.2.3 Kızaklama Kapasitesi (Berthing)

Bir konteyner terminalinin global performans faktörü, onun deniz kenarı sıralama kapasitesi ile verilir. Kızaklama kapasitesi, sadece hizmet edilebilecek gemilerin sayısını ve büyüklüğünü tanımlamaz, ayrıca depolama alanı büyüklüğü ve araçların filo büyüklüğü vs. ile de tanımlanır.

2.8.2.4 IT Sistemi ve Kontrol Yazılımı

Son olarak, büyük boyutlu konteyner terminallerinde uygun ekipman üniteleri ile elleçleme işlerinin eşleştirilmesi ve her bir konteyner hakkındaki detaylı bilginin hazırlanmasını gerektiren lojistik kontrolü çok büyük karışık bir iştir. Karmaşık optimizasyon araçlarını kullanan farklı yazılım modları ve IT desteği hatırı sayılır bir öneme sahiptir.

2.8.2.5 Operasyonel Planlama Düzeyi

Operasyon planlama seviyesi, terminaldeki çeşitli lojistik proseslerinin gerçekleştirmek için temel planlama prosedürlerini ve rehberlerini kapsarlar. Bağımsız planlama otomatik konteyner terminallerinin lojistik kontrollerini yönetmek için tek gerçekçi mod olduğu halde, tüm lojistik kontrol sistemi kaynakların farklı tipleri ve grupları için çeşitli modüllere ayrılmıştır. Bu yüzden, birkaç günlük ya da haftalık bir kısa dönemli planlama ufku için anahtar kaynakların kullanımının planlanması ve çizelgelenmesinde özel konular ortaya çıkar.

2.8.2.6 Rıhtım Yükleme

İstenilen bağlama noktası bölümü bir geminin varışından önce geminin terminalde harcadığı beklenen zamanı hesaba katılarak yüklenmelidir. Ek kısıtlamalar, vinçlerin uygunluğundan ve bağlama ve rıhtıma demir atmış ya da kısa bir zaman içerisinde varacağı düşünülen diğer gemilerin vinç gereksinimlerinden ortaya çıkacaktır.

2.8.2.7 Vinç ataması ve Bölüşümü

Geniş bir konteyner gemisini yüklemek ya da boşaltmak için, birkaç rıhtım vinci kullanılır. İlk olarak, hangi vinçlerin, rıhtıma ulaşılabilirliğini ve terminaldeki farklı rıhtımlar arasında vinçleri değiştirmenin imkansızlığı göz önüne alınarak çeşitli gemilere atanacağına karar verilmelidir. İkincisi, bir gemide işlem gören vinçler geminin farklı bölümlerine ya da ambarlarına atanmalıdırlar.

2.8.2.8 Depolama Planlaması ve Sıralama

Nakliyat şirketleri, varış noktası, ağırlık yada konteyner tipi gibi konteyner özelliklerini göz önüne alarak konteynerlerin özel kategorilerinin gemi içinde hangi noktaya atanacağına karar vermek zorundadırlar. Verilen atamaya dayalı olarak, terminal operatörü, hangi konteynerin gemideki hangi özel yerlere konulması gerektiğine karar verir. Bu son yer ataması konteynerlerin yükleme ve boşaltma sırasını son derece etkiler. Depolama planına dayalı

olarak, konteyner terminallerindeki planlamacılar ithalat konteynerlerinin boşaltılması ve ihracat konteynerlerinin yüklenmesinin sırasını belirlerler. İhracat konteynerleri için, her bir konteynerin yükleme sırası için, aynı zamanda her ihracat konteynerinin istifleneceği gemideki yer belirlenmelidir. Boşaltma ve yükleme sıraları, alan vinçlerinin ve araçların çizelgelerini belirlemek için büyük bir girdidir.

2.8.2.9 Depolama ve İstifleme Politikası

Avrupa'daki büyük konteyner terminalleri ortalama 3–5 günlük ikamet süresi 10.000 olan ve günlük iş hacmi 10–20.000 konteynerleri depolanmaktadır. Depolama alanı, sıralar, sütunlar ve katlar olarak organize edilmiş bloklara ayrılmıştır. Her bir depolama konumunu atamak ve konteynerleri istiflemek için politikalar, gerekli depolama ve teslim etme operasyonlarını olabildiği kadar hızlı yapmayı kolaylaştırmak ve bloktaki konteynerlerin karıştırılmasını engellemek amacıyla oluşturulmuştur. Özel konular, ithalat ve ihracat konteynerleri için atanmış depolama alanlarının ayrılmasını ve istiflenmiş konteynerler için sıralama operasyonlarını planlamayı içerir.

2.8.2.10 İşgücü Çizelgeleme

İş gücü, konteyner terminallerindeki diğer bir önemli kaynaktır. Ekipmanı yönetmek için işçiler için listeler ve çizelgeler önceden oluşturulmalıdır. Konteyner terminalleri, yüksek dinamik ve yüksek olasılıklı 5–10 dakikalık ileriye dönük ufuk için detaylı taşıma ve elleçleme aktivitelerinin detaylarının ön planlamasına izin vermeyen lojistik sistemleri temsil ederler. Bu yüzden, lojistik aktivitelerinin gerçek zamanlı kontrolü büyük bir öneme sahiptir. Gerçek zamanlı kontrol, genellikle belirli olaylar ya da durumlarla başlar ve öncelikli karar problemlerinin pratikte bir saniyeden küçük bir zaman içerisinde çözülmesini gerektirir. Gerçek zamanlı kararlar, taşıma emirlerinin araçlara atanmasını ve ruhtum ve depolama alanı arasındaki taşımalar için olduğu kadar kara tarafındaki taşımalar için araç hareketlerinin rotalanması ve çizelgelenmesini, her bir konteynere depolama yuvalarının atanmasını ve ruhtum ve istifleme vinçleri için detaylı çizelgelerin ve operasyon sıralarının belirlenmesini içerir.

2.9 Konteyner Terminalleri Operasyonları İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Akoğlu (2006)' ya göre, liman tesislerinin tasarımında, gemi ve kargo akışına ilişkin istatistikler önemli rol oynarlar. Özellikle gemilerin yanaşma yerlerinin boyunun ve kargo depolama alanının büyüklüğünün belirlenmesinde, bu istatistikler bazı sayısal ve optimizasyon yöntemleriyle analiz edilmektedir. Yeterli olabilecek depolama alanının büyüklüğü saptanırken, farklı kargo tipleri hesaba katılmalıdır. Bir konteyner limanının optimum depo sahası, envanter yöntemi ve kuyruk yöntemi gibi bazı optimizasyon yöntemleri kullanılarak belirlenebilir. Bu çalışmanın amacı, liman sahasında depolanacak konteyner sayısını optimum bir şekilde belirlemektir. İlk olarak, konteyner istatistikleri, genetik algoritma (GA) prensiplerine göre derlenmiş ve değerlendirilmiştir. Son olarak, GA'dan elde edilen sonuçlar Monte-Carlo simülasyonundan elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

Bazzazi ve diğerleri (2008), konteyner terminallerinde depolama alanı yükleme problemini çözmek için etkili bir GA sunmuşlardır. Bu çalışmada SSAP (Storage Space Allocation Problem), konteynerlerin depolama/boşaltma zamanlarını minimize etmek için bloklar arasındaki iş yükünü dengeleme amacıyla her zaman periyodunda depolama bloklarına ithalat/ihracat konteynerlerinin geçici yüklenmeleri olarak tanımlanmıştır.

Bish (2003), konteyner terminalini, bir dizi gemiye konteynerleri yükleyen ya da boşaltan ve konteynerleri terminal alanında depolayan bir sistem olarak tanımlamıştır. Bu problemde incelenen konular; her bir boş konteyner için depolama konumu belirlemek, araçları konteynerlere dağıtmak ve vinçlerdeki yükleme ve boşaltma operasyonlarını çizelgelemektir. Böylece, gemilere maksimum hizmet verme süresinin minimize edileceği düşünülmüştür. Problem bir taşıma problemi olarak tanımlanmıştır ve çözülmesi için sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Sezgiselin etkinliği en kötü durum ve sayısal bir bakış açısı ile analiz edilmiştir.

Cao vd. (2008), Avrupa'da geliştirilmiş ve son zamanlarda kullanımı yükselen bir konteyner elleçleme teknolojisi olan çift raylı monte edilmiş vinç sistemi üzerinde çalışmışlardır. Bu sistem raylı monte edilmiş farklı genişlik ve yüksekliklerdeki iki rıhtım vincini içerir. Sezgisel olarak, bu özel özellik bir konteyner bloğu boyunca hareket ederken ikisinin bir biri içerisinden geçebilmesi nedeniyle iki vincin verimliliğini artıracaktır. Bu çalışmada, bu sistem için ihracat konteynerlerini gemiye yüklemeye kullanılacak etkili bir operasyon stratejisi geliştirme üzerine odaklanılmıştır. Problemi formüle etmek için bir tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir.

Dohn (2003), rayları paylaşan iki rıhtım vinci için bir çizelge oluşturma konusu üzerinde durmuştur. Çizelge, kısıtların bir miktarına uyar ve aynı zamanda maliyete etki eder. Probleme iki adımlı bir planlama/çizelgeleme çözümü yaklaşımı için birkaç fikir önermiştir.

Günther ve Kim (2006), konteyner terminallerinin yapısı, çalışma prensipleri, konteyner taşımacılığının 2005 yılına kadar göstermiş olduğu büyüme ve gelişmeler ile literatürde yapılmış çalışmalar ve ele alınmış problemler ile ilgili bir çalışma sunmuşlardır.

Han ve diğerleri (2008), bu çalışmada, yükleme ve boşaltma aktivitelerinin ikisinin de çok ağır ve zor olduğu bir aktarma merkezinde bir depolama alanı yönetim problemi üzerinde çalışmışlardır. Bir karmaşık tamsayı programlama modeli gelen konteynerlerin konumlarını belirlemek için formüle edilmiştir. Problemi çözmek için tabu arama algoritması tabanlı sezgisel algoritma bir ilk template oluşturmak için geliştirilmiş bir iteratif metot geliştirilmiştir ve daha sonra oluşturulmuş alan template bir geliştirme algoritmasıyla iteratif olarak optimal ya da tatmin edici bir çözüm elde edilene kadar geliştirilmiştir. Deney sonuçları, önerilen metodun mükemmel sonuçlar oluşturabileceğini gösterir.

Imai vd. (2007), birçok kullanıcı konteyner terminalinde etkili rıhtım ve vinç yükleme çizelgesini ele almışlardır. İlk olarak eş zamanlı rıhtım ve vinç yükleme problemi için bir formülasyon geliştirmişlerdir. Daha sonra, GA uygulayarak yaklaşık sonuçlar bulmak için bir sezgisel geliştirmişlerdir. Nümerik deneyler sonucunda önerilen sezgiselin bu zor fakat gerekli terminal operasyon probleminin çözümü için uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Jung ve Kim (2006), GA ve tavlama benzetimi kullanılarak alan vinçleri operasyonlarının işlem sürelerini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Aynı blokta birden fazla alan vinci çalıştığında, yükleme operasyonlarını çizelgelemek için bir metot geliştirmişlerdir. Amaç, alan vinci operasyonlarının tamamlanma süresini minimize etmektir.

Kim vd. (2007), Konteyner limanının yerleşimi konteyner elleçleme operasyonlarının verimliliğinde önemli bir faktör olması nedeniyle, yerleşim tipi, limanın planı ve geçitlerin sayısı belirlenerek konteyner terminalinin yerleşimini tasarlamak amaçlanmıştır. Bu çalışmada, paralel ve dikey yerleşim incelenmiştir. Tasarım değişkenlerinin operasyonel maliyetler üzerindeki etkisini değerlendirmek için, alan vinçlerinin yer değiştirmelerinin sayısı ve kamyonların beklenen hareket uzaklıkları formülleri oluşturulmuştur.

Kim vd. (2004), liman konteyner terminallerinde yükleme sırası problemini çözmek için bir *Işın Arama Algoritması*'ni uygulamışlardır. Bu algoritmayı, gemilere konteynerleri yüklerken

çeşitli kısıtları da göz önüne alarak transfer vinçler ve rıhtım vinçlerinin operasyonel etkinliğini maksimize etmek için kullanmışlardır. Yükleme sırası probleminde iki alt problem vardır. Bunlar; kamyonet çizelgelemesi ve her konteynerin yükleme sırasının belirlenmesidir. Bu çalışmada birinci problemi çözmek için oluşturulan algoritmanın içine ikinci problemi çözmek için kullanılacak başka bir algoritma gömülmüştür. Pratikteki datalar kullanılarak algoritmaların performansı değerlendirilmiştir.

Kim vd. (2003), kamyonların varış zamanları tam olarak bilindiği durumda dinamik programlama problemi olarak sıralama problemini çözmüşlerdir. Bir dinamik programlama modeli geliştirmiş ve farklı büyüklüklerdeki çeşitli problemler çözmüşlerdir.

Kim ve Kim (2007), bir konteyner terminalinde ithalat konteynerlerinin depolanması için optimal fiyat çizelgesi belirleme metodunu ele almışlardır. Fiyat çizelgesi, bedava-zaman-limit olarak belirlenmiştir. Optimal fiyat çizelgesi için kar ya da maliyet modelleri özel terminal operatörleri kadar kamu terminal operatörlerinin bakış açısını ele alarak geliştirmişlerdir.

Kim ve Park (2004), liman terminallerindeki en önemli ekipman olan rıhtım vinçlerinin çizelgenmesi problemini ele almışlardır. *Karmaşık Tamsayılı Programlama Modeli*'ni formülize etmişlerdir. Bu çalışmada *Dal ve Sınır Algoritması*'ni rıhtım vinci çizelgeleme probleminde optimal sonucu bulmak için kullanmışlar ve ayrıca dal ve sınır algoritmasının hesaplama zorluğuyla başa çıkmak için bir sezgisel algoritma olan *Açgözlü Rastgele Uygun Arama Prosedürü* kullanılmıştır. Aç gözlü rastgele uygun arama prosedürü ve dal ve sınır algoritmasının performansları karşılaştırılmıştır.

Lee vd. (2006), çok fazla yükleme ve boşaltma işleminin olduğu bir aktarma merkezinde alan depolama yükleme problemi üzerinde çalışmışlardır. İlk olarak, konteynerleri gemiler ve depolama alanı arasında konteyner değişimini ele almışlardır. Böylece tekrar dolaşmaları ve trafik sıkışıklığını minimize etmişlerdir. Ayrıca, tekrar dolaşmaları azaltmak için, bir konşimento stratejisi kullanmışlardır. Bu strateji, yüklenmemiş konteynerlerin hedef gemilerine göre konteynerleri gruplar. Trafik sıkışıklığını azaltmak için, yeni bir iş yükü dengeleme protokolü önermişler ve *Bir Karmaşık Tamsayılı Programlama Modeli*'ni alan vinçlerinin minimum sayısını belirlemek ve yüklenmemiş konteynerlerin depolanacağı konumları belirlemek için formüle etmişlerdir. Model CPLEX kullanılarak çözülmüştür. Modelin büyüklüğü ve karmaşıklığına bağlı olarak, iki sezgisel geliştirilmiştir. Sonuç olarak, algoritmalar birçok durumda tatmin edici sonuçlar göstermiştir.

Li vd. (2008), konteyner terminali operasyonları genellikle yavaş alan vinci hareketleri tarafından darboğaza sürüklenirler. Alan vinçlerinin önündeki başlıca taşıyıcılar sabittir. Bu yüzden, bu taşıyıcıların bekleme sürelerini azaltmak için etkili alan vinci çizelgeleme konteyner terminallerinin çıktısını artırmak için kritiktir. Bu çalışmada vinçler arası etkileşim, sabitlenmiş alan vinci ayırım uzaklıkları ve eş zamanlı konteyner yükleme/boşaltma gibi operasyonlar kısıtlar göz önüne alınarak etkili bir alan vinci çizelgeleme problemi geliştirmişlerdir. Daha fazla kısıt ile oluşturulan bu modelin literatürdeki diğer çalışmalara göre çok daha kaliteli ve kısa zaman alan çözümler verdiğini göstermişlerdir.

Murty (2007), konteyner terminal operatörlerinin rekabet için yüksek kalitede hizmet verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Geliştirilebilecek hizmetin kalitesi operasyon politikalarının ve terminal yerleşiminin tasarımına bağlıdır. Bazı problemler tanımlanmış ve özetlenmiş, ayrıca performansı artırmaya yardım edecek yeni operasyon politikaları ve tasarımları açıklanmıştır.

Ng (2005), çizelgeleme problemini bir tamsayılı programlama modeli olarak formüle etmiştir. Çizelgeleme problemi bir NP-tam problemidir. Bu çalışmada çizelgeleme problemini çözmek için bir dinamik programlama tabanlı sezgisel ve bu sezgisel tarafından bulunan çizelgeleri değiştirmede kullanmak üzere alt sınırların bulunmasını sağlayan bir algoritma önermiştir. Amaç, bir liman alanında, alandaki kamyonların toplam bekleme zamanlarını minimize etmek için çoklu liman vinçlerinin çizelgelenmesi ve toplam tamamlanma zamanını minimize etmektir. Gerçek liman vinci çizelgeleme problemi için optimal çizelge bulmanın zorluğundan dolayı bir “dinamik programlama tabanlı sezgisel” çizelgeleme problemini çözmek için önermiştir.

Ng ve Mak (2004), çalışmalarında, toplam bekleme zamanlarını minimize etmek için bir liman vincinin hareket alanı içerisinde farklı hazırlık zamanları ile elleçleme işlerini gerçekleştirmesi için çizelgelenmesi problemini detaylı olarak analiz etmişlerdir. Amaç, iş bekleme zamanlarının toplamını minimize etmektir. Bir dal ve sınır algoritmasının performansı çizelgeleme problemini optimal olarak çözmek için önerilmiştir. Alt sınırları ve üst sınırları bulmak için verimli ve etkili algoritmalar önerilmiştir. Önerilmiş dal ve sınır algoritmasının performansı gerçek hayat verilerinden oluşturulmuş test problemlerinin bir seti tarafından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, gerçek büyüklüklerdeki birçok problem için optimal çizelgeleri bulabilecek bir algoritma gösterir.

Özmen ve Özen (2000), limanlarda konteyner depolama alanlarının optimum boyutlandırılmasını sağlamak üzere envanter teorisinden yararlanarak bu çalışmayı geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile konteyner depolama sahasında belirli bir dönemde ölçülen konteyner yüklerinin yarattığı kâr kayıplarının ve boş kalma maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen modelin bazı limanlarda uygulanması sonucu, elde edilen sonuçlar, konteyner depolama alanlarında konteyner yükleri arttıkça, kâr kayıpları ile boş kalma maliyetlerini içeren toplam maliyetlerin azalmakta olduğunu, minimum maliyetlerin maksimum yük değerinde ya da bu değere çok yakın noktalarda belirdiği ortaya çıkarılmıştır.

Petering ve Murty (2008), çalışmalarında gerçek zamanlı bir alan vinci kontrol sistemi geliştirmişler ve bir terminalin uzun dönemli ortalama rihim vinci oranının gerçek zamanlı olarak depolama alanındaki alan vinçlerini sıralayan sistemin kısımlarına bağlı olduğunu göstermişlerdir. Birkaç gerçek zamanlı alan vinci sıralama sistemi çok amaçlı, stokastik, gerçek zamanlı bir çevreyi yeniden üretmek için tasarlanmış ana aktarma terminalinin bir tam olarak entegre edilmiş, kısıtlı olay simülasyon modeliyle değerlendirmişlerdir. İncelemeler sonucunda, konteynerlerin bloklara yüklenmesinden çok konteynerlerin bloklardan alınımının önceliklendirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca, iki farklı sıralama şemasını karşılaştırmışlardır ve detaylı olarak çıkmaza girme konularını incelemiştir.

Preston ve Kozan (2001), çeşitli konteyner elleçleme çizelgeleri için optimal depolama stratejisini belirleme amacıyla liman sistemlerini modellemişlerdir. Bir konteyner gemisinin limandaki çevrim süresini minimize etmek için oluşturdukları amaç fonksiyonuyla bir konteyner konumu modelini geliştirmişler ve GA kullanarak çözmüşlerdir.

Stahlbock ve Stefan (2008), dünya çapında konteyner taşımacılığında fark edilebilir bir büyüme olduğunu ve buna bağlı olarak optimizasyon ihtiyacının büyük ölçüde arttığını ayrıca akademik çalışmalarda da bu yöndeki ilginin arttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, konteyner terminalleri operasyonları ve bu operasyonlar hakkındaki yöneylem araştırması çalışmaları hakkında bir literatür taraması yapmışlardır.

Zeng ve Yang (2008), konteyner terminallerinde yükleme operasyonlarını çizelgelemek için bir simülasyon optimizasyon metodu geliştirmişlerdir. Bu metot, optimizasyon algoritmasının zeki karar mekanizmasını ve simülasyon modelinin değerlendirme fonksiyonunu entegre etmiştir. Bu algoritmanın adımları şu şekilde geliştirilmiştir: belirli sıralama kuralı doğrultusunda, konteynerlerin başlangıç sırasını belirlemek, GA doğrultusunda sırayı geliştirmek, verilen bir çizelgeleme şemasının amaç fonksiyonunu değerlendirmek için bir

simülasyon modelini kullanmak. Aynı zamanda, sinir ağılarına dayalı olarak bir geçici model amaç fonksiyonunu öngörmek için ve potansiyel kötü sonuçları çıkartmak için ve böylece simülasyon modelinin çalışma süresini düşürmek için tasarlanmıştır. Sayısal testlerle simülasyon optimizasyon modelinin konteyner terminallerinin çizelgelenmesi problemini etkin bir şekilde çözdüğü görülmüştür.

3. SİMÜLASYON

Günümüzde, yönetim son derece güç bir işlev haline gelmiş bulunmaktadır. Bunun önemli nedenlerinden biri de örgütlerdeki ve fiziksel sistemlerdeki çok sayıdaki ögenin aralarındaki etkileşimlerin karmaşık bir yapı oluşturmalarıdır. Her ne kadar, bu karmaşık yapı uzunca bir süreden beri var ise de, bunun öneminin farkına varılması oldukça yenidir. Bugün artık biliyoruz ki, sistemin bir ögesi üzerinde değişiklikler yapmak, sistemin tümünde değişimlere neden olacaktır. İşte bu anlayış, “Sistem yaklaşımı” olarak adlandırılan yeni bir yaklaşımın doğmasını ve gelişmesini de sağlamıştır.

Sistem yaklaşımı, yöneticilerin en önemli yardımcılarında biridir. Sistem yaklaşımının karmaşık sistemlerin analizinde ve tasarımında yararlandığı önemli araçlarından biri de simülasyon olarak adlandırılır (Erkut,1995).

Simülasyon gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve bu model ile sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir.

Simülasyon geliştirilen veya yeniden düzenlenen sürecin proses işlemlerini tamamlamada ve deneme çalışmalarını yürütmede ve süreçlerin hata zamanlarını tahmin etmek için yapılan deneysel çalışmadır [1].

“Simülasyon, teoriksel yada gerçek fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir”.

Bir simülasyon modeli, temel olarak “ne-eğer” (“what-if”) analizlerinin yapılmasını sağlayan bir araç olarak ele alınmalıdır. Kullanıcısına değişik dizayn ve işletim stratejilerinin genel sistem performansı üzerindeki etkisini gösterir [6].

