T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

KONTEYNER TERMİNALLERİNİN OTOMASYON SÜREÇLERİNİN BELİRLENMESİ VE KARAR YAKLAŞIMLARI

Yaser JOBRAN

DANIŞMAN
Doç. Dr. Gökhan KARA

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2021

Bu çalışma, 18.03.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Gökhan KARA(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mahmut Celal BARLA
Haliç Üniversitesi
İşletme Fakültesi

Prof. Dr. Fatih TAŞÇI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya-Metalurji Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat YILDIZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BAYAR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmî Gazete' de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Doktora eğitimim boyunca her zaman tecrübe ve bilgi birikimleriyle kendisinden çok şeyler öğrendiğim ve tez konusunun belirlenmesinden tezin son aşamasına gelene kadar bana yol gösteren, yoğun iş temposu arasında, çok değerli vakitlerini ayırarak bana destek olan danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Gökhan KARA'ya en içten duygularımla teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca görüş ve fikirleri ile tez çalışması süresince bana yardımcı olan Tez İzleme Komitesi Üyeleri Sayın Prof. Dr. Mahmut Celal BARLA ve Sayın Prof. Dr. Fatih TAŞÇI'ya teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca her sürecinde bilgi, öneri ve görüşlerini paylaşan saygıdeğer hocam Arş. Gör. Dr. Olgay OKŞAŞ'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Tüm hayatım boyunca en büyük desteği ve sevgiyi vererek, her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mart 2021 Yaser JOBRAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1. PROBLEMİN TANIMI 1
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI 1
1.3. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ 2
1.4. ÇALIŞMANIN KAPSAMI 3
1.5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
2. GENEL KISIMLAR **8**
2.1. KONTEYNER TAŞIMACILIĞI 8
2.2. KONTEYNER TERMİNALLERİ 10
2.2.1. Konteyner Terminalinin Süreçleri 11
2.2.2. Konteyner Elleçleme Ekipmanları 15
2.2.3. Konteyner Terminallerinin Değerlendirilmesi 31
2.2.4. Terminal Planlama Problemleri 38
2.3. KONTEYNER TERMİNALLERİ OTOMASYONU 48
2.3.1. Konteyner Terminalleri Otomasyonu Genel Tanıtımı 48
2.3.2. Otomasyon Dinamikleri 50
2.3.3. Konteyner Terminallerinde Otomasyon Seviyeleri 51
2.3.4. Otomasyon Avantajları 53
2.3.5. Otomasyon Uygulama Zorlukları 55
2.3.6. Otomatik Konteyner Terminalleri Yük Elleçleme Sistemleri 57
2.3.7. Otomasyona Dönüştürme Süreçleri 58
3. MALZEME VE YÖNTEM **68**
3.1. SİMÜLASYON MODELLEME 68

3.1.1. Giriş 68
3.1.2. Simülasyon Avantajları ve Dezavantajları 69
3.1.3. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması 71
3.1.4. Simülasyon Modelinin Parçaları 72
3.1.5. Simülasyon Çalışmalarının Metodolojisi 74
3.1.6. Konteyner Terminalinde Simülasyon Modelleme 80
3.2. ARENA SİMÜLASYON PROGRAMI 81
3.2.1. Tanıtım 81
3.2.2. Arena'da Modelleme Metodolojisi 83
3.3. MALİYET MODELİ 85
3.4. SİMÜLASYON MODELLEMENİN AKTİF BİR KONTEYNER LİMANINA UYGULANMASI 88
3.4.1. Problem Tanımı 88
3.4.2. Sistem Tanımı 88
3.4.3. Kavramsal Model Formülasyonu 91
3.4.4. Performans Kriterleri 94
3.4.5. Giriş Verileri 95
3.4.6. Model Varsayımları 97
3.4.7. Modelin Simülasyon Programına Aktarılması 98
3.4.8. Modeli Başlatma ve Durdurma 104
3.4.9. Model Doğrulama ve Geçerlilik 104
4. BULGULAR 106
4.1. MEVCUT TERMİNAL SİSTEMİNİN ANALİZİ 106
4.2. AGV-ACT SİSTEMİNİN ANALİZİ 108
4.3. SC-ACT SİSTEMİNİN ANALİZİ 113
4.4. DUYARLILIK ANALİZİ 115
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 119
KAYNAKLAR 122
ÖZGEÇMİŞ 127

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Konteyner gemilerinin gelişimi. 9