Simülasyon,

- Belirli kararların sonuçlarını ve gidişatlarını tahmin etmekte
- Gözlemlenen sonuçların sebeplerini belirlemede
- Yatırım yapmadan önce problem alanlarını belirlemede
- Değişikliklerin etkilerini ortaya çıkarmada
- Bütün sistem değişkenlerinin bulunmasını sağlamada

- Fikirleri değerlendirmede ve verimsizlikleri belirlemede
- Yeni fikir geliřtirmeyi ve yeni dūřünceyi teřvik etmede
- Planlarınızın bütünlüğünü ve fizibilitesini test etmede kullanılır.

Simülasyon kelimesinin modern anlamda kullanılışı 1940 yılı sonlarında John Von Neumann ve Stanislaw Ulam'ın çalışmalarına Monte Carlo Simülasyonu adını vermeleri ile baslar. Bu teknik sayesinde analitik işlemleri çok karışık ve deneysel işlemleri de çok pahalı olan nükleer savunma problemleri başarı ile çözülmüştür. 1950 yılı başlarında sayısal bilgisayarların gelişimi ile simülasyon kelimesi başka anlamlar da kazanmıştır. Bu sayede sosyal bilimciler de fizik kimyacılar gibi lâboratuar deneyimlerine benzer deneyleri bilgisayarda gerçeğeştirme olanağı bulmuştur. En genel anlamda simülasyon, gerçeğin temsil edilmesi seklinde tanımlanabilir. Sözcüğün tanımı değişik yazarlar tarafından değişik şekillerde yapılmıştır.

Simülasyonun is dünyası ve diğer ortamlarda simülasyonun uygulama alanı çok geniştir. Simülasyonun en önemli avantajlarından biri yönetimin model geliştirmesindeki etki derecesidir. Model, gerçeğin bir ölçeğidir. Fakat modelin üzerinde çalışan problemin ana özelliklerini yansıtmaması çok önemlidir. Çok sayıda gelişmiş matematiksel modelle yöneticinin modelin gerçeği temsil derecesinin yeterliliği konusunda yorum yapması olanaksızdır. Simülasyonda bu durum farklıdır. Yöneylem araştırmacı bilim adamlarının model geliştirmede kullandıkları standart testlerden biri "gerçek testidir" Örneğin deneyimli bir yönetici simülasyon modelinden elde edilen çıktı ile gerçek sistemden elde edilen çıktı arasında ayımsama yapabilir. Ek olarak, simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde yönetimin rolünün katılımı önemlidir. Yönetici modeli bilim adamı ile aynı şekilde algılayabildiğinden, modellenen sistemin parametrelerinin değiştirilmesinin yararlılığı konusunda yapıcı tekliflerde bulunabilir. Belli bir sistemin temel karakteristik özelliklerini temsil edecek bir model kurup, bu model üzerinde çeşitli denemelerde bulunarak bu denemelerde sonuçlar elde etme prosesine simülasyon denir. Sistemi temsil edebilecek bir model oluşturma işlemidir. Bu model temsil ettiği sistem üzerinde yapılması çok pahalı veya mümkün görünmeyen işlemlerin yapılmasına olanak verir. Bu işlemlerin etkisi altındaki model incelenir (Aydın vd., 2007).

Simülasyon sözcük anlamı ise benzetmedir. Daha genel anlamda matematik, istatistik gibi belirli bir model kurmadığımız olayların yapısını incelemek için olayı suni olarak canlandırmaya, kağıt üzerine getirmeye, olay üzerinde kontrol kurma gayretlerinin tümüne simülasyon denir.

Günümüzde endüstriyel problemlerin doğasındaki karmaşıklık ve sürekli yeni teknik yöntemlerin kullanılması maalesef pek çok analitik çözümü olanak dışı bırakmaktadır. Problemlerin yapısı değişen teknolojiyle birlikte karmaşık bir hale gelmekte ve bütünleşik sistemlerin sayısı hızla artmaktadır. Analitik yaklaşımların aksine simülasyon modelleri, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde daha başarılı olurlar. Değişkenler arasındaki etkileşimi simülasyon modellerinde gözlemlemek daha kolaydır. Ancak yoğun bilgisayar kullanımını gerektirir. Gerçek sistemden toplanan bilgiler, bilgisayarda geliştirilen modellere uygulanarak, sayısal bir takım sonuçlara ulaşmak hedeflenir. Bunların değerlendirilmesi ve sonuçlarına ulaşılması sistem performans ölçütlerinin birtakım tahminleridir. Simülasyon modelleri aracılığı ile en kötü durum senaryoları da incelenebilir.

Bir bilim ve sanat olarak simülasyon ve yaklaşımının tercih edilmesi, uygulanması ve uygulamanın başarılı olabilmesi için böyle bir yaklaşımın kullanılmasını gerektiren koşullarında gelişmiş olması gereklidir. Bu koşulları da şu şekilde sıralayabiliriz:

Belirsizlik: Çevre koşullarındaki ve iç olaylardaki belirsiz öğelerin fazlalığı ve yönetsel kararların büyük ölçüde belirsizlik altında alınma zorunluluğunun bulunması.

Rastsallık: Çevresel gelişmelerin belli bir kurala ve düzene bağlı olmadan rastsal olarak oluşması

Deneysellik: Çevre koşulları ile iç yapıdaki değişkenler, parametreler ve sistemi sınırlandıran kısıt ve varsayımlarda değişiklikler yaparak alternatif plan, ve yön oluşturma gereksiniminin bulunması. Simülasyonu bir "yönetim laboratuvarı " olarak kullanarak, "Böyle olursa ne yapmalıyız? Şöyle olsaydı ne yapardık?" türünden durumların deneylerle incelenme gereksiniminin bulunması

Davranış Analizi: Yönetim ve karar sistemlerinin. belli gelecekteki belli bir noktada içerdikleri çözüm değeri yerine, gelecek sahnesindeki davranışlarının ve farklı politikalara gösterdikleri tepkilerin analiz edilmesi gereksiniminin ön planda olması.

Sistem Görüşü: Yapı, sistem ve olayların bir bütün olarak ve çok yönlü geniş bir görüşle incelenme gereksiniminin bulunması.

Evrimsellik: Yapı, sistem ve olayların zaman içindeki nicel ve nitel değişimlerinin incelenme zorunluluğunun bulunması(Sistem Yönetimi, Erkut,1995).

3.1 Simülasyonun Kullanım Alanları

Ekonomide, işletmelerde ve diğer sosyal bilimlerde kullanılan simülasyon teknikleri, dinamik bir süreci temsil eden sayısal bir model üzerinde denemeler yapmayı içerir. Yani, amaca uygun bir sayısal model geliştirildikten sonra başlangıç koşullarının, parametrelerin ve dışa bağımlı değişkenlerin değerleri verilerek zaman içinde sürecin davranışı belirlenmeye çalışılır. Bu değişkenler seti belirli bir zaman diliminin başlangıcında sistemin konumunu tanımlamak içindir. Daha sonra söz konusu değişkenler dış etmenlere bağımlı bilgilerle birlikte belirlenen zaman diliminde sistemin davranışını türetmek için modelde kullanılır. Analizin sonunda elde edilen sonuçlar ele alınan zaman diliminin sonunda sistemin konumunu belirleyen değişkenlerin değerleridir. Bu süreç arzu edilen uzunluktaki zaman dilimi için tekrarlanabilir.

Simülasyon modellerinin en önemli özelliklerinden biri, zamanın en temel elemanlarından biri olmasıdır. Yani simülasyon tekniği ile bir sistemin çözümü demek, sistemin zaman içinde davranışının belirlenmesi demektir. Bu nedenle, çözümlenecek olan sistemin zaman içindeki davranışının belirlenmesi demektir. Bu nedenle çözümlenecek olan sistemin zaman içindeki davranışı önem arz ediyorsa, analiz için uygun bir analitik yöntem olmasına rağmen simülasyon en uygun çözüm olabilir. Ancak, doğrusal programlama, maksimizasyon ve minimizasyon gibi yöntemler bu sınırlandırmanı dışında bırakılmalıdır. Bununla beraber, söz konusu analitik yöntemlerin son derece uygun olduğu problemlerde bile simülasyon teknikleri başarı ile kullanılmıştır.

Simülasyon amacına göre değişik tanımlamalar yapılabilir. Kimilerine göre simülasyon bir işletmenin yada ekonomik sistemin davranışını belirten belli matematiksel ve mantıksal modeller ile bilgisayarda deneyler yapmak için kullanılan sayısal bir tekniktir. Başka bir tanıma göre de simülasyon gerçeklere ve varsayımlara dayalı olarak belirsizlik koşulları altında çeşitli seçenekleri değerlendirmek ve bu şekilde kara vericiye yardımcı olmak amacıyla, bilgisayara programlanmış matematiksel bir model kullanan kantitatif bir tekniktir.

Özel simülasyon programlarının varlığı, işlem sürelerini ve maliyetlerin azalmasına yol açmış; bu durum da simülasyonu, yöneylem araştırmasında ve sistem analizinde en çok kullanılan ve kabul edilen yöntemlerden biri haline getirmiştir. Simülasyon aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir.(Aydın vd., 2007):

- Karmaşık sistemlerin alt sistemlerini veya sistemlerin içindeki etkileşimleri incelemek için yapılan deneyleri ve çalışmalarını olanaklı hale getirir.

- Çevresel ve organizasyonel değişikliklerin etkisi bir model üzerindeki simülasyon yöntemiyle incelenebilir.
- İncelenen sistemlerde gelecekteki iyileştirme çalışmaları açısından simülasyon modelinin dizaynı aşamasında edinilen bilgi büyük değer taşımaktadır.
- Girdilerin değiştirilmesi ve sonuçların incelenmesi değişkenlerin önem derecesi ve birbirleriyle ilişkileri hakkında bilgi verir.
- Olacakları önceden tahmin etmek için, yeni dizaynların ve politikaların uygulamadan önce test edilmesinde simülasyon kullanılabilir.
- Analitik sonuçları doğrulamak için simülasyon kullanılabilir.

Simülasyonun uygulama alanlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz [1]:

- Üretim/imalat sistemlerinin tasarım ve analizi
- Montaj hattı dengeleme
- İşgücü planlaması
- Malzeme taşıma sistemleri
- Yeni askeri silah ve sistem taktiklerinin saptanması
- Bir envanter sistemindeki sipariş planlarının incelenmesi
- İletişim sistemlerinin ve bunlar için gerekli mesaj protokollerinin tasarımı
- Otoyollar, havaalanları, metrolar ve limanların tasarım ve işletimi
- Ambulans bulundurma noktalarının ve buralardaki araç sayılarının saptanması
- Yangın söndürme istasyonlarının yerlerinin ve buralarda bulundurulması gerekli
- Minimum araç sayılarının saptanması
- Finansal veya ekonomik sistemlerin analizi
- Dağıtım kanallarının tasarımı
- Bir bilgisayar sisteminin donanım ve yazılım gereksinimlerinin belirlenmesi

- İşletme yöneticilerinin eğitilmesi(işletme oyunları/firma benzetimi)
- Alınacak riskleri minimize etmek için uzay uçuşları denemeleri
- Tamir-bakım sistemleri

3.2 Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları

Simülasyonun Avantajları

- Sistemin modeli bir kez kurulduktan sonra, farklı durumların incelenmesi için istenildiği kadar kullanılabilir.
- Simülasyon modeli üzerinde yapılacak incelemeler için gerekli, veriler, çoğu kez gerçek yaşamda olduğundan daha ucuz elde edilir.
- Simülasyon yöntemleri öneri halinde olan ve verilerin detaylı olmadığı durumlarda oldukça elverişlidir.
- Gerçek sisteme ilişkin veri simülasyon modeli yoluyla çok daha kolay ve ucuz elde edilir.
- Simülasyon yöntemlerinin uygulanması analitik yöntemlere göre daha kolaydır.
- Simülasyon, sistem analizcilerini daha genel ve daha geniş düşünmeye zorlar.
- Simülasyon, sistemlerinin evrimselliklerini öne çıkararak, dinamik yapılarının incelenmesini zorlar (Erkut, 1992).
- Var olan bir sistemin düşünülen çalışma şartları altında performansını tahmin etmek ve değerlendirmek için simülasyon kullanılabilir.
- Bir sistem için düşünülen alternatif politikaların seçiminde veya alternatif olarak önerilen sistem tasarımlarının değerlendirilmesinde simülasyon kullanılabilir. Simülasyonda sistemin kendisi ile yapılacak ölçüden daha fazla olarak deney koşulları üzerinde kontrol tesis etmek mümkündür.
- Simülasyon, bir sistemin uzun bir zaman boyunca çalışmasına ve sonuçlarının irdelenmesine imkan verir.
- Simülasyon, bir sistemdeki dahili karmaşık etkileşimleri, analiz ve bunlar üzerinde deney yapma olanağını sağlar.

- Simülasyon ile dinamik sistemlerin gerçek zamanı daraltılmış veya genişletilmiş süre içinde incelenebilir.
- Simüle edilen sistemin ayrıntılı gözlemi, sistemin daha iyi anlaşılmasını, daha önce görülmemiş eksikliklerinin giderilebilmesini, daha etkin fiziksel ve operasyonel bir sistemin kurulmasını sağlayabilir.

Simülasyonun Dezavantajları

- Bilgisayar aracılığıyla bir sistemin simülasyon modelinin kurulması ve geçerliliğinin gösterilmesi maliyet yaratmaktadır. Genel olarak ele alınan her sistem için yeni bir simülasyon modeli kurulması gereği vardır. Özel amaçlı simülasyon dilleri bu sakıncayı bir ölçüde ortadan kaldırmıştır.
- Kurulan simülasyon modelinin bilgisayarda çalıştırılması ve sonuçlarının alınması zaman alabilir, bunun da maliyeti yüksektir.
- Simülasyonun en önemli sakıncası yöntemin kendisi ile değil, kullanıcı ile ilgilidir. Bu sakınca, en iyi yöntem olmadığı halde kullanıcıların simülasyon yöntemine olan eğilimleridir.
- Araştırmacılar simülasyon yöntemlerini öğrendikten sonra onu analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanmaya yönelebilirler (Erkut, 1992).

3.3 Simülasyon Modellerinin Yapısı

Model bir sistemin temsil edilmesidir. Sistem; belirli bir amaç için beraber çalışan insan, ekipman, parçalar ve yöntem gibi elemanların birbiriyle olan ilişkilerinden doğan sonuçları matematiksel olarak tanımlar. “Sistem birbiriyle etkileşim halinde olan bileşenler kümesidir.” Sistem sürekli olarak birbirini etkileyen ve birbirine bağımlı olan olayların oluşturduğu bir bütündür. Bu tanımlar listesi ne kadar uzatılırsa uzatılsın, hepsinde öne çıkan üç temel nokta bulunacaktır:

- Sistem öğelerden oluşmuştur.
- Öğeler arasında ilişkiler vardır.
- Sistem belli bir amaca yönelmiştir.

Belli bir zaman noktasında sistemin durumu, bu zaman anında sistemin sahip olduğu ilgili özelliklerin kümesidir. Bir sistemin sınırlı sayıda özelliği olabilir. Buna göre bu ilgili özellikler araştırmanın amacına göre değişebilirler. İlgili özelliklerin değerleri sistemin durumunu oluşturur.

Bir sistemin çevresi sistemin dışındaki öğeler ile bunların ilgili özelliklerinin kümesidir. Bu öğeler sistemin içinde değillerdir. Ancak bunların herhangi birisindeki bir değişim sistemin durumunda bir değişim oluşturacaktır. Buna göre sistemin çevresi sistemin durumun etkileyebilen tüm değişkenlerdir. Sistemin ilgisiz özelliklerini etkileyen dışsal elemanlar, sistemin çevresine dahil değillerdir. Bir model için gerekli temel özellik, geçerli ve gerçeğe yakın tahminlerin yapılmasını sağlayacak tüm ayrıntılara sahip olmasıdır. Daha genel olarak, modelin karakteristik özellikleri, modellenen sistemin karakteristik özellikleri ile uyumlu olmalıdır. Bir simülasyon modelinin bölümleri temel olarak bileşenler, değişkenler, parametreler, ilişkiler, varsayımlar, kısıtlar ve ölçütlerdir (Aydın vd., 2007).

Bileşenler

Bir araya geldiklerinde sistem oluşturan parçalardır.

Değişkenler

Sistemin değişik koşullarda ve değişik sistem durumlarında farklı değerler alan özelliklerdir. Değişkenler bağımlı ve bağımsız olarak sınıflandırılabilir. İnceleyicinin değiştirmekte serbest olduğu değişkenler bağımsız değişken grubuna girer. Bir başka sınıflama yöntemi de denetlenebilir ve denetlenemez şeklinde olabilir. Denetlenebilir değişkenlerin değerleri inceleyici tarafından belirlenen değişkenlerdir. Genellikle bağımsızdırlar. Denetlemeyen değişken değerleri sistemin çevresi tarafından veya sistemdeki bileşenlerin etkileşimi sonucunda belirlenen değişkenlerdir. Son olarak değişkenler girdi ve çıktı değişkenleri olarak gruplanabilir. Girdi değişken değerleri, sistemin bileşenlerinin performansı veya etkileşimi tarafından belirlenemeyen değişkenlerdir. Çıktı değişkenlerinin değerleri sistemin bileşenlerinin performansı veya etkileşimi tarafından belirlenir.

Parametreler

Sistem analizcinin istediği değerleri verebileceği miktarlardır. Bunlar analiz boyunca değiştirilemez.

İlişkiler

İlişkiler sistemin bileşenleri, değişkenleri ve parametreleri arasındaki bağıntılardır. Bunlar sistemin durumundaki değişimleri denetlerler.

Varsayımlar

Modeli gerçek durumdan soyutlayan kabullerdir. Varsayımlar üzerinde yapılan varsayım değişiklikleriyle, modelin soyutlanma derecesi de değişecektir.

Kısıtlar

Değişkenlerin değerleri veya kaynakların nasıl tahsis edileceği üzerindeki sınırlamalardır.

3.4 Simülasyon Türleri

Sistemler kesikli ve sürekli olarak ikiye ayrılabilir. Gerçekte çok az sistem yalnız kesikli veya sürekli olarak tanımlanabilir. Ancak yalnızca bir tek tip değişikliğin sistemi yönlendirmesinden dolayı bir sistemi kesikli veya sürekli olarak tanımlamak mümkündür.

Kesikli sistemlerde, durum değişkenleri zamanın birbirinden farklı noktalarında değişirler. Bu duruma örnek olarak bir restorana gelen müşteriler verilebilir. Her bir müşteri veya müşteri grubunun restorana varışı arasında ölçülebilen bir süre vardır. Sürekli sistemlerde durum değişkenleri sürekli değişirler. Bu duruma kovayı doldurmak için musluktan akan su örnek olarak verilebilir.

3.4.1 Kesikli Olay Simülasyonu

Kesikli olay, zaman içerisinde herhangi bir noktada oluşan bir anlık olaydır. Kesikli olay modellerinin simülasyonunda, bilgisayar, simülasyon saati adı verilen, zaman içinde belirli bir noktada gerçekleşen her olayda ölçüm yapan bir zaman belirleyici mekanizma içerir.

Simülasyonun genel özelliklerine ilave olarak kesikli olay simülasyonu aşağıdaki özellikleri kapsar (Aydın vd., 2007):

- Zamanın farklı noktalarındaki değişiklikler
- Bir seri olaylar
- İşlem döngü şekilleriyle betimleme

- Üç aşamalı yaklaşım

3.4.2 Statik ve Dinamik Modeller

Statik model, zamandan etkilenmeyen model çeşididir. Bundan dolayı simülasyon saati içermez. Saniye, dakika, saat, gün, gibi birimlerin bu modelde bir etkisi yoktur. Modelin durumu zamana göre değişiklik göstermez. Zar atan bir simülasyon modeli statik modele örnektir. Modelin sonucu olan 1-2-3-4-5-6 zamandan etkilenmez.

Dinamik model; zamandan etkilenir. Modelin durumu, simülasyon yapılma zamanı, saniye, dakika, saat ve gün olarak simülasyon saatini gösterir. Hizmet ve üretim sistemleri genellikle bu modele göre yapılır. Sıralandırma düzeyi, varış oranları, makine kullanım oranı dinamik değişkenlere örnektir.

3.4.3 Açık Döngü ve Kapalı Döngü Modelleri

Bir sistem simülasyonu sonucu, sisteme geri bildirim olarak herhangi bir bilgi sağlamıyorsa, bu sistem açık döngü modeli olarak tanımlanır. Diğer yandan, eğer modellenen sistemin simülasyon sonuçları, bir sonraki simülasyona geri bildirim sağlıyorsa, bu kapalı döngü modeli olarak adlandırılır.

3.4.4 Sürekli Simülasyon

Sürekli simülasyonda, modelin bağımlı değişkenlerinin değerleri simülasyon süresince sürekli değişebilir. Sürekli bir model, bağımlı değişkenlerin değerlerinin simülasyon zamanında herhangi bir noktada veya sadece belirli noktalarda elde edilme durumuna bağlı olarak zamanca kesikli ya da sürekli olabilir.

3.4.5 Karma Simülasyon

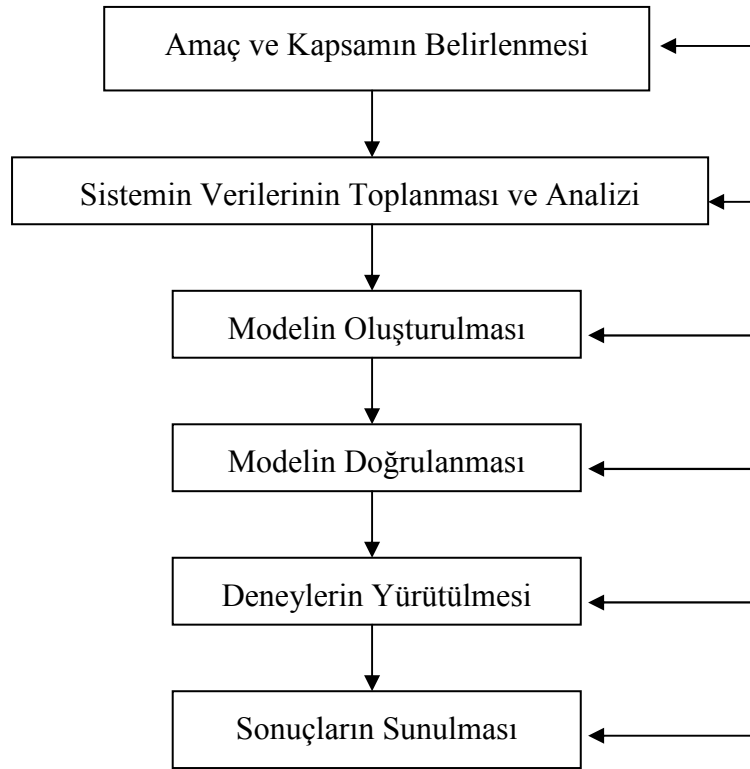
Karma simülasyonda, modele ait bağımlı değişkenler kesikli, sürekli veya kesikli sıçramaların da bulunduğu sürekli bir yapıyla değişebilir. Zaman değişkeni kesikli veya sürekli olabilir. Karma simülasyon en önemli göstergesi kesikli ve sürekli olarak değişme gösteren değişkenler arasındaki karşılıklı etkileşimdir. 3 çeşit temel etkileşim vardır (Aydın vd., 2007):

1. Bir sürekli değişkenin değerinde kesikli bir değişim meydana getirebilir.
2. Esik değerine ulaşmayı başaran bir sürekli durumun değişkeni içeren bir olay başka bir olayın meydana gelmesine ya da programa alınmasına neden olabilir.

3. Sürekli değişkenlerin fonksiyonel tanımı kesikli zaman aralıklarında değiştirilebilir.

3.4.6 Simülasyon Sürecinin Aşamaları

Simülasyon modelleme, iyi derecede analitik, istatistik, organizasyon, iletişim ve mühendislik kabiliyeti gerektirir. Model kurucu, araştırılan sistemi anlamalı, sistemin performansını etkileyen karmaşık neden-sonuç ilişkisiyle sistemi kategorize etmelidir. Simülasyon çalışmasına katılan tarafların kabul ettiği bir modelin kurulduğu, ayrıca herkes tarafından çalışmanın amaçlarının, varsayımlarının ve sonuçlarının anlaşılmasının sağlanması da önemlidir. Bir simülasyon projesine başlamasından önce konuyla ilgili çalışacak sistem hakkında en azından temel bir bilgiye sahip olan bir birden fazla insan tayin edilip bu görev verilmelidir. Simülasyonun uygun bir çözüm olup olmadığına karar vermek için problemin yapısı hakkında yeterli derecede temel bilgi toplanmalıdır. Simülasyon, şirket içinde bireyler tarafından yürütülüyorsa, işlem hakkında temel bir bilgiye de sahip olunmalıdır. Halihazırdaki bir sistem için kısa bir tanıtım, bilgiye sahip olmayanları işleme yakınlaştıran en mükemmel yoldur. Simülasyon sürecinin aşamaları aşağıdaki şekil 3.1’ de gösterilmiştir (Aydın vd., 2007).



Şekil 3.1 Simülasyon sürecinin aşamaları

Simülasyon yaklaşımı çok sayıda değişik türden probleme uygulanmaktadır. Etkili bir çalışma yapabilmek için, potansiyel problemleri olan sistem parçalarının incelenmesi ve çalışmanın buna göre hazırlanması gerekir. İyi bir model, gelecek ihtiyaçları da göz önüne alarak, sistemin diğer parçalarını da kolayca içine alacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Fakat içinde fazlalık ve gereksiz bilgilerin bulunduğu bir model bilgisayar üzerinde diğer modellere göre daha yavaş çalışabilir ve maliyeti daha yüksek olabilir.

Bu problemlerin bir kısmı matematik bir kesinlik beklerken bir diğer kısmı da matematik ile ilişkisiz olabilmektedir. Simülasyon bir bilim dalı olmakla birlikte, hala bir sanat niteliği taşımaktadır. Değişik bilim dallarından gelen kimselerin değişik sorunlar üzerinde simülasyon uygulamalarının bir sonucu olarak tüm bu çalışmalarda geçerli olabilecek bir simülasyon yöntem biliminin bulunacağını düşünebiliriz. Nitekim aşağıdaki satırlarda bu yöntem bilimin adımları açıklanacaktır. Ancak bu adımlar, çalışmayı sınırlandırıcı dar bir koridor olarak değil, genel bir yönlendirici ve yol gösterici olarak algılanmalıdır.

Simülasyon sürecinin adımlarını aşağıdaki gibi ele alabiliriz.

Problemin formülasyonu

- Çalışmanın amacı
- Sistem tanımı
- Varsayımların belirlenmesi

Simülasyon deneylerinin tasarımı

- Matematik modelin formülasyonu
- Simülasyon deneyi için veri derleme
- Örneklem
- Model geçerliliği

Bilgisayar modelinin kurulması

- Başlangıç koşulları ve denge
- Zaman-akış mekanizması
- Proses üretme işlemleri

- Parametre değişiklikleri ve alternatif karar kuralları
- Kayıt tutma ve istatistiklerin türetilmesi
- Bilgisayar modelinin organizasyonu
- Bilgisayar modeli geçerliliği

Simülasyon verilerinin analizi

- İstatistik testler
- Sonuçların yorumlanması (Erkut,1992)

Simülasyon sürecinin aşamaları aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

3.4.7 Problemin Formülasyonu

Problem formülasyonu esas olarak amacın ve sistemin tanımını kapsamaktadır. Simülasyon çalışmasının amaçları, genellikle ele alınan problem tarafından belirlenir, çünkü model kurulduktan sonra, model üzerinde yapılacak çalışmaların problemi çözmesi hedeflenmektedir.

3.4.7.1 Çalışmanın Amacı

Herhangi bir çalışmanın ilk adımı, yürütülen çalışmanın amacının açık ve tam olarak belirlenmesidir. Çoğu kez yapılan hata çalışma amacının eksik olarak tanımlanmasıdır. Bu ise çoğu kez dışsal faktörler ile olan ilişkilerin göz ardı edilmesi tehlikesini doğurmaktadır.

Çalışma amacının tanımlanmasının önemli bir parçası da, araştırmanın sonuçlarını ölçecek olan ölçütlerin belirlenmesidir. Bu ölçütlerin sayısı, bazı kereler, şaşırtıcı düzeyde olabilir. Bir çok endüstri sistemlerinin optimum performansı sıklıkla en düşük maliyet veya en büyük kar olarak ele alınır: Ancak, bunun nedeni toplam karar projesinin parasal deyimlere indirgenmiş olmasındadır. Askeri sistemler incelenirken ölçülecek olan optimum performansın değerlendirilmesinde para aynı ağırlığı taşımayacaktır. Bir atölyenin performansı ise çok değişik yollarla ölçülebilir. Teslim gecikmelerinin düzeyi, boş zaman miktarı, işlem gören stok miktarı, hurda miktarı, iş kazaları sayısı, mamullerin kalite düzeyi, devreden işgücü düzeyi.

Çalışmanın amacı tanımlanırken, neyi optimize etmek istediğimiz tam ve açık olarak belirlenmelidir. Bu, doğal olarak, bizim özel problemimiz için neyin daha önemli olduğuna bağlı olacaktır. Uygulamada, performans ölçütlerinin kendi aralarında ilişki içinde bulunduğu görülmektedir. Örneğin, boş zamanların azaltılmasını temel ölçüt olarak alan bir atölye tipi üretim sisteminde teslim gecikmelerinin azaltılması amacı da kendiliğinden sağlanabilmektedir. Simülasyon çalışmalarının izleyeceği tüm amaçları tanımlamak olanaklı değildir. Zira her çalışma kendine özgüdür. Bununla beraber bu amaçların bir kaçı burada sayılacaktır.

Birçok sistem incelenmesinin amaçları aşağıda açıklanan kullanımların biri veya daha fazlası türünden tanımlanabilir:

- Mevcut veya önerilen karmaşık sistemlerin modeller, gerçek durumlara göre çok daha düşük maliyet ile ve çok daha az risk alarak denenebilir. Değişkenler ve parametreler üzerinde oynayarak model üstünde oynanabilir ve politika, organizasyonel yöntem, koşullar ve ilişkilerindeki değişikliklerin muhtemel etkilerini araştırabiliriz. Sistemin bir parçasında alınan bir kararın, sistemin diğer parçaları üzerindeki etkisinin anlaşılması zordur. Simülasyon bu sakıncayı önler. Simülasyon uygulaması etkilerin nedenlerinin tanımlanmasında da çok yararlıdır.
- Hipotezler, simülasyon modelleri kullanarak formüle edilip test edilebilirler. Karar kuralları ve alternatifler değerlendirilip karşılaştırılabilir.
- Geleceğe yönelik tahminler ve projeksiyonlar yapıp, bunlar planlama için ve karar vermede yardımcı olarak kullanılabilirler.
- Etkileşimleri ve sistem performansı üzerindeki etkileri açısından, en önemli değişkenler belirlenip tanımlanabilir. Parametrelerdeki değişimlerin etkileri ölçülebilir.
- Zaman ölçeği denetlenebilir. Yani, zaman uzatılabilir, kısaltılabilir. Dinamik sistemlerde oluşan olaylar kendi sıralarında incelenebilir.
- Eğitim ve yönlendirmede kullanılırlar.
- Standart analitik yöntemlerle çözümlenemeyen belli tür olasılıklı olmayan matematik denklemler simülasyon yaklaşımı ile incelenebilir.

- Üretim proseslerinin işlevsel denetimi, simülasyon modeli tarafından etkilenebilir, gerçekleştirilebilir. Bu durumda, simülasyon modeli, üretim kontrol sisteminin bir parçasını oluşturur (Erkut,1995).

3.4.7.2 Sistemin Tanımı

Çalışma amacının belirlenmesinden sonra şimdi sıra sistemin tanımlanmasındadır. Sistemi tanımlayabilmek için her şeyden önce “sistem” sözcüğünden ne anlaşıldığının açıklanması gerekmektedir.

- Sistem birbiriyle etkileşim halinde olan bileşenler kümesidir.
- Sistem sürekli olarak birbirini, etkileyen ve birbirlerine bağımlı olayların oluşturduğu bir bütündür.
- Sistem belirli girdileri alan ve bunlara uygun olarak işleyerek, belirli çıktılar arasındaki ilişkiyi gösteren bir fonksiyonu en büyükmeyi amaçlayan varlıklar veya öğeler topluluğudur.

Bu denli geniş anlamlar içerebilen böylesi bir sözcüğün tek bir tanımın sınırları içine sığdırılması elbette güçtür. Ancak bu denli yaygın ve farklı kullanımına rağmen, yine de sistem olarak adlandırdığımız tüm bu kavramların bazı ortak ve evrensel noktaları taşıdıkları söylenebilir. Bu dört nokta öğe, özellik, faaliyet ve durum olarak anılır. Şimdi bu dört noktayı kısaca tanımlayalım:

Öge: Sistem içindeki herhangi bir nesne

Özellik: Ögenin niteliği

Faaliyet: Sistemde değişim yaratan süreçler

Durum: Belli bir zaman noktasında sistemin ve faaliyet tanımı

3.4.8 Simülasyon Deneylerinin Tasarımı

Deneylerin tasarımı esas olarak simülasyon modelinin tüm yönleriyle kurulmasını ifade etmektedir.

3.4.8.1 Matematik Modelin Formülasyonu

Bileşenler, değişkenler, parametreler ve ilişkiler bir araya getirilerek matematik model kurulur. Modelleme bir soyutlamadır. Bu soyutlamanın ölçüsü çalışmanın amacı tarafından belirlenir. Bu aşamada değişken ve parametreler için semboller tanımlanır. Modelin işleyişini tanımlayan algoritma açıklanarak akış diyagramı sergilenir ve el ile simülasyon çalışması yapılarak modelin işleyişini incelenir.

3.4.8.2 Simülasyon Deneyi İçin Veri Derleme

Özellikle büyük ölçekli sistemlerin simülasyon çalışmaları için veriye gereksinim vardır. Yeterli ve sağlıklı verinin sağlanamayışı simülasyon çalışmaları önündeki başlıca engeldir. Bununla beraber bazı kereler veri sağlanabilecek kaynaklar şaşırtıcı derecede çok olmaktadır.

Veri gereksiniminin özelliği

Simülasyon deneyleri için veriye olan gereksinim iki temel kategoride ele alınabilir.

- Parametrelerin değerleri, değişkenlerin davranışını ve ilişkilerin biçimini öngörebilmek için geçmişe yönelik veriler.
- Verileri kaynağında bulup yakalayarak, tüm verilerin sürekli güncelleştirilmesini sağlayacak olan veri kayıt sistemi.

Sistemi temsil eden matematik modelin soyutlama derecesi, simülasyon deneyi için gerekli olan tarihsel verinin türünü belirleyecektir. Araştırmacı hangi tür verinin gerekli olduğunu belirlemelidir. Bu aşağıdaki değerleri tahmin etmek için gereklidir;

- *Sistemin Parametreleri:* Rastsal değişkenlerin yoğunluk parametreleri, maksimum kuyruk uzunluğu, depolama sınırlamaları...
- *Sistemin Değişkenlerinin Davranışı:* Rastsal değişkenlerin olasılık dağılımları, rastsal değişkenlerin dinamik parametrik değerleri
- *Sistemdeki İlişkilerin Biçimi:* İçsel bileşeler arasındaki bağımlılık, dışsal permütasyonların etkileri;

Veri Toplama Problemi

Belli bir simülasyon incelemesinde yararlanılacak olan veri kaynakları, incelemenin niteliğine göre farklılıklar gösterecektir. Aşağıda, bir işletme için önemli veri kaynağı sayılabilecek

noktalar bunlara ilişkin örneklerle birlikte sergilenmektedir.

İçsel Veri Kaynakları

- Muhasebe kayıtları: Vergiler, taşıma maliyetleri, karlar
- Mühendislik kayıtları: Malzeme özellikleri, donanım performansı, teknolojik siparişler
- Satış kayıtları: Satışlar nicel ve parasal hacmi, satış eğilimleri, kayıp satış maliyetleri
- Satın alma kayıtları: Malzeme maliyetleri
- Stok kayıtları: Hammadde, işlenmekte olan malzeme, bitmiş mamul
- Üretim kontrol kayıtları: Programın durumu, yürütme ve sıralama bilgisi, imalat hattı dengeleme, yükleme.
- Kalite kontrol kayıtları: Makine performansı, hurda, fire, donanım yaşının etkisi
- Bakım kayıtları: Sistem bileşenlerinin güvenilirliği, bozulma oranı, onarım zamanı ve bekleme zamanı "dağılımı, dışsal etkilerin sıklığı
- Zaman kayıtları: İşlem zamanlarının dağılımı
- Takım ömür kayıtları: İstek sıklığı, bekleme zamanı dağılımı, takım bozulma sıklığı, takımların ömür dağılımı
- Depo kayıtları: Malzeme çıkış sıklığı, bekleme zamanı dağılımı, boş stokların sıklığı
- Personel kayıtları: Ücretler, beceri sınıflandırması, işgücü bulunabilirliği, işgücü devri

Dışsal Veri Kaynakları

- Sigorta Şirketleri
- Satıcılar ve Sunucular Tüketiciler
- Pazar Araştırma Firmaları Yönetim Danışmanları Endüstriyel ve Ticari Kuruluşlar Standart Veriler
- Devlet Arşivleri
- Üniversiteler

- Meslek Kuruluşlarının Yayınları

3.4.8.3 Örnekleme

Deney sonuçlarının açık olarak yorumlanabilmesi için somut fiziksel deneylerde olduğu gibi simülasyon deneyleri de özenle planlanmalıdır. Simülasyon deneylerinin tasarımına ilişkin tartışmalar aşağıda açıklanmıştır: Toplanan veriler aşağıdaki amaçlar için kullanılırlar:

- Rastsal değişkenlerin dağılım türünün belirlenmesi
- Dağılım parametrelerinin belirlenmesi
- Sistem değişkenleri arasındaki belli ilişkilerin korelasyon katsayıları ile gösterilmesi, sistem değişkenleri arasındaki ilişkinin açıklanması

İstatistik Tasarım

Simülasyon deneylerinin istatistik tasarımına ilişkin bilgi çok fazla değildir. Bunun değişik nedenleri vardır. Aşağıda, deneysel tasarımın önemli noktaları çok kısa olarak sıralanacaktır.

- Problemin kurulması: Bu daha önce açıklanan problemin formülasyonu aşamasıdır.
- Yanıtın veya bağımlı değişkenlerin seçimi: Bu aşama da problem formülasyonu da tartışılmıştır.
- Değişecek olan faktörlerin seçimi: Bunlar bağımlı değişkenleri etkileyebilecek olan bağımsız değişkenlerdir. Nicel ve nitel olabilirler.
- Her faktörün düzeyinin seçimi: Deney içine almak istediğimiz her faktörün düzeyini belirleyip bunların “sabit” veya “rastsal” olup olmadıklarını araştırmalıyız. Eğer faktör “sabit” ise, sonuçlar yalnızca test edilen düzeylerle ilgili kalacaktır. Eğer, “rastsal” ise, sonuçlar yalnız deneyde test edilen düzeylerle değil mümkün olan tüm düzeyler ile ilgili olacaktır. Aynı deney içinde hem sabit hem de rastsal faktörlerin bulunması mümkündür.
- Deney dışı değişkenlerin denetimi: Fiziksel deneylerde, en önemli ve güç işlerden biri de, deneysel tasarım içinde yer almayan değişkenlerin denetlenmesidir. Ancak genellikle, simülasyon deneylerinde bu sorun yer almaz, zira araştırmacının, modeline eklemek istediği değişimlerin kaynağı üzerinde doğrudan denetimi vardır.
- Analiz yönteminin belirlenmesi: Deneyin sonuçlarının analiz edilmesi yöntemini, tasarım izlemelidir. Bu tasarımla, araştırmacının sorularının, deneyle sağlanan veriler tarafından

yanıtlandığı gösterilebilecektir. Özel bir simülasyon deneyinin sonuçlarının analizi için kullanılacak olan yöntem büyük ölçüde deneyin niteliğine ve amacına bağlıdır.

3.4.8.4 Model Geçerliliği

Modelin bilgisayar programı kurulmadan önce, kurulan modelin incelenen sistemi temsil ettiğinin araştırılması gerekir. Gerçeği tam olarak temsil eden bir sistemin kurulması düşünülemez, ancak incelenen sistemin belirleyici olan karakteristiklerinin modelde yer aldığı konusunda ve model davranışının gerçek sistemin davranışından büyük sapmalar göstermediği konusunda emin olmak gerekir. Karmaşık modellerin geçerliliğinin önceden irdelenmesi güçtür. Ancak, yararlı olabilecek ve yol gösterilecek bazı testler vardır. Aşağıda kısaca bunları açıklanacaktır:

Geçmiş verilerin üretilmesi: Dağılım simülatörüne geçmiş veriler verildiğinde, yüksek bir doğruluk derecesi ile olasılık dağılımını yeniden üretebilmelidir.

Ölçü testi: Modelin geçerliliğini ölçmek için bir kaç hesaplama yapıp çıktı davranışın karakteristiklerini bulabiliriz. Örneğin bazı sonuçlar kesinlikle negatif olmamalıdır. Bazı diğer sonuçlar da belli zaman sırasını izlemelidir. Örneğin dönemsel eğilimler gibi. Ayrıca, model kurulurken yaptığımız varsayımlar üzerinde belli testler yapabiliriz.

Tamamlık için denetim: Modelin son bir kontrolü, herhangi bir önemli ve belirleyici faktörün unutulmuş olup olmadığını denetlemek içindir (Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı, Erkut, 1992)

3.4.9 Bilgisayar Modelinin Kurulması

Bilgisayar simülasyonu, sistem dizaynı ve analizinde hızla popüler olan bir araçtır. Simülasyon, mühendis ve planlamacılara sistemin dizaynı ve işletimiyle ilgili zamanında ve zekice kararlar vermeleri için yardımcı olur. Simülasyon tek başına problemleri çözemez fakat problemi açıkça tanımlar ve sayısal olarak alternatif çözümleri değerlendirir. Koşul “what-if” analizi yapabilen bir araç olan simülasyon önerilen herhangi bir çözüm için sayısal ölçüm ve analiz yapabilir ve kısa zamanda en iyi alternatif çözümü bulmaya yardımcı olur. Yeni bir sistemi kurmadan veya işletme politikalarını test etmeden önce bilgisayarda sistemi modelleyerek, sistem ilk çalıştırıldığında karşılaşılabilecek birçok tuzağı önceden görmemize yardımcı olur. Devreye alma aşamasında iyi ürün elde etmek için aylar belki de yıllar süren çalışmalar simülasyonla günlere hatta saatlere sıkıştırılmış olur.

Simülasyonun çok fazla sayıda ve çok fazla özellikli değişkeni tek bir modelde toplayabilme özelliği, bugünkü kompleks sistemlerin dizaynı için vazgeçilmez bir araç olmasını sağlamaktadır. Bir üretim sisteminde, iş parçalarının, aletlerin, paletlerin, taşıma araçlarının, taşıma yollarının, işlemlerin vs., mümkün olan kombinasyonları, permütasyonları ve bunların sonucundaki performans değerlendirmeleri neredeyse sonsuzdur. Pratik sistemleri dizayn etmek için bilgisayar sistemi bir gereklilik olmuştur. Servis sistemleri için müşteri akışını planlama, personel yönetimi, kaynak yönetimi ve bilgi akışının simülasyonunu yapmak da üretim sistemleri kadar önemlidir.

Geçerliliği irdelenmiş olan matematik model artık, bilgisayar dili ile kodlanmaya hazır duruma gelmiş demektir. Bilgisayar ile simülasyon programının yapılması aşağıdaki adımlardan oluşur.

- Akış diyagramının çizilmesi
- Kodlama
 - Genel amaçlı derleyici
 - Özel amaçlı simülasyon dilleri
- Hataların ayıklanması
- Verilerin kullanılması ve başlama koşullarının belirlenmesi
- Verilerin üretilmesi
- Çıktı raporlarının üretilmesi

Bilgisayar simülasyon modellerinin kurulmasına ilişkin çok sayıda araştırma yayınlanmıştır. Bunların birçoğunda ortak olarak beliren temel noktalar ve kavramlar aşağıda kısaca tartışılacaktır.

3.4.9.1 Başlangıç Koşulları ve Denge

Simülasyon modellerinin çoğu, normal işleme karakteristiklerinin ulaşana kadar birkaç "ısınma" çevrimine gerek duyarlar. Örneğin bir süpermarketin simülasyon modelini düşünelim. Müşteriler belli bir olasılık yasasına göre mağazaya geleceklerdir.. İlk gelen müşteri mağazayı boş bulacaktır. Alışverişini rahatlıkla tamamladıktan sonra da hoş olan para ödeme kuyruğuna geçecektir ve hemen hesabı ödeyip mağazadan ayrılacaktır. Kuşkusuz

bu sistemin tipik davranışı değildir. Belli bir miktar tüketici mağazaya gelmeden normal işleme koşullarına ulaşmak mümkün değildir.

Denge: Normal işleme koşullarını tanımlarken sıklıkla kullandığımız iki deyim “denge” ve “düzgün durum” (rejim durumu) dur. “Denge, kendisine yaklaşılabilen, ancak hiçbir zaman ulaşılamayan bir sınır koşuludur.” Bu durumda önemli bir problem, sistemin dengede sayılabilecek yeterlikte ısındığı zaman noktasını saptamak olacaktır. Bazı simülasyon problemlerinde sistemin geçiş durumunun gözlenmesi ile ilgileniriz. Bu durumda denge problemi önemli olmayacaktır.

Başlangıç koşulları: İyi bir başlangıç koşulları kümesi kurmak için, elimizde çok açık kurallar yoktur. Bu, çoğu kez incelemenin amacına, arzulanan kesinliğe, sistem bileşenleri arasındaki ilişkilere ait bilgimizin derinliğine ve büyük ölçüde bu tür problemlerdeki deneyimimize bağlı olarak değişir.

3.4.9.2 Zaman Akış Mekanizması

Simülasyon çalışmalarının birçoğu, olayları zaman-sıralı olan sistemlerle ilgilidir. Dijital simülasyondaki zamanlama probleminin nedeni; gerçek sistemin bileşenlerinin eşzamanlı olarak işlemelerine karşın, simüle edilen sistemin bileşenleri sıralı olarak işler. Zira dijital bilgisayar bir zaman anında sistem bileşenlerinden yalnız bir tanesini göz önüne alabilir.