Şekil 2.2: HMM Algeciras gemisi. 9

Şekil 2.3: Küresel konteynerizasyon ticareti, 1996–2018 (UNCTAD, 2018). 10

Şekil 2.4: Konteyner terminalleri konfigürasyonları (N. Theo ve diğ., 2020). 11

Şekil 2.5: Konteyner terminalindeki boşaltma ve yükleme süreci (Gharehgozli, 2013). 12

Şekil 2.6: Rıhtım vinçlerinin çalışma prensipleri 13

Şekil 2.7: Tipik rıhtım vinci 16

Şekil 2.8: Tek ve çift trolley rıhtım vinçleri. 18

Şekil 2.9: Rıhtım vinçlerinin spreader çeşitleri 18

Şekil 2.10: Mobil liman vinci (MHC). 19

Şekil 2.11: Reachstacker. 20

Şekil 2.12: Reachstacker sistemin özellikleri. 21

Şekil 2.13: Straddle taşıyıcıları. 21

Şekil 2.14: Straddle taşıyıcıları sistemin özellikleri. 22

Şekil 2.15: Shuttle taşıyıcısı. 23

Şekil 2.16: Lastik Tekerlekli İstif Vinci. 24

Şekil 2.17: Lastik tekerlekli istif vinci sisteminin operasyonel özellikleri. 24

Şekil 2.18: Tipik bir ARMG tasarımı. 26

Şekil 2.19: Tipik CARMG vinci. 27

Şekil 2.20: Otomatik istif vinçleri sisteminin özellikleri. 28

Şekil 2.21: Terminal traktörü. 29

Şekil 2.22: Otomatik terminal traktörü (AGV). 30

Şekil 2.23: İstifleme ekipmanları kapasiteleri (Kalmar, 2006) 35

Şekil 2.24: Dünyanın dört bir yanında mevcut otomatik terminaller (Container Terminal Automation Conference, 2018). 49

Şekil 2.25: Otomatik konteyner terminalleri (Kalmar, 2018). 57

Şekil 3.1: Simülasyon sınıflandırılması (D. Rossetti, 2016).....72

Şekil 3.2: Marmara Bölgesi.....88

Şekil 3.3: Limanın yerleşim düzeni. 89

Şekil 3.4: Limana uğrayan yıllık gemilerin sayısı. 90

Şekil 3.5: Limanın yıllık elleçleme kapasitesi. 90

Şekil 3.6: Gemilerin boşaltılması ve yüklenmesi süreci kavramsal modeli. 93

Şekil 3.7: Karayolu kamyonların boşaltılması ve yüklenmesi süreci kavramsal modeli.....94

Şekil 3.8: Gemi varışı ve römorkör atanma Arena modeli. 99

Şekil 3.9: Gemi boşaltma ve yükleme operasyonlarının Arena modeli.....100

Şekil 3.10: Gemiler ayrılma Arena Modeli.....101

Şekil 3.11: Karayolu kamyonlarının varışlarının Arena modeli. 102

Şekil 3.12: Karayolu kamyonlarının ayrılmasının Arena modeli. 102

Şekil 3.13: Depolama sahası operasyonlarının Arena modelleri. 103

Şekil 3.14: Arena 2D Animasyon modelinden anlık durum görüntüleri. 105

Şekil 4.1: Gemilerin gelişleri ile ekipman işgal oranı arasındaki ilişki. 107

Şekil 4.2: Otomatik terminalin Arena 2D Animasyon modeli.....109

Şekil 4.3: Otomatik limanda gemi boşaltma / yükleme ve konteyner taşıma operasyonlarının Arena modeli. 110

Şekil 4.4: Otomatik limanın depolama sahası operasyonlarının Arena modeli.....111

Şekil 4.5: Sistemlerin sonuçlarının karşılaştırılması.....115

Şekil 4.6: Taşıma aracı atanmasının yaklaşımları değerlendirilmesi.....116

Şekil 4.7: Bir günlük çalışmadan sonra her bloktaki konteyner sayısı. 117

Şekil 4.8: Doluluk oranına dayalı depolama bloğu atama lojiği.....117

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Liebherr rıhtım vinçlerinin teknik özellikleri.....17

Tablo 2.2: Liebherr LHM 550 mobil liman vincinin teknik özellikleri 20

Tablo 2.3: Kalmar klasik CSC 450 straddle taşıyıcılarının teknik özelliklerini.....22

Tablo 2.4: Kalmar klasik SHS 250 shuttle taşıyıcılarının teknik özelliklerini.....23

Tablo 2.5: Kalmar klasik RTG vincinin teknik özellikleri.....25

Tablo 2.6: RMG teknik özellikleri.....28

Tablo 2.7: Kalmar FastCharge AGV teknik özellikleri.....30

Tablo 2.8: Terminal Planlama Problemlerinin Sınıflandırılması (Kemme, 2013).....39

Tablo 3.1: Limanın rıhtımlarının özellikleri.....90

Tablo 3.2: Limanda kullanılan elleçleme ekipmanları. 91

Tablo 3.3: Simülasyon modeli değerlendirmede kullanılan performans kriterleri.....95

Tablo 3.4: Simülasyon modelinde kullanılan girdi veriler. 96

Tablo 3.5: Simülasyon modelinde kullanılan gemi verileri.....98

Tablo 4.1: Mevcut limanın simülasyon modelinden elde edilen performans kriterleri.....106

Tablo 4.2: AGV-ACT Terminalin fiziksel özelliklerinin özeti 109

Tablo 4.3: Otomatik AGV-ACT sisteminin simülasyon modelinin sonuçları. 112

Tablo 4.4: Manuel ve otomatik sistem arasında karşılaştırma. 113

Tablo 4.5: Otomatik SC-ACT sisteminin simülasyon sonuçları. 114

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A	: Yıllık arazi maliyeti
P	: İlk arazi yatırımı
R	: Enflasyon oranı
n	: Hesaplama süresi
V	: Terminal tarafından işlenen toplam yıllık konteyner sayısıdır
C_{act}	: Faaliyetler maliyetleri
C_{lnd}	: Arazi maliyetleri
C_{eqp}	: Ekipman maliyetleri
C_{lbr}	: İşçilik maliyetleri
T_{QC}	: Rıhtım vincinin çalışma süresini ve rıhtım vincinin taşıma aracı için beklediği zamanı temsil etmektedir.
T_{YC}	: Saha vincinin çalışma süresini ve saha vincinin taşıma aracı için beklediği zamanı temsil etmektedir.
T_{TT}	: Bir elleçleme döngüsünü tamamlamak için taşıma aracının seyahat süresini ifade etmektedir.

Kısaltmalar	Açıklama
ACC	: Konteyner başına ortalama maliyet (Average Cost Per Container)
ACT	: Otomatik Koneyner Terminalleri (Automated Container Terminals)
AGV	: Otomatik Terminal Traktörü (Automated Guided Vehicles)
ALV	: Otomatik Kaldırma Aracı (Automated Lifting Vehicle)
ARMG	: Otomatik Raylı İstif vinci (Automated Rail Mounted Gantry)
ASC	: Otomatik Saha Vinci (Automated Stacking Crane)
AShC	: Otomatik Shuttle Taşıyıcı (Automated Shuttle Carrier)

AutoRTG : Otomatik Lastik Tekerlekli İstif Vinci (Rubber Tyred Gantry)

AutoSC : Otomatik Straddle Taşıyıcı (Automated Straddle Carrier)

BAP : Rıhtım Tahsis Problemi (Berth Allocation Problem)

BoD : Varış Limanı (Port of Destination)

CAPEX : Sermaye Harcamaları (Capital Expenditures)

CARMG : Yandan Yüklemeli Konsol Otomatik İstif Vinci (Side-Loading Cantilever Automated Stacking Crane)

CFR : Konteyner Yük İstasyonu (Container Freight Station)

DGPS : Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi (Differential Global Positioning System)

EDT : Boş Sürüş Süresi (Empty Driving Time)

ERP : Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning)

FEU : 40 Feet'lik Konteyner (Forty-Foot Equivalent Unit)

GCR : Brüt Vinç Oranı (Gross Crane Rate)

GS : Yard Slot (Ground Slot)

IAV : Akıllı Araç Teknolojisi (Intelligent Autonomous Vehicles)

İMEAK : İstanbul ve Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz Bölgeleri

ITV : İç Taşıma Aracı (Internal Transport Vehicle)

JIT : Tam Zamanında (Just in Time)

KPI : Performans göstergeleri (Key Performans Indectors)

MHC : Mobil Rıhtım Vinci (Mobile Harbour Crane)

MTT : Multiload terminal traktörü (Multimodel Terminal Tracktor)

NV : En yakın araç (Nerast Vehicle)

OCR : Optik Karakter Tanıma (Optical Character Recognition)

OPEX : İşletim Giderleri (Operating Expenses)

PDS : Pozisyon Algılama Sistemi (Position Detection System)

QC : Rıhtım Vinci (Quay Crane)

QCAP : Rıhtım Vinci Tahsis Problemi (Quay Cranes Assignment Problem)