Olaylar, sıklıkla, gerçek sistemin değişik parçalarında aynı anda oluştuklarına göre ve sistemin değişik parçalarında bağımlılık olduğuna göre, simülasyon modelinde zaman akış mekanizmasının kurulması önem kazanmaktadır. Böylelikle, sistem bileşenlerinin simüle edilen performansları zaman içinde senkronize edilebilecektir. Biraz daha açık bir şekilde zaman akış mekanizmasını şöyle açıklayabiliriz: Simülasyon modellerinin çoğu belli bir zaman süresi boyunca sistem performansının değerlendirilmesi ile ilgili olduğundan, model tasarımı yapılırken ve simülasyon dili seçilirken en önemli noktalardan biri de zaman tutma yöntemi olacaktır.

Simülasyonda zaman tutmanın iki yönü vardır:

- Zamanı ilerletmek veya sistem zaman durumunu güncelleştirmek
- Değişik elemanların ve olay oluşumlarının senkronizasyonu

Her bir elemanın eylemleri, diğer elemanların durumuna ve eylemlerine bağlı olduğundan bunlar zaman içinde koordine edilmeli veya senkronize edilmelidir. Buna göre, model, simülasyon zamanı boyunca ilerleyecek biçimde tasarlanmalıdır, öyle ki olaylar belli bir sırada ve belli zaman aralıklarından oluşsun. Bu ise bir sorun yaratmaktadır. Gerçek sistemde bileşenler eşzamanlı olarak işlemektedirler. Dijital simülasyon modelinde ise bileşenler ardışık olarak sıra ile işlemektedirler. Ve bir anda, sistem bileşenlerinden yalnız bir tanesi işlenebilir. Olaylar sıklıkla, gerçek dünya 'sisteminin farklı parçalarında eşzamanlı olarak oluştuklarından, sistem bileşenlerinin performansı zaman alanında senkronize edebilecek bir zaman tutma sisteminin kurulması gereklidir.

Simülasyon modelinde zaman akışını göstermek için iki temel mekanizma vardır: Düzgün artışlı yöntem ve değişken artışlı yöntem.

Düğüün artışlı yöntem (Sabit zaman artışlı yöntem)

Bu yöntemde bilgisayar modelinin zaman içindeki adımları eşit aralıklardadır. Yani eşit artışlar gösterirler. Bu artışın boyutu yeteri kadar küçük seçilir, öyle ki sürekli sistemlere yapılan süreksiz yaklaşımlar kabul edilebilsin. Zaman akışını denetlemek için, model içine ana zaman dahil edilmiştir. Genellikle simülasyon sıfır anında başlar. Bir zaman aralığı geçtikten sonra, herhangi bir olayın oluşup oluşmadığı belirlenir. Eğer oluşmuş ise, gerekli testler yapılır. Tüm etkileşimler not edilir, değişkenlerin yeni değerleri hesap edilir. Daha sonra ana zaman artış miktarı kadar ilerletilir ve proses tekrarlanır.

Sabit zaman artışlı yöntem, sistemdeki zamanı, daha önceden belirlenmiş sabit-uzunluklu zaman aralıklarında güncelleştirir. Simülasyon zaman içinde olaylara basarak yürümektedir.

Değişken artışlı yöntem (Değişken zaman artışlı yöntem)

Bu yöntemde, bir olaydan bir sonrakine artış sağlanır. Bu durumda, genellikle, artış adımları düğüün değildir. Her adımın büyüklüğü, olaylar arasındaki aralığın büyüklüğüne eşittir. Simülasyon sıfır zamanında başlar. Sistem bileşenlerinin simüle edilen performanslarının sonucu olan olayların oluşma zamanları belirlenir. Ana zaman, en erken olayın oluşum zamanına getirilir.

Değişik testler ve değişken değerlerinin güncelleştirilmesi yapılır. Başka bir deyişle, yeni sistem durumu tümüyle belirlenir. Daha sonra ana zaman bir sonraki en erken olayın oluşum zamanına getirilir. Bu proses simülasyon süresince yinelenir.

3.4.9.3 Proses Türetme İşlemleri

Proses türeticiler, rastsal değişkenlerin simüle edilen sistemde gösterilmelerini sağlayan mekanizmalardır. Proses türetme işlemi ile rastsal sayılar tanımlanmış bir olasılık dağılımından yararlanılarak rastsal değişkene dönüştürülürler. Proses türeticiler, genellikle, simülasyon modelinin ana programının bir alt programı olarak bulunurlar.

3.4.9.4 Parametre ve Varsayım Analizleri

Simülasyon çalışmalarının birçoğunda iki tür deney ile ilgilenilir: Parametrik analiz ve işlemin alternatif kurallarının değerlendirilmesi. Aşağıda bunlar kısaca açıklanacaktır.

Parametrik Analiz

Bir çok simülasyon çalışmasının özel hedefi, sistem, parametrelerinin değişimi karşısında sistem performansının duyarlılığını belirlemektir. Örneğin bir makine bakım problemini göz önüne alalım. problemin parametreleri aşağıdaki gibi olabilir.

Bu problemin parametreleri aşağıdaki gibi olabilir.

- Saat başına arıza dağılımı
- Onarım zamanı dağılımının ortalama, varyans ve türü
- Makine arızası maliyeti
- Her bakımcının bir saatlik maliyeti

Eğer bu parametrelerden bir tekini bile değiştirirsek, sistemin performansı etkilenir. Aklımıza şu soru takılabilir. Bu parametreleri neden değiştirmek isteyelim? Bunun için birkaç neden vardır. Örneğin, onarım zamanı dağılımı için bulunan ortalama ve varyansın kaba tahminlere dayandığını varsayalım. Bu durumda bir çok soru sorabiliriz: Onarım zamanı dağılımı normal değil de üstel olsa idi ne olurdu? Ortalama ve varyans değerleri artsa idi sonuçlar nasıl etkilenirdi?

Bu soruları çoğaltmak mümkündür. Elimizdeki simülasyon modelini bu soruların yanıtlanması olarak kullanabiliriz. Ancak, parametre öngörülerimizin makul bir ölçüde doğru olduğuna inandıktan sonradır ki, alternatif karar kurallarının değerlendirmesine geçebiliriz.

Alternatif Karar Kuralları

Simülasyon çalışmalarının birçoğu önemli bir hedef olarak, alternatif karar kurallarının değerlendirilmesini alırlar. Örneğin, Bakım-problemi için işletme kuralları aşağıdaki gibi olabilir:

- Makine onarılsa da onarılmasa da, bakımcılara ücret ödenecektir.
- Belli bir makinede yalnız bir tek bakımcı çalışabilir.
- Bakımcılar fazla mesai yapmayacaktır.

Eğer bu işletme kurallarını değiştirirsek, sistemin performansı etkilenecektir. Örneğin eğer, aynı makinede iki bakımcının çalışabilmesine izin verirsek, onarım zamanı kısalacak ve buna bağlı olarak tüm sonuçlar değişecektir. Her bir işletme kuralı alternatifini için bir alt program kurmak genel olarak benimsenen bir yaklaşımdır.

3.4.9.5 Kayıt Tutma ve İstatistikler

Bilgisayar modeli, simülasyon ilerledikçe gerekli bilginin birikimini sağlayacak biçimde kurulmalıdır, değişik faktörlerin istatistiklerinin biriktirilmesi sıklıkla istenir. Sistemin performansına ilişkin arzulanan istatistiklerin toplanması için en uygun zaman sistemin durum değiştirdiği andır, yani herhangi bir olayın oluşmasının hemen sonrasındır. Ana zamanı ilerletmeden hemen önce istatistik biriktiricide uygun değişikliği yaparak bunu sağlayabiliriz.

Simülasyon çalışması için gerek duyulan bilgi ve kayıt doğal olarak çalışmanın amacına ve verilerin incelenme yöntemine bağlı olarak değişecektir.

3.4.9.6 Bilgisayar Modeli Geçerliliği

Bir bilgisayar modeli eğer modellenen gerçek dünya sisteminin ürettiği sonuçlara yakın sonuçlar üretiyor ise bu bilgisayar modeli geçerlidir denir. Ancak bu açıklama, daha önce belirtilen “model geçerliliği” kavramından çok farklı değildir. Bu durumda bilgisayar modeli geçerliliğinin yazılan bilgisayar programının geçerliliğinden daha fazla bir şey olup olmadığını sormak gerekecektir.

Bilgisayar modeli geçerliliği araştırılırken ilk iş bilgisayar programındaki çevrimleri incelenerek sistem ilişkilerinin korunup korunmadığından emin olmaktır. Ana program ile alt program arasındaki ilişkilerin özenle düzenlenip denetlenmesi gerekecektir. Geçerlilik

araştırması bu kadarla da kalmaz. Daha önce araştırılan geçerlilik aşamasında da göz önüne alınan matematik model yeniden ele alınarak modelin zayıf noktaları üzerinde durur.

Belli durumlarda bilgisayar simülasyon modelinin performansının geçerliliğini incelemek için, modele geçmiş veriler. Simüle edilen sonuçlar bilinen sonuçlar ile karşılaştırılır. Belli durumlarda da bilgisayar simülasyon modelinin performansı temsil ettiği sistemin gelecekteki davranışı ile karşılaştırılır.

Geçerlilik problemi genelde hala sanatsal niteliğini sürdürmektedir. Ancak çok derin deneylerin birikimi sonucunda gerçek anlamda incelenebilmektedir.

3.4.9.7 Simülasyon Verilerinin Analizi

Simülasyon alanındaki çabaların büyük bir kısmı, model kurma, hesaplama yöntemleri ve genel simülasyon dillerine yönelmiştir. Buna karşılık, simülasyon deneylerinin tasarımına ve simülasyon verilerinin analizine görece olarak daha az çaba harcanmıştır. Bunun sonucu olarak simülasyon programları tarafından türetilen verilerin incelenme yöntemleri üzerinde büyük anlaşmazlıklar vardır.

Bu bölümde, bu tartışmalara girilmeden, simülasyon çalışmalarında üretilen verileri incelemesi ve yorumlaması için genel yol gösterici açıklamalarda bulunulacaktır.

İstatistik Testler

Simülasyon verilerinin analizi ve yorumlanması, deneyin nasıl tasarlandığının ve model kurulurken yapılan varsayımların izini taşımaktadır. Simülasyon verilerini incelemenin bir yolu “varyans analizi”dir. Bir diğer yol da “Çoklu karşılaştırma yöntemi”dir. Simülasyon verilerinin incelenmesinin bir aracı olarak “Spektral Analiz”in kullanılması da ilgi görmektedir.

Sonuçların Yorumlanması

Simülasyon verilerinin incelenme yöntemlerindeki belirsizlik sonuçların yorumlanmasında da vardır. Özellikle, simülasyon incelemesinde elde edilen sonuçların genellemesi son derece güçtür.

3.5 Simülasyon İle İlgili Literatürdeki Çalışmalar

Canonaco vd.(2008), çalışmalarında belirtilen bir rıhtımda konteyner yükleme ve boşaltmaların en iyi şekilde yönetilmesi üzerinde durmuşlardır. Raylı rıhtım vinçleri gibi pahalı kaynakları doğru yerde yeterli verimlilikte kullanabilmek için bir kuyruk ağı modeli kullanılmıştır. Karmaşık olmasına rağmen kesikli simülasyon modelin çözümlenmesi için en uygun simülasyon tekniğidir.

Ticari resesyona Hong Kong konteyner limanı işleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. 1998'de Hong Kong, 1997'ye göre %1.4' lük bir konteyner elleçleme artışıyla toplam 14.6 milyon TEU konteyner elleçlenmiştir. Toplam konteyner elleçlemesinin Kwai Chung konteyner terminalinde %66'sı yapılmıştır. Bu çalışmada Shabayek ve Yeung, bir simülasyon modeli uygulamasını Kwai Chung konteyner terminalini simüle etmek için geliştirmiş ve tanımlamışlardır.

Nakliyat hacimlerindeki hızlı artış, konteyner terminallerindeki konteyner proseslerinin büyümesiyle başa çıkabilmek ve performansı artırmak için günlük operasyonları yapmak için daha iyi yollar bulma konusunda liman otoriteleri üzerinde bir baskı oluşturmuştur. AGV'ler terminal etkinliğini artırmak için kullanılacak ekipmanlardandır. Bu çalışmada, Liu vd, simülasyon modelleri geliştirmiş ve otomasyonların ve terminal yerleşiminin terminal performansı üzerindeki etkisini göstermek için kullanmışlardır. Simülasyon sonuçları, AGV'leri kullanarak tatmin edici performansın elde edilebileceğini göstermiştir. Dahası, liman yerleşiminin kullanılacak AGV'lerin sayısı ve performans üzerinde bir etkisi olduğunu göz önüne sermiştir. Legato ve Mazza (2001) , çalışmalarında konteyner terminalinde gemilerin varış, demir atma ve ayrılma prosesleri standart olmayan servis durumları, zaman bağımlı öncelik mekanizmaları ve kompleks kaynak yükleme politikaları çözüm için analitik yaklaşımların kullanımını engeller. Proses yaklaşımını adapte ederek, yukarıdaki sıralama ağı için bir simülasyon modeli önerilmiştir. Durağan-durum simülasyonu sonuçları rıhtım planlama problemi için "what if" optimizasyon yaklaşımı için modeli göstermiştir.

Matthew (2009) çalışmasında, bir denizcilik konteyner terminalinde iki sıradan on beş sıraya kadar değişen blok genişliklerini, bir tam entegre edilmiş, ayırık olay simülasyonu ile değerlendirmiştir. Deneyler bir düzine alan konfigürasyonlarını ve dört konteyner terminali ayarlarını göz önüne almıştır. Sonuçlar, rıhtım vinci oranının, alan depolama kapasitesi ve alan ekipmanı sabit olduğunda blok genişliğine bağlı olarak konkavdır. Optimal blok

genişliği, yerleştirilmiş ekipmanın miktarına ve terminalin büyüklüğü, şekli ve ürettiği iş miktarına bağlı olarak 6 ile 12 sıra arasında değişmektedir.

Kim (1997), konteyner terminallerinde tekrar elleçleme işinin rıhtım vinçlerinin performansını kesinlikle etkilediğini göstermiştir. Konteyner sırasındaki bir bölmenin uzunluğu ve genişliği depolama konfigürasyonun tasarımında önemli karar değişkenleri ve ayrıca bir konteyneri kaldırmak için gerekli yeniden elleçlemelerin ortalama sayısının belirlenmesinde anahtar faktörlerdir. Bu alışmasında Kim, herhangi bir konteynerin kaldırılması için gerekli elleçlemelerin beklenen sayısını değerlendirmek için bir metodoloji önermiştir.

Parola ve Sciomachen (2005), alışmalarında Northwestern İtalyan liman sisteminde tüm lojistik zincirine bağlı olarak bir ayrıık olay simülasyonu modelleme yaklaşımı önermişlerdir. İntermodel ağının lojistik aktivitelerinin özellik ve problemlerini belirtmek için bazı simülasyon modelleri analiz edilmiştir. Özellikle, modelin kendisini onaylamak ve parametreleri kurmak için mevcut konfigürasyonlar doğrultusunda ilk deney yapılmıştır; arka arkaya modeller 2012 vizyonunda kara alt yapılarının olası farklı senaryolar için geliştirilmiştir.

Uluslararası tedarik zinciri ve lojistik sistemi içinde limanlar, ulaştırma ana faaliyetinin önemli bir halkası olarak yerini almaktadır. Liman süreçlerinin düzensizliği tüm lojistik sistemini etkilemekte, ürünlerin zamanında teslimini geciktirmektedir. Ticari limanların öngörülen kapasiteyle ve minimum maliyetle faaliyet göstermesi, liman süreçlerinin optimal işlemesini gerektirir. Konteyner terminallerindeki süreçler yükün denizden ya da karadan liman sahasına ulaşmasıyla başlamaktadır. Bu süreçler liman içi taşıma, depolama, konteynerlerin iinin doldurulup boşaltıldığı konteyner istif sahası işlemleri (CFS), yük elleçleme süreci ve konteynerin giriş-çıkış ve kayıt işlemlerinin yapıldığı kapı sürecinden oluşmaktadır. Çalışmada, terminal süreçleri içinde önemli bir yere sahip olan gemi rıhtım bağlantısı süreci modellenmektedir. Elde edilen simülasyon modeli ile gemi bekleme zamanı ve ortalama rıhtım kullanım oranı gibi performans göstergeleri ölçülecektir (Esmer vd.).

Aydın (2007) yüksek lisans tezi çalışmasında, dünyanın sayılı kentleri arasında olan ve giderek artan bir hızla büyüyen İstanbul'da, ulaşım planlaması üzerinde durmuştur. Ulaşım planlamasında en önemli alanı toplu taşıma sisteminin geliştirilmesi ve verimli kullanılması kapsamaktadır. Toplu taşıma sisteminde giderek payı artması gereken denizyolu taşımacılığı

ve onun parçası deniz otobüslerinin, etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Aydın (2007) tez çalışmasında etkin ve verimli bir yönetim için simülasyon tekniğini kullanmıştır.

Bircan vd. (2003) çalışmalarında, uygunluk testi olarak Ki-Kare ve Kolmogorov-Simirnov testleri üzerinde durmuşlardır. Simülasyon ile elde edilen bir ana küleden alınan 20 örnek üzerinde hem Ki-Kare hem de Kolmogrov-Simirnov uygunluk testleri yapmışlar ve her iki testten elde edilen P değerleri arasında önemli bir fark olmadığını, t testi ile araştırmışlardır.

Mendeş (2005), Biyolojik, sosyal, ziraat, tıp ve ekonomik olayların modellenmesinde simülasyon tekniklerinde deneylerin planlanması aşamasında kaç simülasyon denemesinin yapılacağı sorusunu incelemiş ve simülasyon sayısının gerçekleşen 1.Tip hata olasılıklarının kararlılığı üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada, 16 farklı simülasyon sayısı bakımından gerçekleşen 1.Tip hata olasılıkları tahmin edilmiş ve çalışma sonuçları, simülasyon sayısının az olduğu durumlarda aynı deneme koşullarında gerçekleşen 1.Tip hata olasılıkları arasındaki farkın büyüdüğünü göstermiştir. Diğer yandan, çalışma sonuçları örnek hacmi ne olursa olsun genel olarak 50000–70000 simülasyon sayısının uygun bir simülasyon sayısı olduğunu göstermiştir.

Shafer ve Smunt (2004), çalışmalarında deneysel tabanlı yöneylem araştırmasında simülasyon çalışmalarını değerlendirmiş ve uygulamışlardır. Bu çalışmanın sonuçları 1970'den 2000'e kadar olan süre içerisinde yirmi önde gelen yöneylem araştırması dergilerinde yapılan kapsamlı bir çalışmaya dayanır. Yaklaşık olarak, yöneylem araştırmasında yayınlanmış 600 adet simülasyon çalışması tespit edilmiştir fakat deneysel olanları sadece 85 adettir. 85 makale daha sonra dergi, konu, zaman periyodu ve bu faktörlerin kombinasyonuna göre raporlanmıştır. Son olarak da gelecekte yapılacak araştırma fırsatları açıklanmıştır.

4. ARENA 10

Bu bölümde Arena 10.0 Simülasyon programı ile ilgili bilgiler verilecektir.

4.1 ARENA Programının Genel Yapısı

Arena programı Siman simülasyon dili tabanlı bir simülasyon programıdır. Arena, kullanıcının modeli görsel olarak bilgisayar ekranına çizmesine imkan tanıyan ve model içindeki modüllere doğrudan bilgi girişine imkan veren bir simülasyon aracıdır. Bu programın en büyük özelliği görsel olması ve model kurmanın diğer alt seviyeli simülasyon dillerine nazaran çok daha basit olmasıdır.

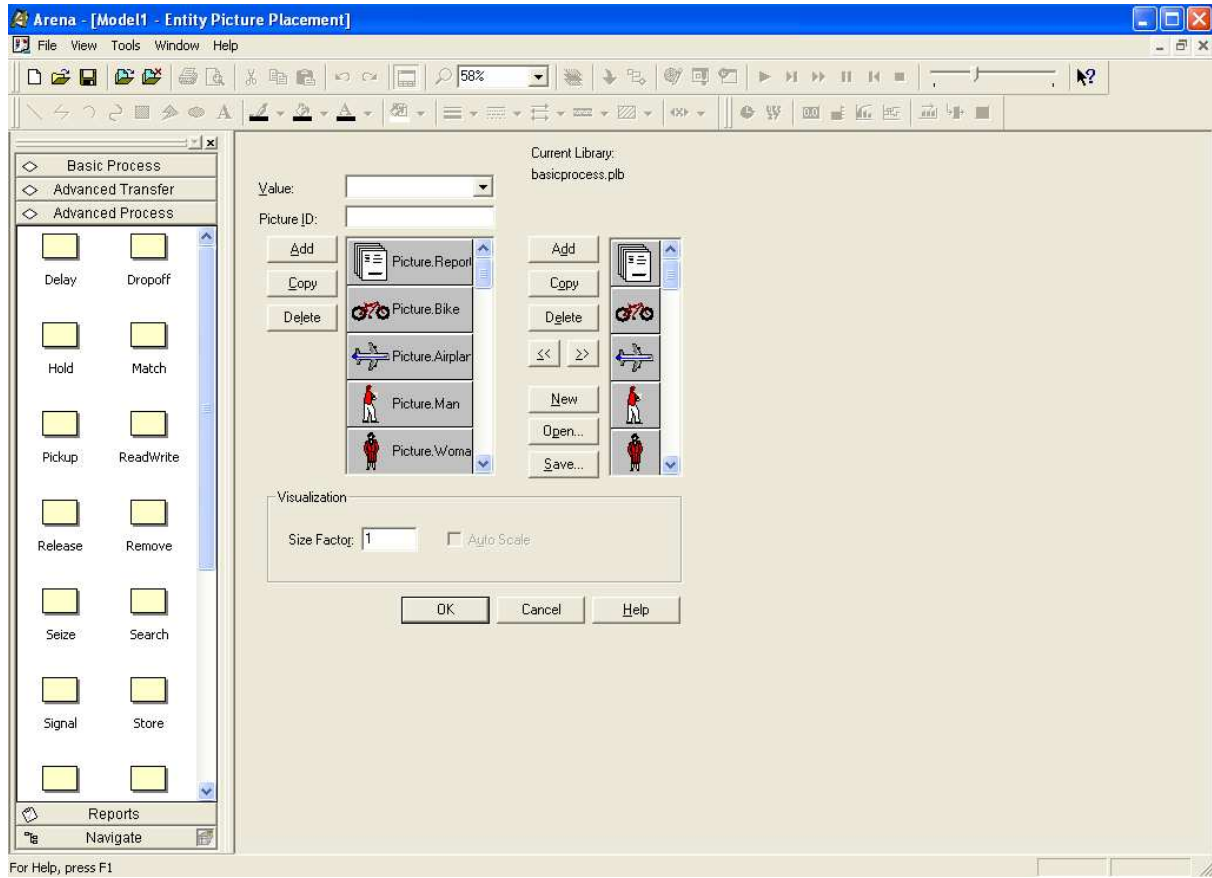
Müşteri hizmetlerinden üretime yada sağlık sektöründeki işletmelere kadar bir çok alan simülasyondan yararlanabilir. Arena’da beş tane temel adım incelenir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. *Temel bir modelin oluşturulması:* Arena’nın prosesinizin modelini kurmak için akış diyagramını andıran sezgisel bir doğası vardır. Prosesi tanımlamak için basitçe Arena’nın modülleri çalışma alanına taşınmalı ve onları gerekli şekilde birleştirmek yeterlidir.
2. *Modele incelik kazandırmak:* Çalışma alanına taşınan modüllere iki defa tıklayarak karşılaşılan bilgi alanlarına gerekli verileri yazarak model gerçek hayata uyarlanır.
3. *Modelin simüle edilmesi:* Modelin gerçek sistemi yansıttığını onaylamak için programı run edilir ve böylece darboğazlar tanımlanır ve arena bünyesindeki grafikler yardımıyla diğerleri ile iletişim kurulabilir.
4. *Simülasyon sonuçlarının analizi:* Arena kaynak kullanımı ve bekleme zamanları gibi ortak konularda otomatik raporlar sağlar. Kendiniz istatistikleri arttırırsanız Arena da karar verme ihtiyaçlarınız doğrultusunda size raporlar sağlayacaktır.
5. *En iyi alternatifin seçilmesi:* araştırmak istediğiniz farklı senaryoları elde edebilmek için değişiklikler yapabilir, sonrada mümkün olan en iyi senaryoyu uygulamak için seçim yapabilirsiniz.

Kullanıcı simülasyonunu yapmak istediği sistemi öncelikle model olarak bilgisayar ekranına Arena modüllerini kullanarak çizer. Modeli oluşturulurken Arena programı içerisinde “template” adı verilen şablonlardan yararlanır.

Modelleme işlemi tamamlandıktan ve modüllere ait veriler girildikten sonra simülasyon uygulaması yapılır. Program çalıştırılır ve sistemin bilgisayar üzerinde çalışmasıyla elde edilen veriler (sistem zamanı, ortalama işlem süreleri, ortalama bekleme zamanları, kullanım oranları vb.) otomatik olarak kayıt edilir. Kayıt edilen bu veriler simülasyonun son bulmasıyla rapor olarak ekrana yansır. Mevcut sistemin durumunu analiz eden kullanıcı gerekli iyileştirmeleri yaparak modeli tekrar çalıştırabilir ve bu iyileştirmelerin sisteme nasıl etki yapacağını görebilir. Sistemin iyileştirmesi kullanıcı tarafından yapılabileceği gibi Arena programında bulunan çeşitli alt programlarla da yapılabilir. Arena programı çeşitli yöneylem araştırması yöntemleri içeren bir kütüphaneye sahiptir. Bu kütüphane içerisinde tamsayı programlama, en kısa yol algoritması, maksimum akış algoritması gibi optimizasyon metodolojileri bulunmaktadır. Bu kütüphane kullanılarak mevcut sistemin optimizasyonu sağlanabilir.

Şekil 4.1’ de Arena 10.0 simülasyon programının arayüzü görülmektedir. Bu arayüz aracılığıyla kullanıcı modeli ekran üzerinde kurar ve aynı zamanda program içerisinde şablonlar halinde tanımlanmış modüller yardımıyla bilgisayarı görsel olarak programlar.



Şekil 4.1 Arena 10.0 arayüzü görünümü

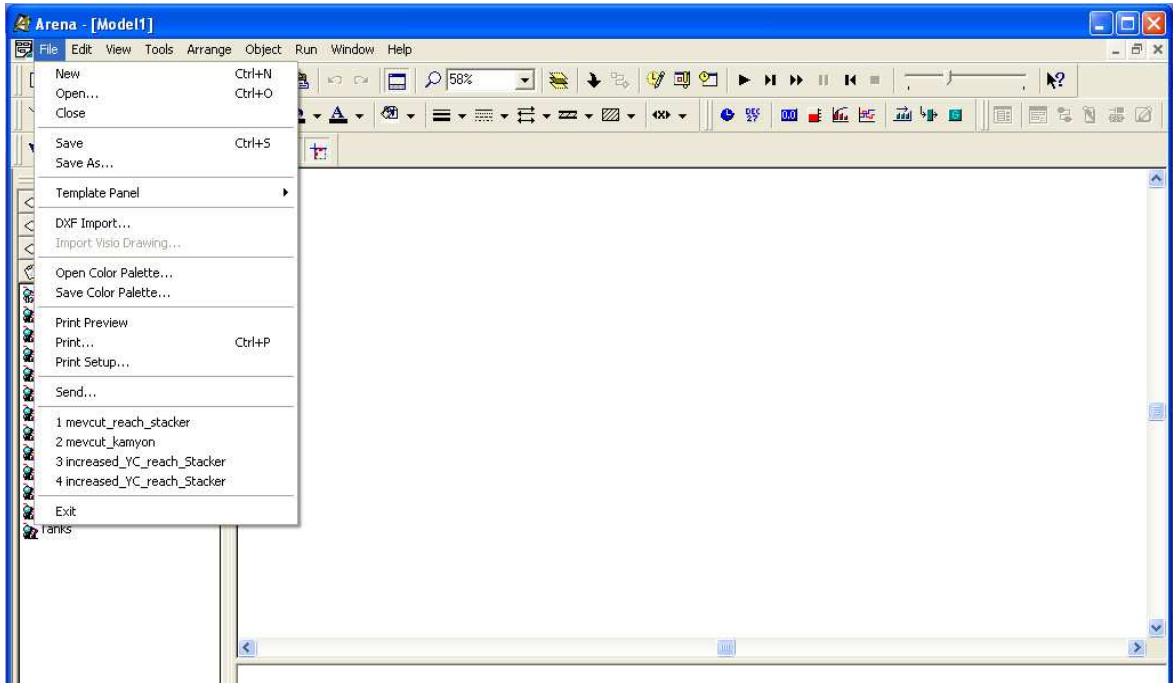
4.2 ARENA 10.0 Programının Menüleri

Arena programında her biri birer komutlar kümesi olan dokuz adet menü bulunmaktadır. Bu menülerden Help ve Window menüleri direkt modelle ilişkili olmayan ancak yardımcı olarak programa eklenmiş menülerdir. Aşağıda program içerisindeki her bir menü şekille gösterilmiş ve bu menülerin içerdiği komutlar açıklanmıştır.

File menüsü

Bu menü yeni Arena modellerinin yaratıldığı, mevcutların açıldığı, pencerelerin kapatıldığı modellerin kayıt edildiği kısımdır. Burada ayrıca AutoCAD (veya DXF formatındaki başka CAD programlarından) gibi programlardan CAD çizimleri alınabilir ve bunlar Arena içinde kullanılabilir. Arena'nın kullandığı renkler değiştirilebilir, bunlar bir renk paleti şeklinde kayıt edebilir.

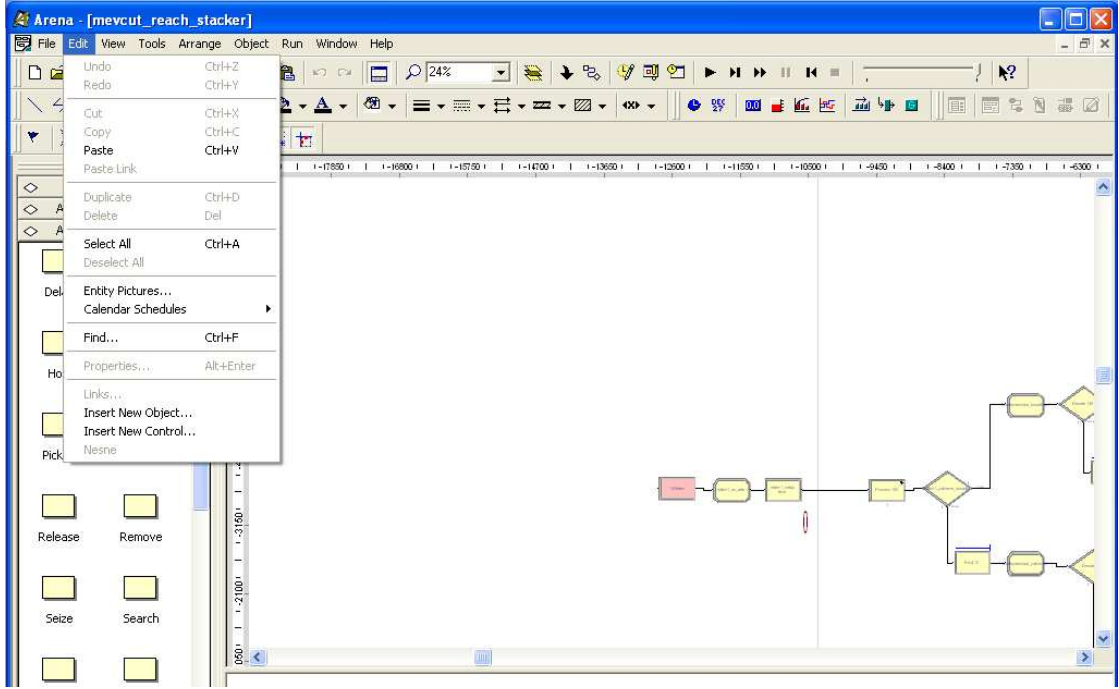
Arena'nın yazdırma ayarları ile ilgili komutları bu menüdedir. *Send* komutu mesaj (mail) yollamayı ve mesaja herhangi bir aktif modeli yerleştirmeyi sağlar. Bir çok Windows uygulaması gibi Arena en son kullanılan dosyaları hatırlar ve bunların çabuk açılması için en son dört tanesini yine bu menü altında saklar. *Exit* komutu Arena'dan çıkmak için kullanılan yollardan bir tanesidir.



Şekil 4.2 File Menüsü

Edit Menüsü

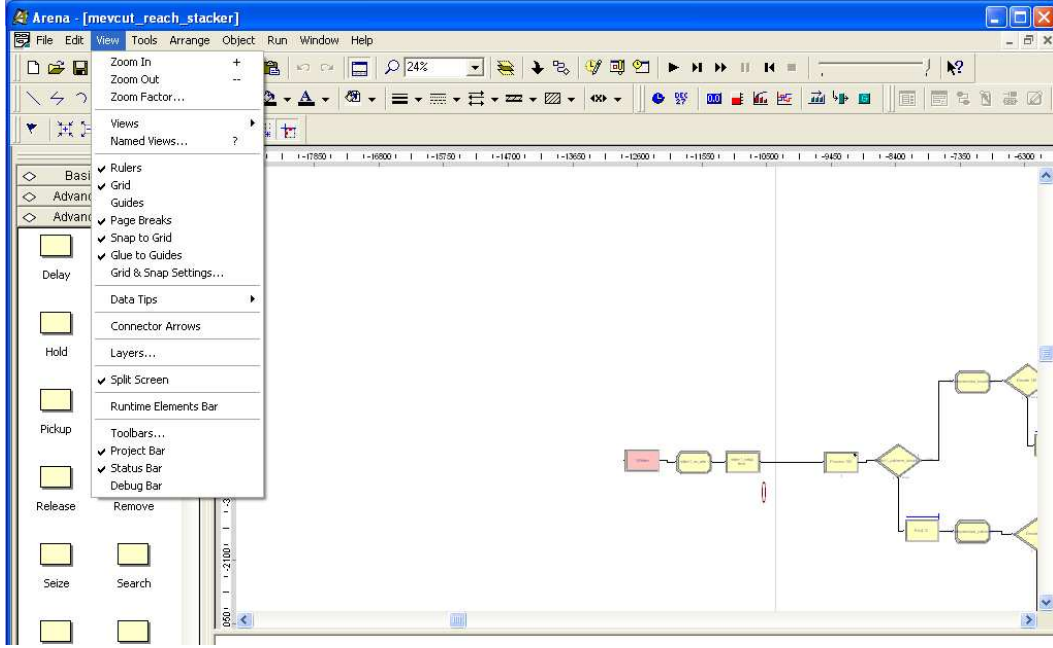
Burada Arena'ya nesnelere ekledikçe onlarla ilgili seçenekleri içeren komutlar bulunacaktır (Şekil 4.3). Yapılan işlemler geri alınabilir, geri alınan işlemler tekrar yapılabilir. Seçili bir nesneyi kopyalanabilir veya kesilebilir ve bunlar mevcut modele, başka bir modele ve bazı durumlarda başka uygulamalara taşınabilir.



Şekil 4.3 Edit Menüsü

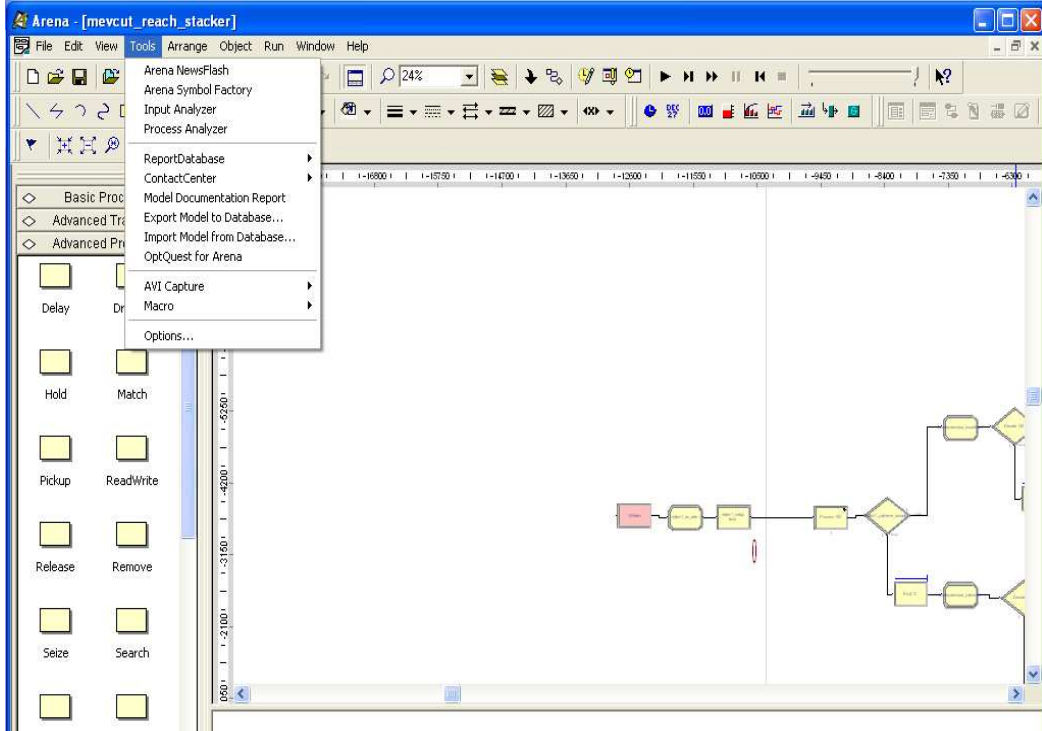
View Menüsü

Bu menü, modellerin ekrandaki görüntüsü ve hangi araç çubuklarının görüntülenmesi gerektiği ayarlarını kontrol eden komutları içerir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Görüntü (View) Menüsü

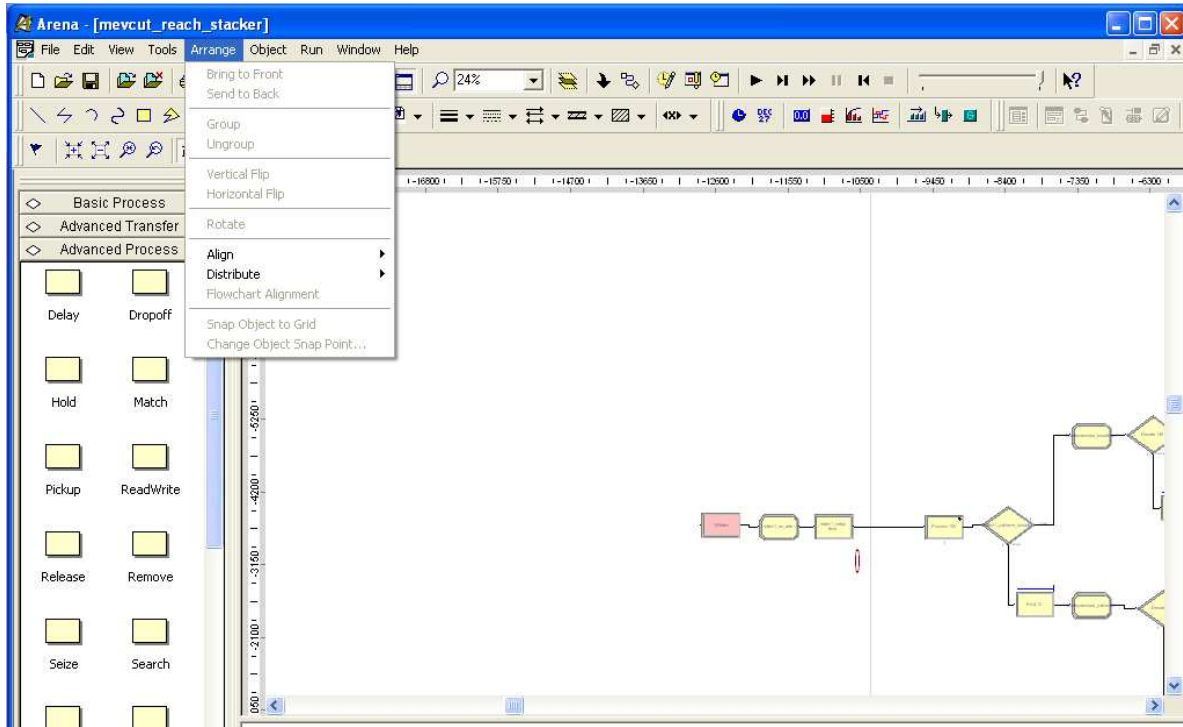
Tools Menüsü



Şekil 4.5 Araçlar Menüsü

Düzenleme (Arrange) Menüsü

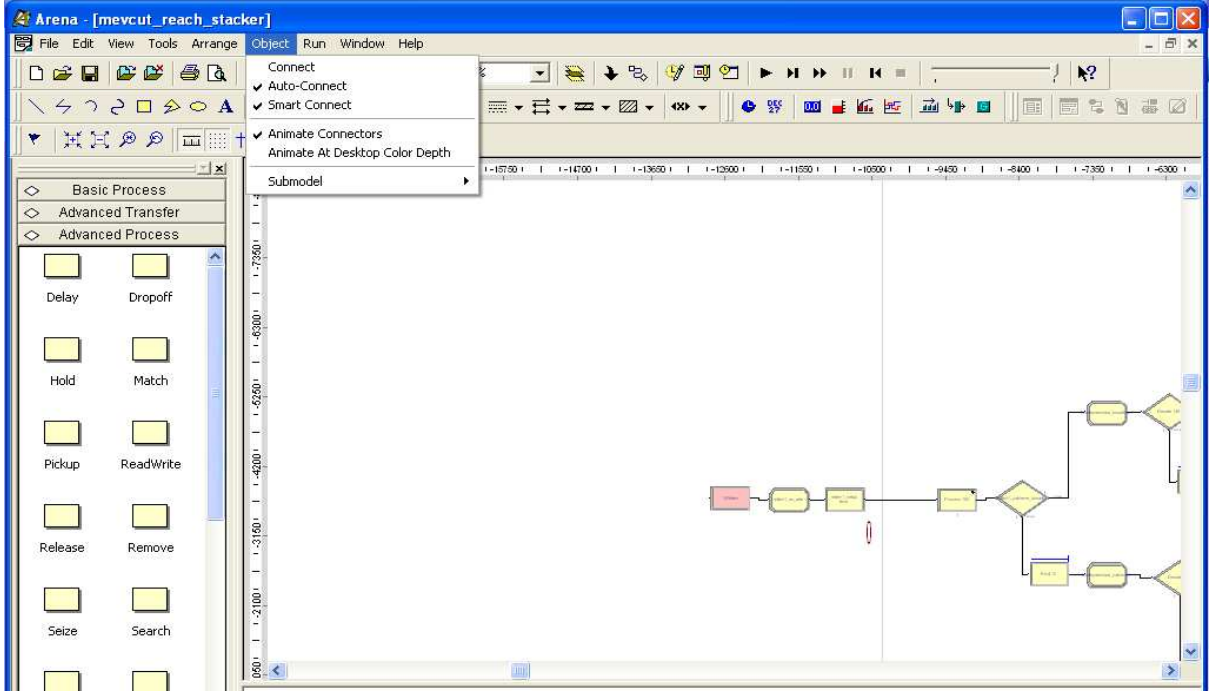
Buradaki komutlar modelleme modülleri ve grafikler için yerleşim ayarlarını içerir (Şekil 4.6). Bring to Front ve Send to Back seçili nesnelerin yerlerine göre üst veya altta kalmalarının ayarındır. Group ve Ungroup seçili nesnelerin bir arada tutulması veya ayrılması için onların fiziksel görünüşlerinin bozulmadan yapılması ile ilgili ayarlardır. Group eğer birden çok nesneyi bir yerden başka bir yere birbirlerine olan konumlarının bozulmadan hareket ettirilmesi istenirse faydalıdır. Flip komutu seçilen bir nesneyi yatay ya da dikey eksen etrafında döndürür. Rotate saat yönünde seçilen nesneyi 90° döndürür.



Şekil 4.6 Arrange Menüsü

Object Menüsü

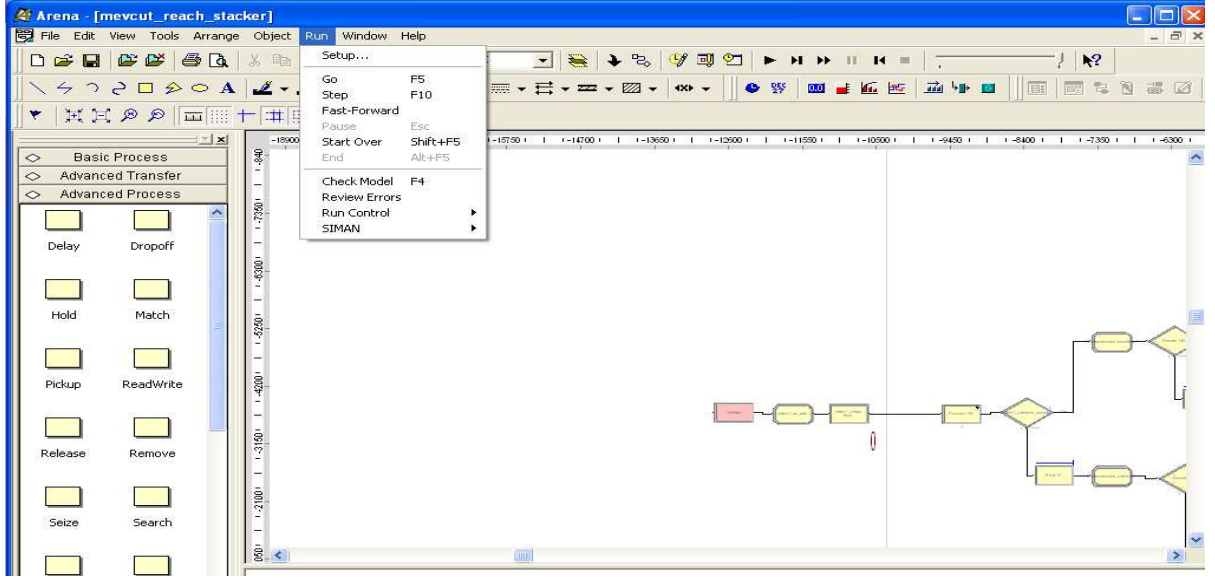
Bu komutlar modelin mantık komutları ve onların geldikleri şablonlar ile ilgilidir (Şekil 4.7). “Connect” parçaların modülden diğerine geçişlerini göstermek için iki modülü birbirine bağlar. “Auto-Connect” daha önce yerleştirilmiş bir modülün yanına yerleşim yapılması durumunda otomatik olarak bu bağın kurulması işlemini yapar. “Smart Connect” yapılan bu bağlantıların üç defa açı yaparak yerleşmesini sağlar.