QCSP : Rıhtım Vinci Zamanlama Problemi (Quay Crane Scheduling Problem)

RFID : Radyo Frekansı Tanımlama (Radio Frequency İdentification)

RMG : Raylı İstif Vinci (Rail Mounted Gantry)

RS : Reach İstifleyici (Reach Stacker)

RTG : Lastik Tekerlekli İstif Vinci (Rubber Tyred Gantry)

RTLS : Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi (Real Time Locating System)

SC : Straddle Taşıyıcı (Straddle Carrier)

ShC : Shuttle Taşıyıcı (Shuttle Carrier)

TEU : 20 Feet'lik Konteyner (Twenty-Foot Equivalent Unit)

TLS : Terminal Lojistik Sistemi (Terminal Lojestic System)

TOS : Terminal İşletim Sistemi (Terminal Operating System)

TT : Terminal Traktör (Terminal Tracktor)

TÜRKLİM : Türkiye Liman İşletmecileri Derneği

UNCTAD : Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (United Nations Conference of Trade and Development)

YC : Saha Vinci (Yard Crane)

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KONTEYNER TERMİNALLERİNİN OTOMASYON SÜREÇLERİNİN BELİRLENMESİ VE KARAR YAKLAŞIMLARI

Yaser JOBRAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Gökhan KARA

Son yıllarda ölçek ekonomilerinin faydalarını yakalamak için konteyner gemilerinin boyutları istikrarlı şekilde artmıştır. Bununla birlikte deniz konteyner taşımacılığı çarpıcı şekilde büyümüştür. Terminal operatörleri, daha kısa zaman aralığında gelen çok sayıda konteynerin elleçlemesinde verimliliği artırmak için baskı altında kalmıştır. Büyük gemileri elleçlemek için gereken hizmet seviyesini sağlayamayan terminaller yüklerini potansiyel olarak daha iyi hizmet veya daha düşük maliyet sağlayabilen terminallere kaydırmasını görebilmektedir. Otomasyon, büyük gemiler elleçlemek, operasyonel maliyetleri azaltmak ve verimliliği artırmak için izlenebilecek stratejilerden biridir. Ancak, otomasyon yatırım maliyetleri şaşırtıcı derecede yüksektir aynı zamanda iş, planlama ve operasyonel yönetim açısından çok sayıda zorlukla karşı karşıyadır.

Bu Çalışma, bir konteyner terminalinin gelecekteki gelişimi ile ilgili stratejik kararların bir simülasyon çalışmasıyla nasıl desteklenebileceğini göstermiştir. Otomatik terminal sistemlerinin (AGV-ACT ve SC-ACT) konteyner elleçleme operasyonları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir ve konteyner limanlarında otomatik sistem uygulama olasılığı incelenmiştir. Eksiksiz bir liman simülasyon modelini oluşturmak için konteyner terminalinin römorkör, rıhtım, rıhtım vinçleri, istifleme blokları, istifleme vinçleri, yatay taşıma araçları gibi ana nesneleri, karayolu kamyonları ve terminalin yerleşimi bir bütün olarak simüle edilmiştir. Sistemi değerlendirmek ve karşılaştırmak için gemi dönüş süresi, karayolu kamyonları geri dönüş süresi ve ekipmanın kullanım oranını içeren performans kriterleri kullanılmıştır.

Otomasyonun limanın performansını iyileştirebileceği kanıtlanmıştır. Otomasyon, gemilerin geri dönüş süresini açıkça azaltmıştır. Böylece, limanın müşteriler için daha çekici olmasına ve pazarda rekabetçi kalmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, ele alınan limanın 1 milyon TEU'nun üzerindeki kapasitesi ve kritik konumu ile otomasyona geçmek için gerekli özelliklere sahip olduğunu kabul edilmiştir. Yeni müşteriler çekmek ve büyüyen iş hacmini karşılamak için limanların otomasyon sürecine geçmesi ve özellikle konteyner limanlarının zamanla bu tür teknolojileri uygulaması önem arz etmektedir.

Mart 2021, 143 sayfa.

Anahtar kelimeler: Konteyner Terminalleri – Otomasyon – Simülasyon

SUMMARY

Ph.D. THESIS

DETERMINATION OF AUTOMATION PROCESSES OF CONTAINER TERMINALS AND DECISION APPROACHES

Yaser JOBRAN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Maritime Transportation and Management Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gökhan KARA

Container ships have steadily increased in size in recent years to capture the benefits of economies of scale. At the same time, containerization has grown dramatically. Terminal operators have been under pressure to increase efficiency in handling large numbers of containers arriving in a shorter time frame. Terminals that fail to provide the level of service required to handle large ships may see their cargo shifting to terminals that could potentially provide better service or lower cost. Automation is one strategy that can be pursued to handle large ships, reduce operational costs and increase efficiency. However, automation investment costs are surprisingly high and this kind of project also faces numerous challenges in terms of business, planning, and operational management.