Şekil 4.7 Object Menüsü

Run Menüsü

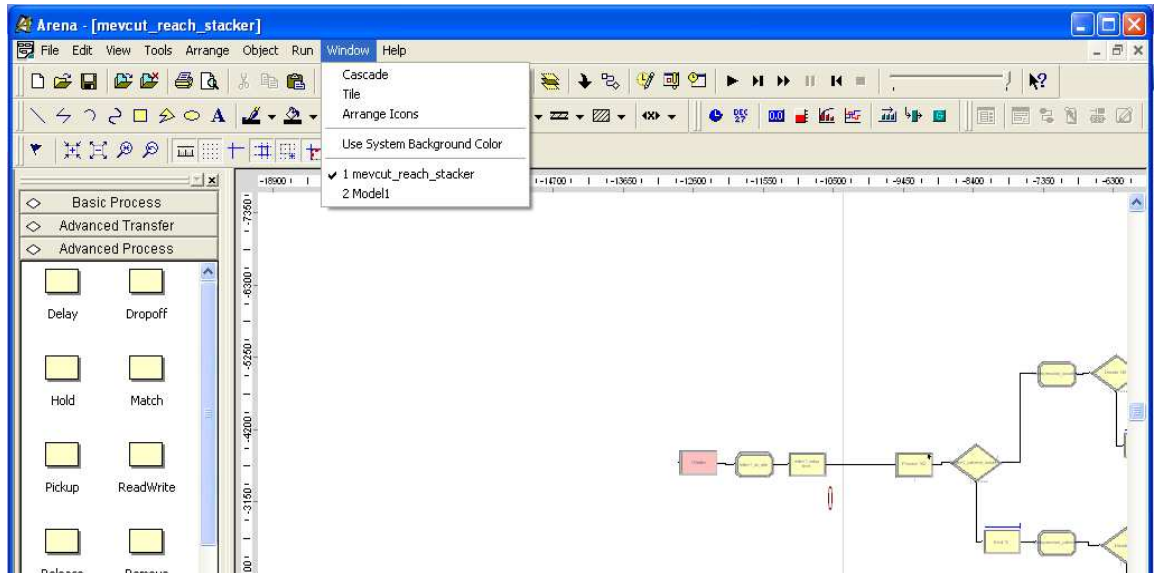
Bu menü simülasyonun çalıştırılması, kontrol edilmesi, duraksatılması veya yavaş yavaş adımlanması için gerekli komutları içerir (Şekil 4.8). Bunun yanında hazırlık ve kontrol için, sonuçlara ve hatalara bakmak için ve simülasyonun nasıl çalıştığına ekranda nasıl gözüktüğüne dair işlemlerin yapılması için birçok alternatif sunar.



Şekil 4.8 Run Menüsü

Window Menüsü

Aynı anda birden çok açık modeliniz varsa bunları fiziksel olarak düzenleyebileceğiniz Cascade Tile gibi seçenekler bulunur. Bir çok modeli simge durumunda tutuyorsanız onları düzenlemek için *Arrange Icons* size yardımcı olacaktır. *Use System Background Color* ile Windows'un arka plan ayarları kullanılır. Son olarak açık herhangi bir modele geçiş yapmak için onun adına tıklama yeterlidir.



Şekil 4.9 Window Menüsü

Yardım (Help) Menüsü

Bu menü Arena içindeki yardım alma yollarından bir tanesidir. *Arena Help Topics* seçilmesi durumunda içindekilere ulaşılabılır.

4.3 ARENA 10.0 Programında Model Kurma ve Çalıştırma

Simülasyonda temel sorunlardan biri de modelin doğru kurulmasıdır. Arena programı görsel olarak da çalıştığı için bu programda kullanıcının kafasında tasarladığı modeli kurması çok kolaydır. Kullanıcı programın genel blok modülleri, destek modülleri ve transfer bloğu modülleri gibi bileşenleri yardımıyla modeli kurar ve verileri bu modüllere çift tıklayarak açılan pencereler vasıtasıyla girer.

Arena'da model kurmak için basic process panelinden modül olarak adlandırılan modelleme şekillerini kullanacaksınız. Bu panelde iki çeşit modül türü bulunacaktır. Flowchart modülleri ve data modülleri.

Flowchart modülleri

Flowchart modülleri prosesinizin mantığını yansıtacak şekilde model penceresine yerleştirilir ve birbirlerine bağlanır. Flowchart'ınızı kurmak için flowchart modüllerini project bar'dan çekerek modelinizin içine koyun ve birbirleri ile bağlayın. Bir flowchart modülünü değiştirmek için modül sembolüne çift tıklayın ve tabloları kendi verilerinizle doldurun.

Assign modülü: Assign modülü değişkenlere, gezen birim özelliklerine, gezen birim tiplerine yada resimlerine yada diğer sistem değişkenlerine yeni değerler atamak için kullanılır. Bir çok atama tek bir assign modülü ile yapılabilir.

Batch modülü: Bu modül simülasyon modelinde gruplandırma amacını taşımaktadır. Gezen birim takımları geçici veya kalıcı olarak gruplanabilir. Geçici olarak oluşturulan gruplar daha sonradan Separate modülü kullanılarak ayrılır. Gruplar her birim içinde olabilirken belirlenmiş bir özelliğe göre de gruplandırılabilir. Batch modülüne gelen birimler bir kuyrukta gerekli sayıda birim toplanıncaya kadar bekletilir. Bir defa birimler toplandığında yeni bir birim yaratılır.

Create modülü: Bu modül birimlerin simülasyon modelinde ki başlangıç noktası olarak görev yapar. Birimler bir plana ya da gelişler arasındaki zamana göre yaratılır. Daha sonra birimler bu modülü prosese başlamak için terk ederler. Birim tipi bu modül içinde belirlenir.

Decide modülü: Bu modül sistemdeki karar verme işlemlerini gerçekleştirir. Bir veya daha çok duruma göre karar vermek üzere tercihler bulundurur. Örneğin birimin %75 oranında yanlış ve %25 oranında doğru olması gibi.

Dispose modülü: Bu modül simülasyon modelinin birimleri için bitiş noktasını belirtir. Birim istatistikleri birimler yok edilmeden önce kaydedilebilir.

Process modülü: Bu modül simülasyondaki ana proses modülü olarak çalışır. Seize ve release için kaynak sınırlamaları seçenekleri burada bulunur.

Record modülü: Bu modül simülasyon modelinde istatistikler tutmak için kullanılır. Modülden çıkışlar arası süre, birim istatistikleri, genel gözlemler, simülasyon süresi gibi çeşitli gözlem şekilleri mevcuttur.

Separate modülü: Bu modül hem gelen bir birimi farklı birimlere ayırma hem de önceden batch modülü ile gruplanmış birimleri ayırma işlemi için kullanılır.

Data modülleri

Data modülleri ise model penceresine yerleştirilmek yerine tablo arayüzü olarak düzenlenmiştir. Data modülünü belirlemek için öncelikle tablosunu aktif hale getirmek amacıyla project bar'da modül ikonuna tıklayın. Yeni bir sıra eklemek için belirtilen boşluğa çift tıklayın. Tablodaki her bir satır başka bir modülü yansıtmaktadır.

Entity modülü: Bu modül simülasyonda birimlerin tiplerini ve özelliklerini tanımlar.

Queue modülü: Bu modül belirli bir sıra için sıralama kuralını belirler. Aksi belirtilmediği sürece sıralama türü first in- first out kuralı olarak program tarafından belirlenir.

Resource modülü: Bu modül sistemde kaynak müsaitliği (resource availability) gibi kaynaklarla ilgili özellikleri tanımlar. Kaynakların bir limiti olabilir yada bir plana göre işlem yapabilirler.

Schedule modülü: Bu modül resource modülü gibi bir kaynak için çalışan bir tablo ile birlikte kullanılabilir yada gelişlerin tablosunu tanımlayan bir create modülü ile kullanılabilir.

Set modülü: Bu modül resource, counter, tally, entity tipi gibi birçok çeşitte setleri tanımlar. Kaynak setleri seize, release ve proses ve transfer gibi birçok işlem modülünde kullanılabilir.

Simülasyon Kavramları

Entities and attributes (gezen birimler ve özellikler): Her simülasyon modelinde gezen birimler sistem boyunca hareket eden birimleri ifade eder. Her gezen birim kendine has özelliklere sahiptir. Birimlere istenildiği kadar özellik atamak mümkündür.

Kuyruklar: Kuyrukların birincil amacı sistemde bulunan birimlere bekleyebilecekleri bir alan sunmaktır. Sistemin o andaki durumundan yada yoğunluğundan dolayı bu gerekebilir. Arena'da iki çeşit kuyruk vardır. Bunlardan ilki olan Individual queue ler sembolik isimleri ve sıralama kuralları ayrıca belirli bir kapasiteleri vardır. Bunun dışında bu kuyruklardan istatistikler elde edilebilir. İnternal queue ler ise basit bir first in first out işlemi görürler ama bunun dışında istatistik veya sıralama işlemi görmezler.

Resources (kaynaklar): Kaynaklar sistemde birimlere atanabilen sabit elemanlardır. Özel kapasiteleri ve meşgul inaktif gibi özel durumları vardır. Kaynaklar makineleri, insanları yada bir depodaki boş alanı bile temsil edebilirler. Kaynaklar şu şekilde çalışır. Eğer bir birim kaynağa ihtiyaç duyarsa kaynak bu birimi yakalar daha sonra işi bittiğinde ise diğer birimleri yakalayacak şekilde hazır bulunmak için önceden yakaladığı birimleri serbest bırakır. Bir kaynağın limitleri o kaynağın bir seferde kaç adet birime atanabileceğini belirtir..

Statistics: Arena kullanıcılarına kuyruklar ve kaynaklar gibi elemanlar ile ilgili simülasyon istatistikleri belirlemesine imkan tanır. Bu istatistikler simülasyonun run edilmesi sırasında kaydedilir ve ister simülasyon sırasında isterse simülasyondan sonra bu istatistikler kontrol edilebilir.

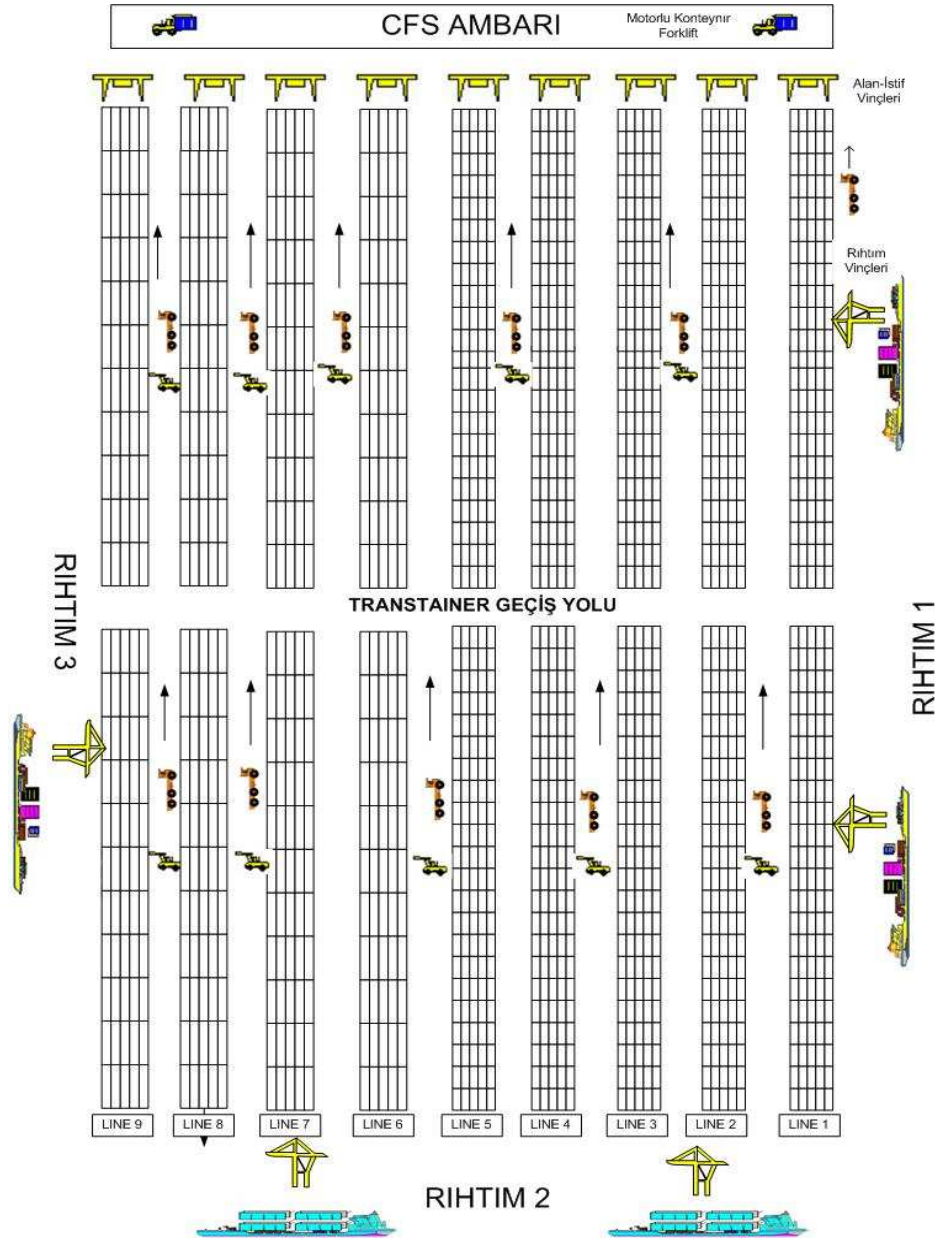
Sets: Setler benzer elemanları gruplamak ve onlara ortak isimler vererek gruplandırmanızı sağlamaktadır.

Conveyors: Konveyörler gezen birimleri bir istasyondan diğerine tek yönlü yollayan araçlardır. Konveyörler aralarında taşıma yaptıkları istasyonlar ve konveyör segmentleri olarak adlandırılan istasyonlar arası mesafeler ile tanımlanırlar. Asansörler yada bant konveyörler gibi sistem elementleri konveyörler tarafından temsil edilebilir. Her bir konveyör hücrelere ayrılmıştır ve bu hücreler gezen birimin kaplayacağı minimum alanı ifade eder.

Transporters: Transporterlar birimleri sistem boyunca taşıyan araçlardır. Forkliftler gibi malzeme taşıma araçlarını tanımlamalarının yanı sıra hemşire yada yemek servisi yapan birisi gibi hareketleri sistemin simülasyonu için önemli olan birisinin hareketlerini temsil etmek içinde kullanılabilir. Transporterlar kullanıldığında hızları ve çalıştıkları istasyonlar arasındaki mesafe belirtilmelidir.

5. UYGULAMA

Bu çalışmanın uygulama aşamasında, Türkiye’de bulunan orta ölçekli bir terminalde incelemeler yapılmıştır. Terminalin konteyner elleçleme kapasitesi yılda 750.000 TEU’ dur. Konteyner terminalinde rıhtımlara paralel bir şekilde konumlandırılmış 9 adet hat bulunmaktadır. Terminalde gemilerin yükleme ve boşaltma için 3 adet rıhtım bulunmaktadır. Rıhtımlarda toplam 5 adet rıhtım vinci hizmet vermektedir ve konteyner terminalinde toplam 9 adet alan vinci bulunmaktadır. Rıhtımlardan konteynerleri alan ve hatta yüklemede kullanılan toplam 30 adet kamyon bulunmaktadır. Konteyner terminalinin genel görünümü Şekil 5.1’deki gibidir:



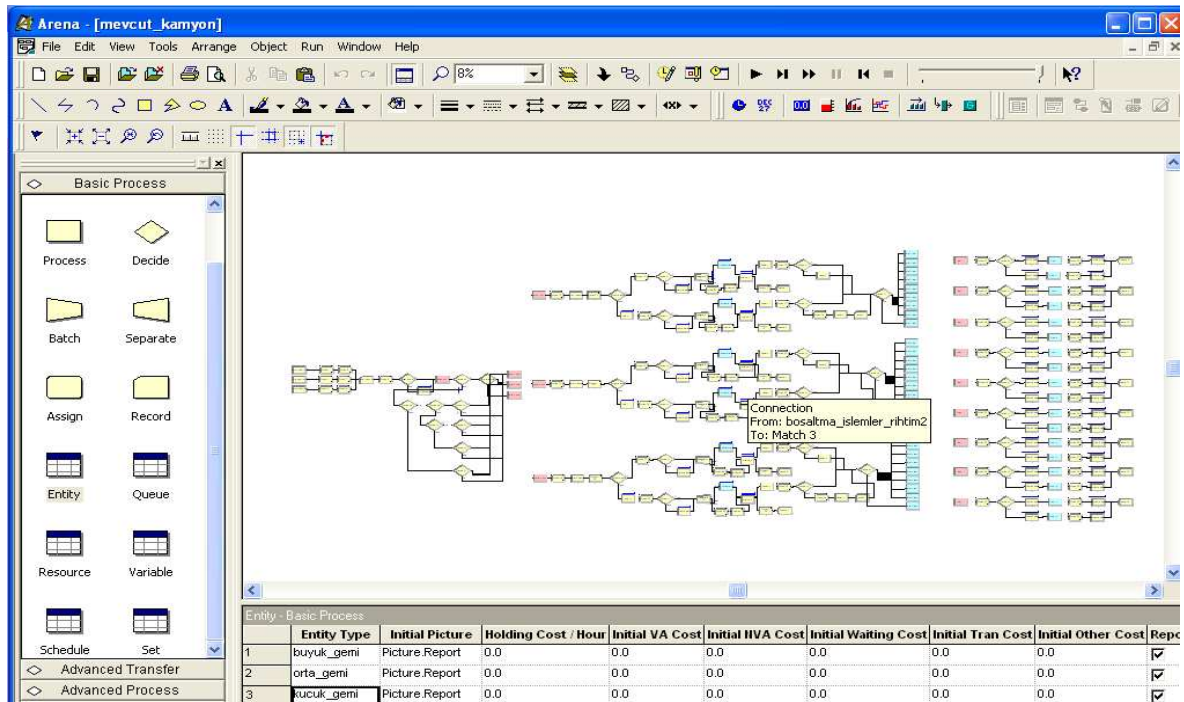
Şekil 5.1 Konteyner Terminali Genel Görünümü

Konteyner terminalinde sadece kamyonların kullanıldığı sistemler, sadece dolu konteyner forkliftlerinin kullanıldığı sistemler ve dolu konteyner forkliftleri ile mevcut duruma göre sayıları artırılmış alan vinçlerinin kullanıldığı sistem için simülasyon tekniği ile analiz yapılmıştır.

5.1 Kamyonların Kullanıldığı Sistem İçin Yapılan Analiz

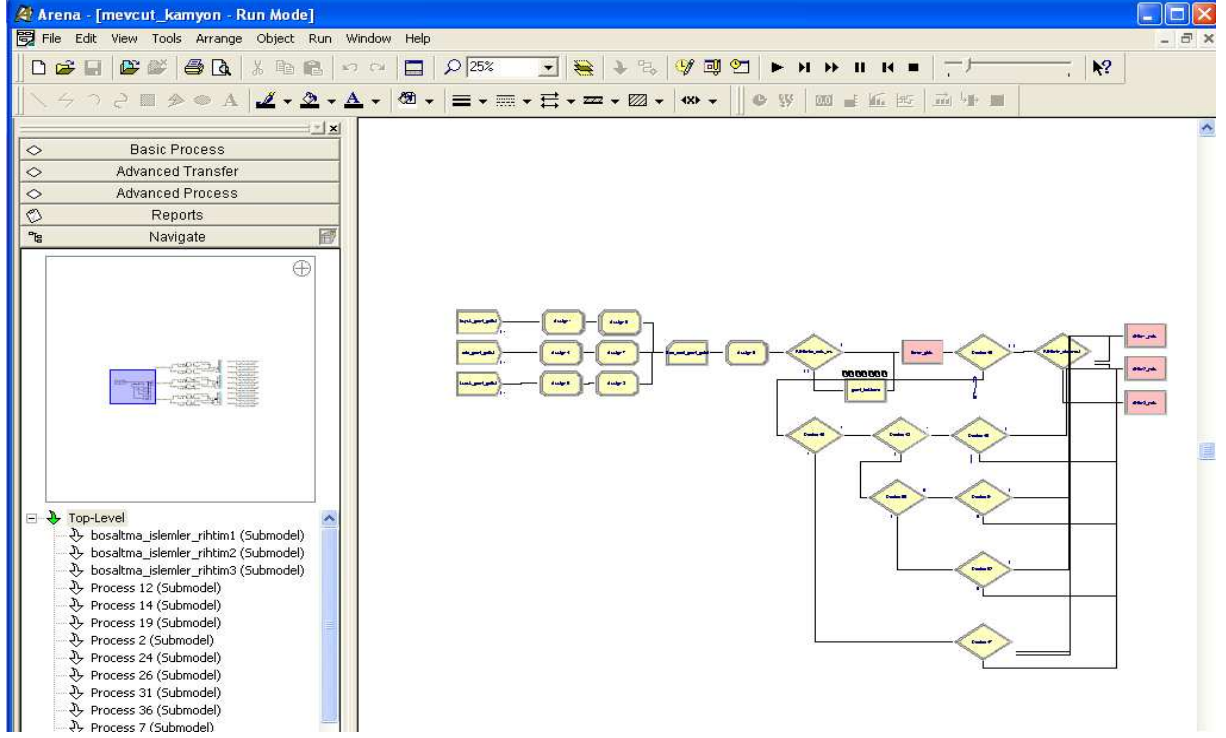
Konteyner terminalinde bulunan 9 adet hat, 5 adet rıhtım vinci, 9 adet istif vinci ve toplam 30 adet kamyon ile incelemeler yapılmıştır.

İlk olarak Arena'da proses elamanları tanımlanmıştır. Limana gelen gemiler büyüklüklerine göre, küçük, orta ve büyük boyutlu gemiler olmak üzere ayrılmışlardır. Gemilerin rıhtımlara atanması, konteynerlerin hatlara atanması gibi değişkenler tanımlanmıştır. Konteyner terminalindeki kaynaklar ve bu kaynakların miktarları belirlenmiştir. Bu kaynaklar rıhtım vinçleri ve istif vinçleridir. Mevcut durumda her vinçten (istif vinçleri ve rıhtım vinçleri) 1 adet bulunmaktadır. Her bir rıhtımda yükleme ve boşaltma işlemi görececek olan gemiler için kaynaklar yani vinçler atanmıştır. Konteyner terminallerinde, konteynerlerin taşınması için kullanılan kamyon sayısı ve kamyonların (rıhtım aracı) alacağı mesafeler tanımlanmıştır. Mevcut durum yani kamyonların kullanıldığı sistem ve bu sistemin simülasyon modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.2):



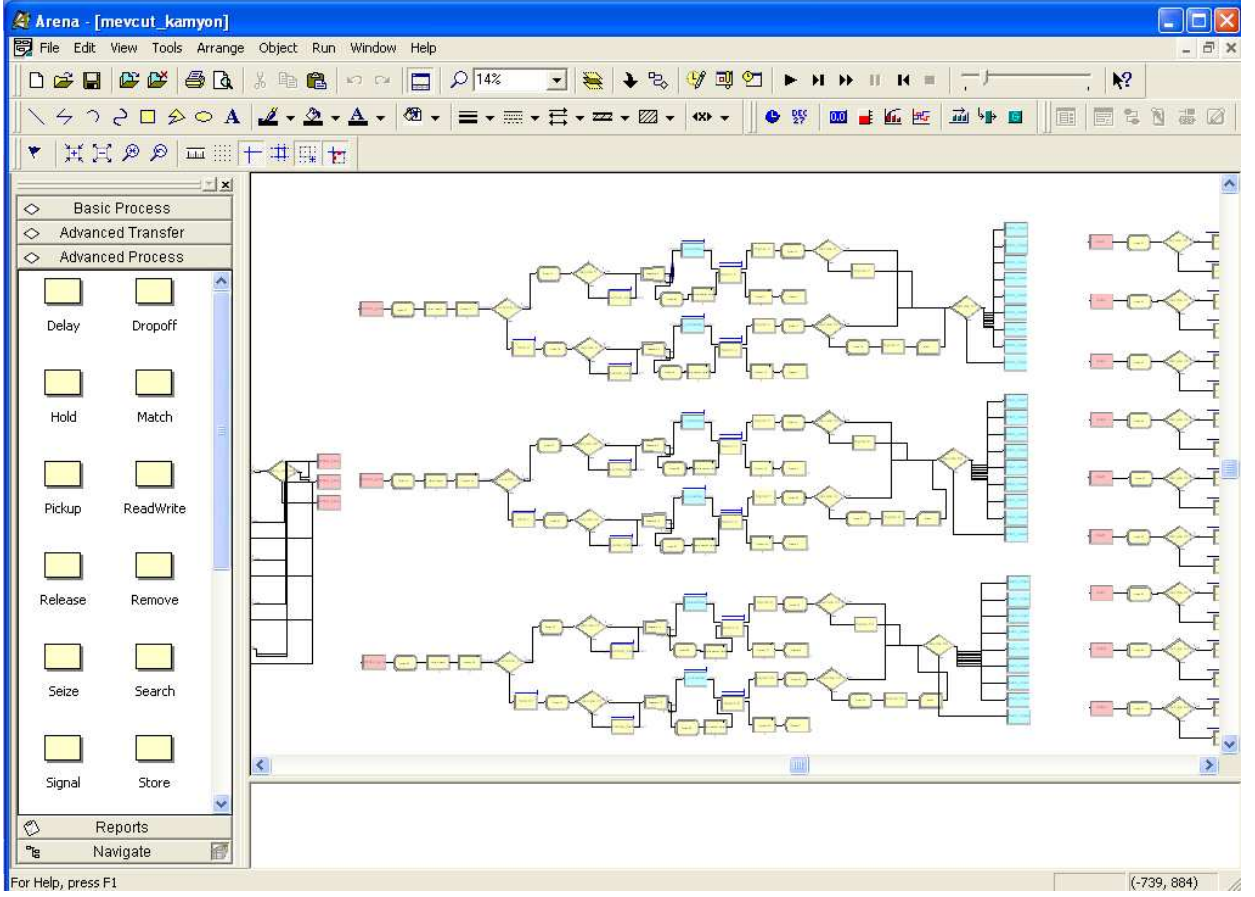
Şekil 5.2 Kamyonların kullanıldığı mevcut durum için simülasyon modeli

Simülasyonun ilk aşamasında gemilerin rıhtıma yanaşması modellenmiştir (Şekil 5.3). Gelen gemiler rıhtımların gemi alabilmesi durumuna göre ya liman içerisine alınacaktır ya da bekletilecektir. Eğer liman müsait ise bu durumda geminin limana yanaşmasına izin verilecektir. Rıhtımların dolu olup olmadığı belirlendikten sonra uygun olan rıhtıma geminin yanaşmasına izin verilecektir.



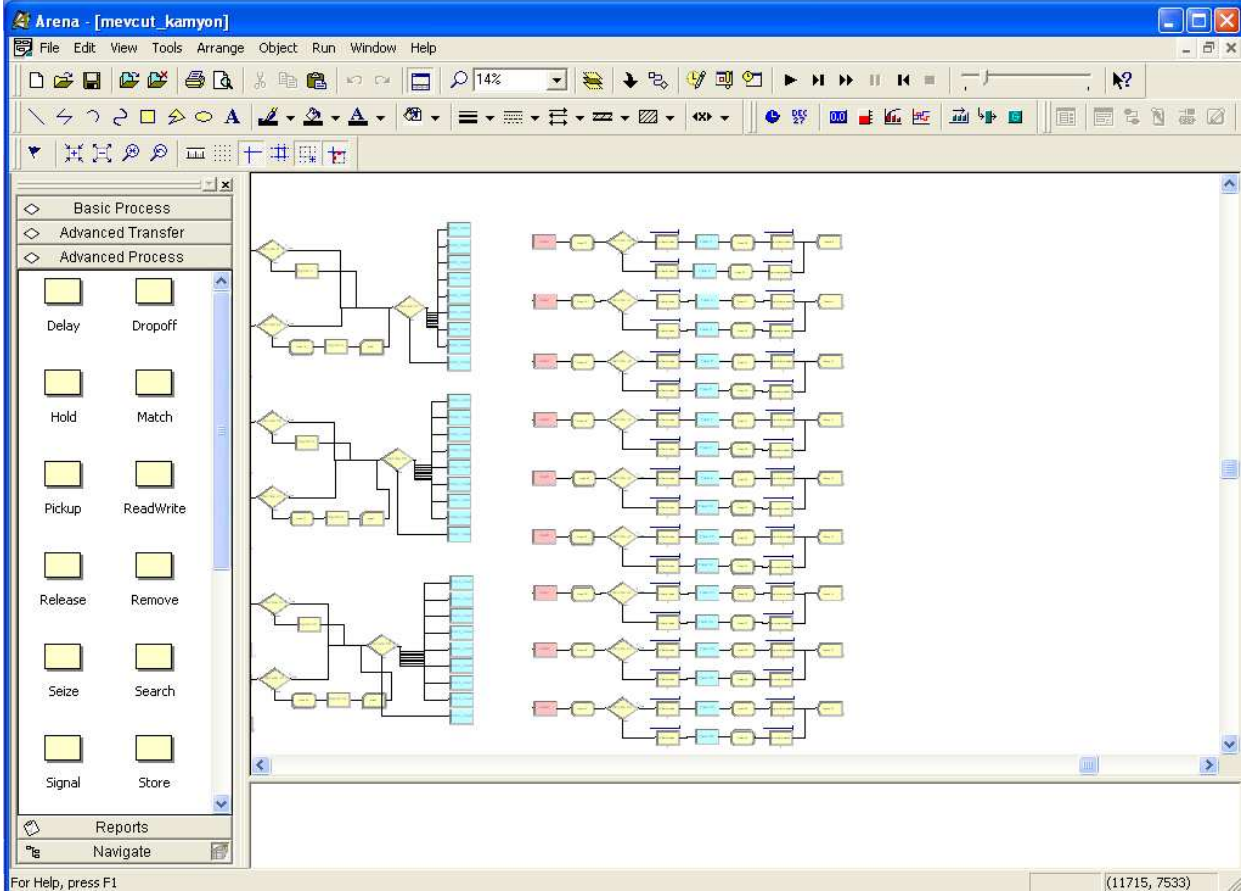
Şekil 5.3 Gemilerin varışı ve rıhtıma yanaşması aşaması

Gemi-rıhtım atama problemi çözüldükten sonra gemiler rıhtıma yanaşacak ve dolayısıyla rıhtımda bir hazırlık süresi ortaya çıkacaktır. Rıhtımlarda ilk olarak gemiden konteynerleri boşaltma işlemi gerçekleştirilecektir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Gemiden konteynerlerin boşaltılması ve kamyonlara yüklenmesi aşaması

Gemiden boşaltılarak kamyonu yüklenmiş konteynerler 9 hattan birine atanacaktır (Şekil 5.5). Daha sonra konteynerler kamyonlardan boşaltılarak hatta istifleneceklerdir.



Şekil 5.5 Konteynerlerin konteyner istif sahasına gönderilmesi aşaması

Hattan konteynerler konteyner sahiplerinin konteynerleri terminal dışına çıkartmak istedikleri zaman boşaltılacak ve tırlara yüklenecektir.

Yapılan simülasyon deneyleri 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36 ve 50 adet kamyonun kullanıldığı konteyner terminallerinde yapılmıştır. Simülasyon deneyleri aynı parametreler için 5 kez tekrarlanmıştır. Simülasyon deneyleri sonucunda yapılan toplam elleçleme sayısı, istif vinçleri, rıhtım vinçlerinin rıhtımlarda kullanım oranları ve rıhtım aracı kullanım oranları belirlenmiştir. Belirtilen sayılardaki kamyonlar için yapılan simülasyon deneyleri sonuçları sırasıyla Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7, Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9' da gösterilmiştir. :

Çizelge 5.1 15 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

YT	15				
Toplam elleçleme	345840	349420	347570	346070	347970
İstif vinçleri	0,7765	0,7961	0,7774	0,7835	0,8049
Vinç 1	0,8821	0,9639	0,9124	0,8873	0,9110
Vinç 2	0,8990	0,9705	0,9254	0,9011	0,9158
Vinç 3	0,8671	0,9564	0,8971	0,8627	0,8889
Rıhtım aracı	0,9792	0,9963	0,9877	0,9788	0,9886

Çizelge 5.2 18 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

YT	18				
Toplam elleçleme	364870	361440	363700	366570	361260
İstif vinçleri	0,7914	0,802	0,8131	0,8249	0,8191
Vinç 1	0,8859	0,8789	0,9544	0,9623	0,8749
Vinç 2	0,9000	0,8919	0,9665	0,9678	0,8863
Vinç 3	0,8628	0,8566	0,9486	0,9497	0,8598
Rıhtım aracı	0,9782	0,9755	0,992	0,9954	0,9693

Çizelge 5.3 21 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

YT	21				
Toplam elleçleme	374010	375630	374080	376450	371560
İstif vinçleri	0,8037	0,8305	0,843	0,8292	0,8461
Vinç 1	0,8854	0,9594	0,8804	0,9042	0,8691
Vinç 2	0,8924	0,9664	0,8935	0,9124	0,8841
Vinç 3	0,8698	0,9498	0,8642	0,8884	0,8496
Rıhtım aracı	0,9734	0,9947	0,9716	0,9822	0,9632

Çizelge 5.4 24 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

YT	24				
Toplam elleçleme	380370	385820	386810	384360	383850
İstif vinçleri	0,8427	0,8946	0,8839	0,8466	0,882
Vinç 1	0,8745	0,9539	0,95451	0,9056	0,9541
Vinç 2	0,8875	0,9596	0,9629	0,9094	0,957
Vinç 3	0,8558	0,9445	0,9417	0,8874	0,9411
Rıhtım aracı	0,9639	0,991	0,991	0,9788	0,9888

Çizelge 5.5 27 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

YT	27				
Toplam elleçleme	395570	387430	389880	387060	391550
İstif vinçleri	0,8964	0,8832	0,8882	0,8487	0,891
Vinç 1	0,9430	0,8701	0,9027	0,8705	0,9545
Vinç 2	0,9485	0,8811	0,9176	0,8791	0,9583
Vinç 3	0,9347	0,8495	0,8928	0,8512	0,9478
Rıhtım aracı	0,9894	0,9644	0,9761	0,9689	0,988

Çizelge 5.6 30 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

YT	30				
Toplam elleçleme	396430	398860	394210	396710	393650
İstif vinçleri	0,8817	0,8951	0,8797	0,8947	0,8761
Vinç 1	0,9105	0,8954	0,8923	0,9582	0,8648
Vinç 2	0,9198	0,9060	0,9080	0,9617	0,8820
Vinç 3	0,9006	0,8880	0,8784	0,9405	0,8558
Rıhtım aracı	0,9799	0,9826	0,9755	0,9913	0,9637

Çizelge 5.7 33 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

YT	33				
Toplam elleçleme	399380	403530	402760	403780	400070
İstif vinçleri	0,9238	0,9055	0,8965	0,9028	0,8994
Vinç 1	0,9596	0,9558	0,9536	0,9543	0,9467
Vinç 2	0,9678	0,9607	0,9552	0,9628	0,9497
Vinç 3	0,9507	0,9520	0,9462	0,9458	0,9352
Rıhtım aracı	0,9959	0,9929	0,9886	0,9909	0,9806

Çizelge 5.8 36 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

YT	36				
Toplam elleçleme	402320	405690	403220	402700	403830
İstif vinçleri	0,9093	0,904	0,9061	0,8977	0,9055
Vinç 1	0,9018	0,9024	0,8918	0,9562	0,9506
Vinç 2	0,9039	0,9068	0,9026	0,9568	0,9581
Vinç 3	0,8809	0,8874	0,8803	0,9420	0,9469
Rıhtım aracı	0,9796	0,9777	0,9673	0,9922	0,9849

Çizelge 5.9 50 adet kamyonun kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

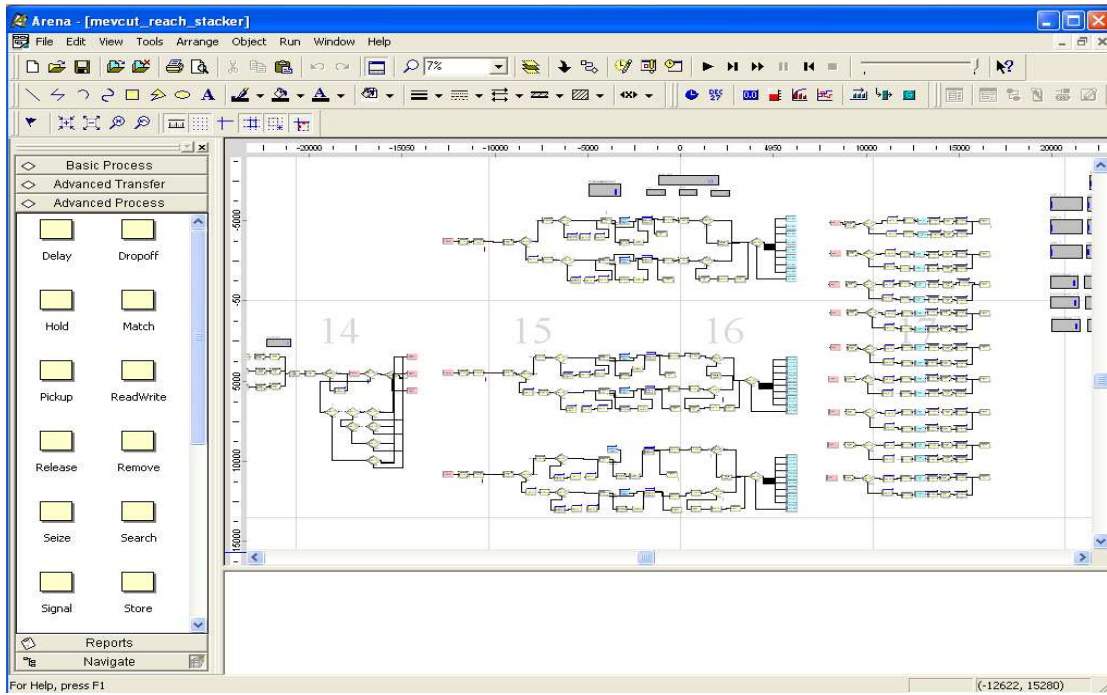
YT	50				
Toplam elleçleme	415930	419090	414660	418290	415980
İstif vinçleri	0,9275	0,9575	0,9442	0,9461	0,9364
Vinç 1	0,9551	0,9505	0,8846	0,8940	0,8955
Vinç 2	0,9610	0,9590	0,8943	0,9017	0,8989
Vinç 3	0,9534	0,9444	0,8672	0,8840	0,8851
Rıhtım aracı	0,9949	0,9924	0,9673	0,9772	0,97

Kamyon sayıları değiştirilerek yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler, vinçlerin kullanım oranlarında çok büyük bir değişimin meydana gelmediğini göstermektedir. Deneylerin sonuçlarına bakıldığında kamyonların kullanım oranları çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum vinçlerin bekleme sürelerinin çok yüksek olmasına ve darboğaz oluşmasına neden olmaktadır.

Mevcut durumun verimliliğini artırmak için çözüm önerisi olarak başka bir taşıma aracının kullanılması düşünülmüştür. Kullanılması düşünülen araçlar reach stacker yani dolu konteyner forkliftleridir. Aşağıda dolu konteyner forkliftleri ile yapılmış deneyler ve sonuçları gösterilmektedir.

5.2 Dolu Konteyner Forkliftleri İçin Yapılan Analizler

9 adet hat, 5 adet rıhtım vinci, 9 adet istif vinci ve 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36 ve 50 adet dolu konteyner forkliftinin kullanıldığı konteyner terminalinde deneyler yapılmıştır. Deneyler 5 kez tekrarlanmıştır ve simülasyon deneyleri sonucunda yapılan toplam elleçleme sayısı, istif vinçleri, rıhtım vinçlerinin rıhtımlarda kullanım oranları ve rıhtım aracı kullanım oranları belirlenmiştir. Mevcut durum için kamyonların kullanıldığı sistem ve bu sistemin simülasyon modeli Şekil 5.6'da gösterilmiştir:



Şekil 5.6 Dolu konteyner forkliftlerinin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli

Belirtilen sayılardaki dolu konteyner forkliftleri için yapılan simülasyon deneyleri sonuçları sırasıyla Çizelge 5.10, Çizelge 5.11, Çizelge 5.12, Çizelge 5.13, Çizelge 5.14, Çizelge 5.15, Çizelge 5.16, Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18’ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 15 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

RS	15				
Toplam elleçleme	422070	422010	420090	421470	412990
İstif vinçleri	0,9398	0,9476	0,9591	0,9339	0,9129
Vinç 1	0,5912	0,5636	0,5950	0,5457	0,5552
Vinç 2	0,5153	0,5378	0,5496	0,5419	0,5558
Vinç 3	0,7035	0,6960	0,6637	0,7239	0,6540
Rıhtım aracı	0,9656	0,9555	0,979	0,9832	0,9685

Çizelge 5.11 18 adet RS’nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

RS	18				
Toplam elleçleme	419880	426180	416080	423580	418210
İstif vinçleri	0,945	0,9677	0,9238	0,9483	0,9457
Vinç 1	0,5709	0,6091	0,5761	0,5644	0,5987
Vinç 2	0,5377	0,5030	0,5068	0,5463	0,4989
Vinç 3	0,7023	0,7219	0,6883	0,7143	0,6935
Rıhtım aracı	0,9519	0,9794	0,95	0,978	0,9417

Çizelge 5.12 21 adet RS'nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

RS	21				
Toplam elleçleme	423230	422280	421860	417070	425640
İstif vinçleri	0,9566	0,9608	0,955	0,9304	0,9482
Vinç 1	0,5291	0,5150	0,5717	0,5626	0,5654
Vinç 2	0,5945	0,5843	0,5734	0,5257	0,5661
Vinç 3	0,6945	0,7042	0,6598	0,7004	0,6983
Rıhtım aracı	0,9603	0,9566	0,9562	0,9617	0,9641

Çizelge 5.13 24 adet RS'nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

RS	24				
Toplam elleçleme	423810	425550	427290	423050	425290
İstif vinçleri	0,9557	0,9447	0,9493	0,9362	0,9572
Vinç 1	0,5746	0,5916	0,5889	0,6017	0,5625
Vinç 2	0,5619	0,5338	0,5548	0,5787	0,5867
Vinç 3	0,6660	0,6934	0,6971	0,6439	0,6792
Rıhtım aracı	0,9733	0,9391	0,9656	0,9459	0,9676

Çizelge 5.14 27 adet RS'nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

RS	27				
Toplam elleçleme	425340	426500	426990	425410	425590
İstif vinçleri	0,9659	0,9532	0,9621	0,9608	0,9667
Vinç 1	0,5774	0,6387	0,6261	0,5622	0,6020
Vinç 2	0,5806	0,5327	0,5319	0,5629	0,5553
Vinç 3	0,6520	0,6515	0,6772	0,6757	0,6679
Rıhtım aracı	0,9664	0,9628	0,9234	0,963	0,9613

Çizelge 5.15 30 adet RS'nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

RS	30				
Toplam elleçleme	429370	426830	425460	423860	424970
İstif vinçleri	0,9414	0,9877	0,9628	0,9346	0,9532
Vinç 1	0,5793	0,5622	0,5454	0,5752	0,5488
Vinç 2	0,5842	0,5782	0,5923	0,5977	0,5773
Vinç 3	0,6816	0,6876	0,6840	0,6592	0,6892
Rıhtım aracı	0,9707	0,9395	0,9426	0,9177	0,9002

Çizelge 5.16 33 adet RS'nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

RS	33				
Toplam elleçleme	430900	427810	426380	431280	428020
İstif vinçleri	0,9745	0,9515	0,9403	0,9587	0,9583
Vinç 1	0,5634	0,6010	0,5780	0,6091	0,6014
Vinç 2	0,5977	0,5891	0,5686	0,5597	0,5531
Vinç 3	0,6751	0,6436	0,6831	0,6518	0,6747
Rıhtım aracı	0,9371	0,9345	0,909	0,963	0,9262

Çizelge 5.17 36 adet RS'nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

RS	36				
Toplam elleçleme	430310	431010	425680	429090	428380
İstif vinçleri	0,9603	0,9518	0,948	0,9724	0,9716
Vinç 1	0,5872	0,5831	0,6068	0,5699	0,5512
Vinç 2	0,5709	0,6051	0,5674	0,6099	0,5519
Vinç 3	0,6908	0,6725	0,6500	0,6573	0,7156
Rıhtım aracı	0,9168	0,9312	0,9239	0,9324	0,9578