The study has shown how strategic decisions on the future development of a container terminal can be supported by means of a simulation study. The effect of automatic terminal systems (AGV-ACT and SC-ACT) on container handling operations has been evaluated and the possibility of implementing automatic systems in container terminals has been examined. In order to create a complete port simulation model, the main objects of the container terminal such as tugboats, berths, quay cranes, stacking blocks, stacking cranes, horizontal transport vehicles, road trucks and the layout of the terminal are simulated as a whole. Performance criteria including ship turnaround time, road trucks turnaround time and equipment utilization rate were used to evaluate and compare the systems.

It has been proven that automation can improve the performance of the port. Automation has clearly reduced the turnaround time of the ships. Thus, it helps the port to be more attractive to customers and remain competitive in the market. In addition, it has been acknowledged that the port addressed has the necessary features for automation with its capacity of over 1 million TEU and its critical location. In order to attract new customers and meet the growing business volume, it is important for ports to switch to automation and especially container ports to apply such technologies over time.

March 2021, 143 pages.

Keywords: Container Terminals – Automation – Simulation

1. GİRİŞ

1.1. PROBLEMİN TANIMI

Konteyner terminalleri global üretim ve ticarette deniz ve karayolu taşımacılığı arasındaki çok modlu taşımacılığın arayüzü olarak önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda ölçek ekonomilerinin faydalarını yakalamak için konteyner gemilerinin boyutları istikrarlı şekilde artmıştır. Bununla birlikte deniz konteyner taşımacılığı çarpıcı şekilde büyümüştür. Bu da daha küçük zaman diliminde gelen çok sayıda konteyneri elleçleme verimliliğini artırmak için terminal operatörleri ve işgücü üzerinde daha fazla baskı yaratmıştır. Büyük gemileri elleçlemek için gereken hizmet seviyesini sağlayamayan terminaller yüklerini potansiyel olarak daha iyi hizmet veya daha düşük maliyet sağlayabilen terminallere (bölge içinde ve dışında) kaydırabilmektedir. Ancak özellikle İstanbul gibi metropollerde bulunan konteyner terminalleri, çevre kaygıları, trafik sıkışıklığı ve arazi kıtlığı ve maliyetleri gibi kısıtlamalar altında artan talebe ayak uydurmakta zorluk çekmektedir.

Metropol alanlarındaki terminallerin çoğu, arazi kısıdı veya yüksek maliyet nedeniyle genellikle ek arazi kullanarak kapasiteyi artıramamaktadır. Otomasyon, bu tür terminalin operatörünün büyük gemiler elleçlemek, operasyonel maliyetleri azaltmak ve verimliliği artırmak için izlenebilecek stratejilerden biridir. Ancak, otomasyon yatırım maliyetleri şaşırtıcı derecede yüksektir ve kanıtlanmış otomasyon teknolojileri teknik zorluklara sahiptir. Türk limanlarında daha önce hiç incelenmemiş olan otomasyonun, Türkiye pazarındaki mevcut ve gelecekteki talebe uygun olup olmadığı hala belirsizdir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Küresel intermodal konteyner taşıma sistemi olgunlaşmaya devam ettikçe, maliyetleri düşürmek ve verimliliği artırmak için kullanılan yöntemler giderek daha karmaşık ve teknik açıdan zorlaşmaktadır. Terminal operasyonlarında verimliliği maksimize ederek ve maliyetleri düşürerek sistemi iyileştirmek amacıyla kullanılan konteyner terminal otomasyonu bu tezin ilgi odağıdır.

Bu çalışma, öncelikle konteyner terminal endüstrisinde otomasyonun benimsenmesi ve uygulanmasını incelemek için gerekli altyapıyı sağlamak için mevcut konteyner terminal sistemleri ve operasyonlarının temellerini belirlemektir.

Çalışmanın amaçları; otomatik terminal sistemlerinin (AGV-ACT ve SC-ACT) konteyner elleçleme operasyonları üzerindeki etkisini analiz etmek ve konteyner limanlarında otomatik sistem uygulama olasılığını incelemektir. Sonuç olarak bu çalışma, otomasyona yönelik herhangi bir eğilimin arkasındaki itici faktörleri ve Türk konteyner terminali endüstrisinde otomasyon uygulama olasılığını ortaya çıkarmaya yardımcı olacaktır.