Çizelge 5.18 50 adet RS'nin kullanıldığı sistemin simülasyon modeli sonuçları

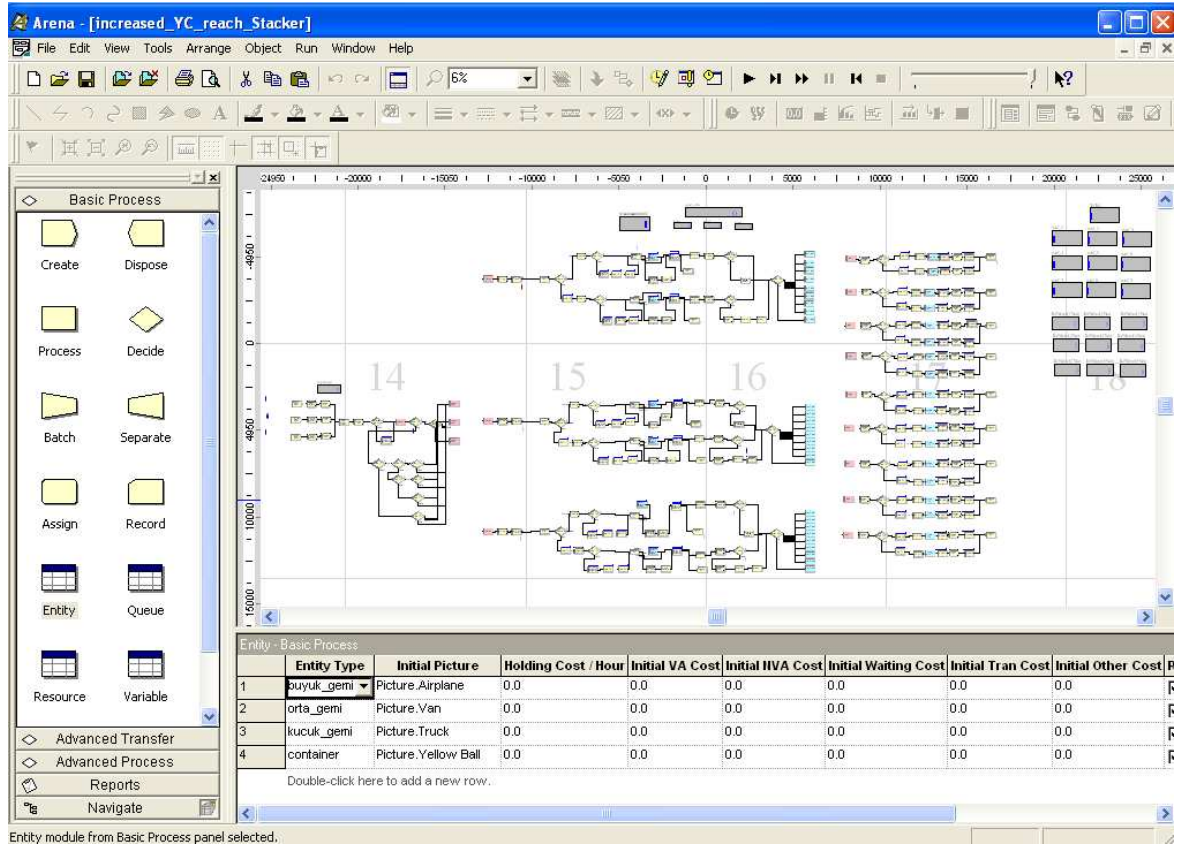
RS	50				
Toplam elleçleme	430000	432660	433360	431010	426200
İstif vinçleri	0,9355	0,974	0,9778	0,979	0,9543
Vinç 1	0,6038	0,5973	0,6399	0,5403	0,5570
Vinç 2	0,6062	0,5381	0,6157	0,6040	0,6208
Vinç 3	0,6254	0,6692	0,6036	0,6903	0,6570
Rıhtım aracı	0,907	0,9573	0,9434	0,942	0,9247

Sadece dolu konteyner forkliftlerinin kullanıldığı konteyner terminalinde yapılan deneyler sonucunda toplam elleçleme miktarı artmış, rıhtım vinçleri kullanım oranları azalmış, istif vinçleri kullanım oranları artmış ve dolu konteyner forkliftlerinin kullanım oranları aynı yüksek seviyeyi korumuştur. Rıhtım vinçlerinin kullanım oranlarında bir azalış görülürken istif vinçlerinin ve dolu konteyner vinçlerinin kullanım oranlarının yüksek bir seviyede olması istif vinçlerinin darboğaz oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum dolu konteyner vinçlerinin kullanıldığı sistemin kamyonların kullanıldığı sisteme göre daha verimli olduğunu göstermektedir. Bu durumda darboğaz oluşturan istif vinçlerinin sayısının artırılması yoluna gidilmelidir. Bu durumda bir sonraki aşamada incelenmesi gereken sistemde dolu konteyner forkliftleri kullanılmalı ve vinç sayıları artırılmalıdır. Aşağıdaki bölümde, mevcut duruma göre vinç sayıları iki katına çıkartılmış ve dolu konteyner forkliftlerinin kullanıldığı sistem incelenecektir.

5.3 Mevcut Duruma Göre Vinç Sayısı Artırılmış Sistemin Simülasyon İle Değerlendirilmesi

Konteyner terminalindeki kaynaklar ve bu kaynakların miktarı belirlenmiştir. Bu kaynaklar rıhtım vinçleri ve istif vinçleridir. Her bir rıhtımda yükleme ve boşaltma işlemi görecektir olan gemiler için kaynaklar yani vinçler belirlenmiştir. Bu modelde kullanılan vinç sayıları şu şekildedir: istif vinçlerinden 2'şer adet kullanılmıştır. Konteynerlerin taşınması için kullanılan kamyonlar yerine dolu konteyner forkliftleri kullanılacaktır. Özetle, bu sistemde vinç sayıları artırılmış ve farklı sayıdaki dolu konteyner taşıma vinçleri testler yapılmıştır. Vinç sayısı

artırılarak elde edilen model Şekil 5.7'deki gibidir:



Şekil 5.7 Vinç sayısı artırılmış simülasyon modeli

Vinç sayısı artırılmış ve dolu konteyner forklifleri kullanılan sistem için yapılan simülasyon deneyleri sonuçları sırasıyla Çizelge 5.19, Çizelge 5.20, Çizelge 5.21, Çizelge 5.22, Çizelge 5.23, Çizelge 5.24, Çizelge 5.25, Çizelge 5.26 ve Çizelge 5.27' da gösterilmiştir.

Çizelge 5.19 15 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	15				
Toplam elleçleme	595930	598450	598160	637350	655650
İstif vinçleri	0,6658	0,677	0,6733	0,7248	0,7403
Vinç 1	0,8543	0,8547	0,8516	0,8924	0,9272
Vinç 2	0,8471	0,8515	0,8621	0,9010	0,9278
Vinç 3	0,8531	0,8533	0,8414	0,9015	0,9220
Rıhtım aracı	0,6096	0,6077	0,6997	0,6475	0,669

Çizelge 5.20 18 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	18				
Toplam elleçleme	642360	646640	619700	633300	562670
İstif vinçleri	0,7148	0,7399	0,687	0,7037	0,6292
Vinç 1	0,9048	0,9148	0,8762	0,9014	0,8014
Vinç 2	0,9061	0,9168	0,8705	0,9079	0,8163
Vinç 3	0,9097	0,9184	0,8746	0,8991	0,8068
Rıhtım aracı	0,5425	0,5456	0,5238	0,5394	0,4796

Çizelge 5.21 21 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	21				
Toplam elleçleme	644250	619660	620000	630810	590120
İstif vinçleri	0,7271	0,6949	0,7076	0,722	0,6709
Vinç 1	0,9377	0,8819	0,8859	0,8873	0,8379
Vinç 2	0,9240	0,8759	0,8719	0,9048	0,8453
Vinç 3	0,9376	0,8834	0,8826	0,9102	0,8303
Rıhtım aracı	0,4726	0,4541	0,4569	0,4647	0,4293

Çizelge 5.22 24 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	24				
Toplam elleçleme	654090	606980	605690	655330	639070
İstif vinçleri	0,7355	0,6914	0,7003	0,7369	0,7235
Vinç 1	0,9220	0,8657	0,8504	0,9214	0,9064
Vinç 2	0,9263	0,8675	0,8618	0,9227	0,9049
Vinç 3	0,9236	0,8685	0,8520	0,9245	0,9071
Rıhtım aracı	0,4175	0,387	0,3881	0,4222	0,407

Çizelge 5.23 27 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	27				
Toplam elleçleme	644250	623740	652270	624810	595590
İstif vinçleri	0,7271	0,7041	0,727	0,7176	0,6731
Vinç 1	0,9377	0,8777	0,9167	0,8927	0,8439
Vinç 2	0,9240	0,8765	0,9148	0,8908	0,8371
Vinç 3	0,9376	0,8835	0,9192	0,8951	0,8438
Rıhtım aracı	0,3676	0,349	0,368	0,3518	0,3364

Çizelge 5.24 30 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	30				
Toplam elleçleme	649400	620690	631820	630320	645810
İstif vinçleri	0,7408	0,6937	0,7136	0,712	0,7323
Vinç 1	0,9137	0,8848	0,8850	0,8894	0,9234
Vinç 2	0,9074	0,8852	0,9014	0,8828	0,9218
Vinç 3	0,9103	0,8879	0,8974	0,8894	0,9229
Rıhtım aracı	0,3366	0,3185	0,3213	0,3224	0,3315

Çizelge 5.25 33 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	33				
Toplam elleçleme	637990	649370	647320	658110	645810
İstif vinçleri	0,7164	0,7266	0,7277	0,741	0,7323
Vinç 1	0,9122	0,9099	0,9182	0,9241	0,9227
Vinç 2	0,9119	0,9141	0,9168	0,9243	0,9223
Vinç 3	0,9203	0,9143	0,9161	0,9234	0,9231
Rıhtım aracı	0,2973	0,2995	0,3007	0,3014	0,3014

Çizelge 5.26 36 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	36				
Toplam elleçleme	643010	648520	652420	636860	642820
İstif vinçleri	0,7333	0,7432	0,7394	0,7193	0,7199
Vinç 1	0,9292	0,9168	0,9202	0,9074	0,9182
Vinç 2	0,9361	0,9186	0,9181	0,9061	0,9180
Vinç 3	0,9315	0,9205	0,9203	0,9063	0,9205
Rıhtım aracı	0,2748	0,2759	0,2788	0,2854	0,2784

Çizelge 5.27 50 adet RS kullanılan vinç sayısı artırılmış sistemin simülasyon sonuçları

RS	50				
Toplam elleçleme	631510	631350	615900	620120	588920
İstif vinçleri	0,712	0,708	0,7086	0,7039	0,6635
Vinç 1	0,9065	0,8921	0,8712	0,8854	0,8335
Vinç 2	0,9015	0,8995	0,8768	0,8874	0,8355
Vinç 3	0,9023	0,8914	0,8788	0,8840	0,8373
Rıhtım aracı	0,1949	0,1933	0,1925	0,1918	0,1799

Vinç sayısının artırıldığı ve taşıyıcı araç olarak dolu konteyner forkliftlerinin kullanıldığı bu sistemde toplam elleçleme miktarı, önceki modellere göre %50'den fazla artmıştır. İstif vinçlerinin kullanım oranları azalmıştır ancak bu durum ortaya çıkan darboğazları azaltacaktır. Bu durumun temelinde istif vinçlerinin sayısının artması nedeniyle vinçlere düşen iş yükünün azalmasıdır. Rıhtım vinçlerinin kullanım oranlarında ise ciddi bir artış görülmektedir. Rıhtım araçlarının kullanım oranı azalmıştır, bu durum terminal içerisinde darboğazların olmadığını, bekleme sürelerinin azaldığını göstermektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde uluslararası ticaretin hızla artması, üreticileri daha hızlı, daha ekonomik ve daha güvenilir yollarla ürünlerini tüketiciye ulaştırmaya itmektedir. Denizyolu taşımacılığı, bir defada çok fazla yük taşıma olanağı, güvenilirliği, sınır aşımı olmaması, mal zayıflarının minimum düzeyde olması ve daha uygun fiyatlarla üreticilerin beklentilerini karşılaması nedeniyle önemi giderek artan bir taşımacılık şeklidir. Kargo firmaları birden fazla ürünün veya birden fazla üreticilerin ürünlerinin aynı anda taşınması için konteynerleri kullanmaktadırlar. Konteynerler taşıma faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan geniş kutular olarak tanımlanmaktadırlar. Konteynerlerin en önemli özelliği birden fazla yük çeşidinin aynı anda tek bir kutuda taşınmasına izin vermesi ve ürünlerin daha az hasarla taşınmasına imkan vermesidir.

Konteyner terminalleri, global üretim ve genellikle deniz ve kara taşımacılığı arasında multi-modal arayüz olarak hizmet eden uluslararası işlerde önemli rol oynamaktadırlar. Konteyner terminallerinin işlevleri genel olarak;

- Konteynerleri teslim etmek,
- Konteynerleri nakliyecilerden almak,
- Konteynerlerin gemilere yüklenmesi,
- Konteynerlerin gemilerden boşaltılması,
- Konteynerleri geçici olarak depolamak.

Konteyner terminallerindeki süreçler, limana yanaşacak gemilerin rıhtımlara atanması (rıhtım yükleme), limanlardaki rıhtım vinçlerinin gemilere atanması ve işlerin bölüştürülmesi, konteyner terminallerinde konteynerlerin depolanması ve sıralanması, konteyner terminallerindeki alan vinçlerinin konteyner elleçlemeleri için atanması ve limanlardaki işgücünün iş yükünün çizelgelenmesi işlerini kapsamaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye’de bulunan orta ölçekli bir konteyner terminalinde inceleme yapılmıştır. İnceleme yapılan konteyner terminali ile ilgili bilgiler şu şekildedir: Terminalde 3 adet rıhtım, 5 adet rıhtım vinci, 9 adet hat, 9 adet alan vinci ve 30 adet kamyon bulunmaktadır.

Limanın mevcut durumu Arena 10.0 simülasyon programında modellenmiştir. Bu model üzerinde yapılan analizler sonucunda toplam elleçleme sayısı ve ekipmanların verimliliği raporlanmıştır.

İlk olarak konteyner terminalinin mevcut durumu incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda rıhtım vinçleri, istif vinçleri ve kamyonların kullanım oranının çok yüksek olduğu, bu durumda liman içerisinde darboğaz olduğu ve konteyner elleçleme miktarının olması gerekenden az olduğu görülmektedir. Kamyonların kullanım oranlarının çok yüksek olması rıhtım ve istif vinçlerinin bekleme sürelerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durumda yeni bir araç kullanımına gidilmesine ve alternatif araç olarak dolu konteyner forkliftlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Dolu konteyner forkliftleri için oluşturulan model çalıştırılarak elde edilen sonuçlar, istif vinçlerinin ve dolu konteyner forkliftlerinin kullanım oranının çok yüksek olduğunu ve rıhtım vinci kullanım oranlarının düştüğünü göstermiştir. Bu durum irdelendiğinde darboğaz oluşturan ekipmanın istif vinçleri olduğu görülmüştür. İstif vinci sayıları artırılarak ve dolu konteyner forkliftleri kullanılarak liman etkinliğinin artırılması ve darboğazların giderilmesi düşünülmüştür. Bu sistem Arena'da modellenmiş ve çalıştırılmıştır. Sonuçlar, konteyner elleçleme miktarının yaklaşık %50 arttığını, rıhtım vinci kullanım oranının ve RC kullanım oranının azaldığını, istif vinçlerinin kullanım oranının normal bir seviyede olduğunu göstermiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, liman içi araçların türlerinin ve sayılarının liman verimliliği, elleçlenen konteyner miktarları ve araç kullanım oranı üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Konteyner terminalleri, içerisinde birçok operasyonu barındıran sistemlerdir. Bunun doğal bir sonucu olarak, çözülmesi gereken birçok problem ve iyileştirilmesi gereken birçok sistem bulunabilmektedir. Bu çalışmanın ileriki safhalarında, konteyner terminalleri üzerinde çeşitli detaylı incelemeler yapılması planlanmaktadır. Yapılan bu tez çalışması sonucundan da anlaşılacağı gibi, konteyner terminallerinde darboğaz oluşturan en önemli araçlar istif vinçleridir. İlk olarak, konteyner depolama sahasında kullanılan istif vinçlerinin çözeltilmesi ile ilgili bir çalışma yapılması düşünülmektedir. Daha sonraki çalışmalarda sistemin veriminin artırılması için terminalin çeşitli bölümlerinde detaylı incelemeler yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- Akoğlu K. (2006), “Konteyner Limanının Depolama Sahasının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, C. (2006), “Improved Rehandling Strategies For Container Retrieval Process”, Sabancı Üniversitesi.
- Aydın K. (2007), “İstanbul Deniz Otobüsleri Seferlerinin Simülasyon Yardımıyla Planlanması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bazzazi M., Safaei N. ve Javadian N. (2008), “A genetic algorithm to solve the storage space allocation problem in a container terminal”.
- Bircan H., Karagöz Y. ve Kasapoğlu Y. (2003), “Ki-Kare ve Kolmogorov Smirnov Uygunluk Testlerinin Simülasyon İle Elde Edilen Veriler Üzerinde Karşılaştırılması”, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, 2003
- Bish E. K.(2002), “A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal”, European Journal of Operational Research, 144 83–107.
- Canonaco P., Legato P., Mazza R. M. ve Musmanno R. (2008), “A queuing network model for the management of berth crane operations”, Computers & Operations Research 35 2432 – 2446.
- Dohn A. (2007), “Optimizing the Steel Plate Storage Yard Crane Scheduling Problem Using a Two Stage Planning/Scheduling Approach”, ICAPS 2007 - Doctoral Consortium, Operations Research.
- Ece J. N., “Denizcilik Piyasalarındaki Gelişmeler”, Deniz Haber.
- Erkut H. (1995), “Sistem Yönetimi”, İrfan Yayıncılık: Avcı Ofset, İstanbul.
- Erkut H. (1992), “Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı”, İrfan Yayıncılık: Avcı Ofset, İstanbul.
- Esmer vd., “Konteyner Terminallerinde Gemi-Rıhtım Bağlantısının Benzetim Yöntemi İle Modellenmesi”
- Günther H. O. ve Kim K. H. (2006), “Container terminals and terminal operations”, OR Spectrum 28: 437–445.
- Haluk İbrahim Özmen H. İ., Özen S. (2001), “Konteyner Terminallerinde Depolama Sahalarının Boyutlandırılması İçin Bir Yöntem”, 3. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Çanakkale.
- Han Y., Lee L. H., Chew E. P. ve Tan K. C. (2008), “A yard storage strategy for minimizing traffic congestion in a marine container transshipment hub”, OR Spectrum 30:697–720.
- Jung S. H. ve Kim K. H. (2006), “Load scheduling for multiple quay cranes in port container terminals”, J Intell Manuf 17:479–492
- Kaya İ. (2006), “Çok aşamalı proseslerde örnek hacminin belirlenmesi üzerine bir model ve genetik algoritmalar yardımıyla çözüm önerisi”.
- Kim, K. H. (1997), “Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards”, Computers ind. Engng Vol. 32, No. 4. pp. 701-711.
- Kim K. H. ve Kim K. Y. (2007), “Optimal price schedules for storage of inbound containers”,

Transportation Research Part B 41 892–905.

Kim K. H., Lee K. M. ve Hwang H. (2003), “Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals”, *Int. J. Production Economics* 84: 283–292.

Kim K. H., Kang J. S. ve Ryu K. R. (2004), “A beam search algorithm for the load sequencing of outbound containers in port container terminals”, *OR Spectrum* 26: 93–116.

Kim K. H., Park Y. ve Jin M. J. (2007), “An optimal layout of container yards”, *OR Spectrum* 30:675–695.

Kim ve Park (2004), “A crane scheduling method for port container terminals”, *European Journal of Operational Research* 156 752–768.

Lee L. H., Chew E. P., Tan K. C. ve Han Y. (2006), “An optimization model for storage yard management in transshipment hubs”, *OR Spectrum* 28:539–561.

Liu C. I., Jula H., Vukadinovic K. ve Ioannou P. (2004), “Automated guided vehicle system for two container yard layouts”. *Transportation Research Part C* 12 349–368.

Li W., Wu Y., Petering M.E.H., Goh M. ve Souza R. (2008), “Discrete time model and algorithms for container yard crane scheduling”, *European Journal of Operational Research*, S0377-2217(08)00736-4.

Mak B., Blanning R. ve Ho S., (2006), “Genetic algorithms in logic tree decision modeling”, *European Journal of Operational Research* 170: 597–612.

Matthew E.H. Petering (2009), “Effect of block width and storage yard layout on marine container terminal performance”, *Transportation Research Part E*.

Mendeş M. (2005), “Uygun Simülasyon Sayısının Belirlenmesi: Monte Carlo Simülasyon Çalışması”, *Tarım Bilimleri Dergisi* 2005, 11 (1) 12-15.

Murty K. G. (2007), “Yard Crane Pools and Optimum Layouts for Storage Yards of Container Terminals”, *Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 1, No. 3, pp 190-199.

Murty K. G., Liu J., Wan Y. ve Linn R. (2005), “A decision support system for operations in a container terminal”, *Decision Support Systems*, 39 309– 332.

Ng W.C. (2005), Crane scheduling in container yards with inter-crane interference, *European Journal of Operational Research* 164: 64–78.

Ng W.C. ve Mak K.L. (2004), “Yard crane scheduling in port container terminals”, *Applied Mathematical Modelling* 29: 263–276.

Parola F. ve Sciomachen A. (2005), “Intermodal container flows in a port system network: Analysis of possible growths via simulation models”, *Int. J. Production Economics* 97 75–88.

Petering M. E. H. ve Murty K. G., “Effect of block length and yard crane deployment systems on overall performance at a seaport container transshipment terminal”, *Computers & Operations Research* 36 1711 – 1725.

Petering M. E. H., Wu Y., Li W., Goh M. ve Souza R. (2008), “Development and simulation analysis of real-time yard crane control systems for seaport container transshipment terminals”, *OR Spectrum* DOI 10.1007/s00291-008-0142-7.

- Preston P. ve Kozan E. (2001), "An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals", *Computers & Operations Research* 28 983-995.
- Shabayek A.A. ve Yeung W.W. (2002), "A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong", *European Journal of Operational Research* 140 1-11
- Shafer S. M. ve Smunt T. L., "Empirical simulation studies in operations management: context, trends, and research opportunities", *Journal of Operations Management* 22 345-354
- Stahlbock R. ve Voß S., "Operations research at container terminals: a literature update", *OR Spectrum* 30:1-52.
- Türsel Eliiyi D., Sevil B., Yumurtacı I. Ö., Ursavaş Güldoğan E. ve Ada E. (2008), "Liman Yönetimi ve Rıhtım Atama Problemi", *Ege Akademik Bakış / Ege Academic Review* 8 (1) 2008: 243-256
- United Nations, *Container Traffic Forecast*, 2007.
- Zeng Q. ve Yang Z. (2008), "Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals", *Computers & Operations Research* 36 1935 -- 1944
- Zhang C., Wan Y., Liu J. ve Linn R. J. (2002), "Dynamic crane deployment in container storage yards", *Transportation Research Part B* 36: 537-555.
- Zeng Q. Ve Yang Z. (2007), "A two-phase tabu search approach to scheduling optimization in container terminals", *Journal of Marine Science and Application*, Vol.6, No.2, pp. 44-50.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://bilgibirikimi.tripod.com/simulasyon.htm>

[2] http://www.denizcilik.gov.tr/tr/istatistik/istatistik_dosyalar/brosur/Default.html

[3] <http://www.traceca.org.tr/tra/menu-ulkeler/turkiye>

[4] <http://www.arkasakademi.com/liman-ekipmanlari/reach-stacker>

[5] http://www.denizticaretodasi.org/detportal/Portals/Documents/sektorraporu_tr_2005.pdf

[6] <http://www.uytes.com.tr/simulasyon/simulasyon.html>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	24.10.1985	
Doğum yeri	Kdz. Ereğli	
Lise	1999-2003	Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi
Lisans	2003-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2007-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Sistem Mühendisliği Programı

Çalıştığı kurumlar

2007-Devam ediyor YTÜ Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı Araştırma
Görevlisi