1.3. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Jeo-stratejik açıdan denizyolu taşımacılığına son derece uygun olan Türkiye'nin uluslararası pazarlara ulaşmasında ve ülkenin ekonomik, sosyal ve ticari yapısı üzerinde, ulusal ulaştırma sisteminin son noktası olan limanlar oldukça etkilidir. Türk limanları, Doğu Akdeniz ve Karadeniz denizcilik hatlarında stratejik konumda yer alıp Doğu-Batı ve Kuzey-Güney yönlü uluslararası ulaştırma koridorlarının kesişim noktasında bulunmaktadır. Bulundukları avantajlı konum ile aktarma/transit yükleri çekebilecek özelliklerine sahip olmalarına rağmen Türk limanlarının yapılanmaları, bir yük türünde uzmanlaşmış limanlardan birçok farklı yük türüne hizmet verebilecek farklı ekipmanlarla donatılan konvansiyonel türde liman özelliği göstermektedir. Bu da dünya limanlarında görülen otomatikleştirme eğilimi ile ters düşmektedir. Türkiye limanlarının Akdeniz ve Karadeniz pazarlarında rekabet edebilmeleri için yapılanmalarında değişikliklere gidilmesi ve ileri teknolojiler veya konteyner taşımacılığına yönelik otomasyon üzerinde durulması gerekmektedir.

Terminal süreçlerinin otomasyonu, öncelikle genel maliyet azaltımı ve ekipman filosunun daha verimli kullanımı açısından çok çeşitli avantajlar getirmektedir. Otomasyonun sağladığı verimlilik artışı operasyonel maliyetleri düşürürken aynı zamanda gelecekteki Türk limanlarının büyümesi için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Otomasyon tutarlı, öngörülebilir ve güvenilir performans sağlayarak Türk limanlarına rekabet avantajı sağlamakta ve işi arttırmaktadır. Ancak otomasyon maliyetleri son derece yüksektir, bu nedenle uygulanabilmesi için pazarın bu maliyetleri geri ödeyebilmeye hazır olması gerekmektedir. Limanlar, otomasyonu haklı çıkaran hacimleri çekebilme yeteneğine sahip olmalıdır.

Ana katkımız, Türkiye'deki bir konteyner terminalinin gelecekteki gelişimi ile ilgili stratejik kararların bir simülasyon çalışmasıyla nasıl desteklenebileceğini göstermektir. Bu çalışmanın en önemli avantajlarından biri terminali bir bütün olarak simüle etmesidir.

1.4. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Çalışmanın amaçlarına ulaşması için aşağıdaki süreçler doğrultusunda araştırma yürütülmüştür:

- Otomatik konteyner terminalleri hakkında literatür araştırması yapılmıştır.
- Liman performansı geliştirmesinde kullanılan simülasyon yöntemi hakkında literatür araştırması yapılmıştır.
- Mevcut bir terminal yerleşimi ve ilgili lojistik süreçleri yansıtan bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Tüm işlemler, her bir ekipman parçasının özellikleri en küçük detaylarına kadar simüle edilmiştir.
- Simülasyon çalışmalarında mevcut sistemi (manuel terminal traktörleri ile lastik tekerlekli istif vinçleri_RTG) otomatik sistemlerle (AGV-ACT veya SC-ACT) değiştirilerek konteyner verimliliğini artırma olasılıkları araştırılmıştır.
- Her incelenen sistemin aynı operasyonel senaryoya, yani arayüzlerdeki aynı konteynerlerin trafiğine dayalı olarak çalıştırılmıştır.
- Her bir sistemi değerlendirmek ve karşılaştırmak için gemi dönüş süresi, karayolu kamyonları geri dönüş süresi ve ekipmanın kullanım oranını içeren performans kriterleri kullanılmıştır.
- Son olarak, otomatik sistemlerin Türkiye pazarına girme olasılığı tartışılmıştır.

Çalışmada bilgisayar destekli tasarım programı AutoCAD ve Arena simülasyon programı gibi programlar ve yazılım paketleri kullanılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde çalışmanın problemi, amacı, önemi ve metodolojisi ele alınmıştır. Ayrıca Çalışmayı mevcut bilgilerle ilişkilendirmek için ilgili bilimsel kaynakların bir literatür araştırması yapılmıştır.

İkinci bölümünde konteyner terminallerinin temel terimleri, süreçleri, elleçleme ekipmanları, performans göstergeleri, tasarım ve operasyonel problemleri tanıtılmıştır. Özellikle otomatik konteyner terminalleri ile ilgili konular detaylı olarak incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde tezin amaçlarına yönelik kullanılan malzeme ve yöntemden bahsedilmiştir. Simülasyonun, terminal planlama problemlerine ilişkin bir karar destek yaklaşımı olarak kullanılmasını incelenmiştir. Önerilen sistemlerin etkinliğini ölçmek ve mevcut uygulamalarla karşılaştırmak için bir maliyet modeli sunulmuştur. Son olarak, simülasyon modelleme aktif bir konteyner limanına uygulanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise geliştirilen simülasyon modelleri ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sonuçlara değinilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümü sonuçların tartışılmasına ayrılmıştır.

1.5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Farklı büyüklükte ve kapasitelerde otomatik konteyner terminalleri ile konvansiyonel terminaller arasında karşılaştırma yapmak için maliyet ve verimlilik temel alınarak birçok araştırma yayınlanmıştır.

Yanga ve Shen (2013) konteyner terminallerinin çalışma performansını etkileyen önemli faktörleri araştırmışlar ve gri ilişkisel analizi (Grey Relational Analysis_GRA) ve Entropi kavramını kullanarak Kaohsiung (Tayvan'daki en büyük liman) limanındaki çeşitli konteyner elleçleme sistemlerinin performansını karşılaştırmışlardır. Sunulan araştırmaya dayanarak, otomatik istif vinçleri (Automatic Stacking Crane _ASC), denetlenen diğer konteyner elleçleme sistemlerine kıyasla hem işletme performansı hem de yeşil terminaller (yeni inşa edilen terminaller) perspektiflerinden en uygun konteyner elleçleme sistemini temsil edeceğini göstermişlerdir. Çalışmaya göre hava kirliliğini azaltmak ve yakındaki yaşam ortamını iyileştirmek için straddle taşıyıcılarının, reachstacker ve terminal traktörlerinin kademeli olarak ASC ile değiştirilmesi beklenmektedir. Otomatik istif vinçlerinin hareket hızı, otomasyon seviyesi ve terminal işletim sistemleri ile entegrasyon açısından olgunluk durumuna geldiğini ve bu nedenle performanstaki diğer kargo elleçleme ekipmanlarını aştığını belirtmişlerdir. Öte yandan, otomatik konteyner terminallerinin büyük miktarda yatırım gerektirdiğini ve çeşitli mekanik işlemlerinin sınırlamaları ile kısıtlanan işletim performansına sahip olduklarını belirtmişlerdir. Yatırımın geri dönüş oranı (rate of return on investment) göz önüne alındığında Tayvan'da otomatik konteyner terminalleri uygun olmadığı işaret edilmiştir.

Kulak ve diğ. (2013) terminal operasyonlarını analiz etmek, potansiyel darboğaz kaynaklarını belirlemek ve İstanbul Limanı'ndaki yerleşim planı (konfigürasyonu) ve operasyonel kontrol

sisteminin gelecekteki gelişimi için yönergeleri vurgulamak amacıyla bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Aynı çalışmada konteyner taşıma sistemini değiştirerek, terminal ekipmanlarını genişleterek veya farklı kaynak tahsisi stratejileri uygulayarak terminal performansını arttırmanın imkanları araştırtılmıştır. Terminal kamyonlarını straddle taşıyıcıları ile değiştirerek, mevcut konteyner yerleşim planı için yıllık konteyner elleçlemesi yaklaşık 30.000 TEU arttırılabileceğini iddia etmişlerdir. Ayrıca, konteyner elleçlemenin daha az sayıda straddle taşıyıcıları ile mümkün olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, AGV'ler (Automated Guided Vehicles) veya ALV'ler (Automated Lifting Vehicles) gibi otomatik araçların kullanımının, rehberlik yoluna ve trafik kontrol sistemine büyük yatırımlar gerektirdiği ve Türkiye'deki mevcut terminal konfigürasyonları için pratik bir çözüm olmadığı belirtilmiştir. Ancak, son tespiti kanıtlayan hiçbir çalışma sunulmamıştır.

Kim ve diğ. (2012) farklı yeni kavramsal otomatik elleçleme sistemlerini tanıtmışlardır. Sistemlerle ilgili analiz sonuçları, tüm elleçleme sisteminin verimliliğinin otomasyonla artırılabileceğini, ancak inşaat maliyetinin çok yüksek olduğunu ve bazı durumlarda işlem sırasındaki esnekliğin azaldığını, bunun da tüm sistemin verimliliğini sınırlayabileceğini göstermektedir.

Rademaker (2007) otomatik terminalin maliyetlerini ve faydalarını analiz ederek orta ölçekli terminaller (500.000 TEU'dan daha az elleçleme kapasitesine sahip konteyner terminalleri) için terminal otomasyonunun fizibilitesini araştırmıştır. Düşük nakit akışı hesaplamalarına dayanarak, otomatik terminalin getiri oranının, konvansiyonel terminal getiri oranından %5 daha yüksek olmasına rağmen, projenin uygulanabilir olması için yeterli olmadığını göstermiştir. Mali fizibilite çalışmasının olumsuz sonucunun temel sebebinin, gerekli olan yüksek başlangıç sermayesi maliyeti olduğunu belirtmiştir. Hesaplamanın sonuçları, daha uzun bir süre zarfında maliyetlerin yayılması, terminal iş hacminin arttırılması ve TEU başına taşıma ücretinin kontrol edilmesinden olumlu olarak etkilenebileceğini belirtmiştir.

Moghadam (2006) rıhtım vinçlerin otomatik sistemlerin uygulamasından dolayı gemiler dönüş sürelerini azaltmanın ekonomik fizibilitesini incelemiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen ekonomik fizibilite ve duyarlılık analizleri, otomatik ekipmanların benimsenmesinden elde edilen faydaların, başlangıçtaki yatırım maliyetini çok fazla aşabileceğini göstermiştir. Rıhtımda otomatik ekipmanların kullanılması nedeniyle terminalin, daha fazla gemiye hizmet verebileceğini ve gemilerin limanda kalış sürelerinin önemli ölçüde azaltabileceğini belirtmiştir.

Vis (2006) bir simülasyon çalışması yoluyla, manuel straddle taşıyıcıların (Straddle Carriers_SC) ve otomatik istif vinçlerinin (Automatic Stacking Cranes_ASC) performansını karşılaştırmışlardır. Doğru bir karşılaştırma elde etmek ve genel sonuçlar çıkarmak için terminalin hem rıhtım hem de terminal kapısı tarafındaki depolama ve geri alma operasyonların gereken toplam seyahat süresi (boş ve tam seyahat mesafeleri, ortalama kaldırma süreleri ve ortalama yeniden karıştırma süreleri) ana performans ölçüsü olarak alınmıştır. Aynı çalışmada, elleçlenecek konteyner sayısını, konteynerlerin istiflere varış stratejilerini ve istifin yerleşimi değiştirilerek bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Konteyner terminali otomatik olup olmayacağına karar verirken yüksek yatırımlar, teknik sınırlamalar gibi ASC'lerin dezavantajlarının, yüksek performans ve verimlilik gibi avantajlarına karşı dikkatle ağırlıklandırılması gerektiği tavsiye edilmiştir.

Saanen (2003) otomatik AGV-RMG ve ALV-RMG terminalinin operasyonel verimliliği arasında simülasyon ve maliyet modellemesi yoluyla bir karşılaştırma sunmuştur. Ayrıca, iki otomatik sistem ile manuel shuttle taşıyıcıları sistemi karşılaştırılmıştır. Otomatik sistem riskinin daha yüksek olmasına rağmen, otomatik alternatiflerin toplam maliyetinin konvansiyonel alternatiften önemli ölçüde daha düşük olduğunu ve hareket başına yaklaşık 3 Euro maliyet farkıyla, 100.000 rıhtım vinçlerinin hareketinden sonra ek yatırımın geri ödeneceğini belirtmiştir.

Liu ve diğ. (2002) dört farklı otomatik konteyner terminali konseptini tasarlayıp değerlendirmiştir. Her bir terminal sistemini aynı operasyonel senaryo için simüle etmek ve performansını değerlendirmek için bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Her bir terminal konseptinin maliyetini değerlendirmek için bir maliyet modeli kullanılmıştır. Sonuçlar, otomasyonun düşük bir maliyetle konvansiyonel terminallerin performansını büyük ölçüde arttırabildiğini ve AGV'ler dayalı sistemin kabul edilen dört konsept arasında performans ve maliyet açısından en etkili olduğunu göstermiştir.

Nam ve Ha (2001) alternatif elleçleme sistemlerini değerlendirmek, özellikle otomatik ve konvansiyonel sistemler, için kavramsal bir model sağlamış ve bunu Kore terminallerine uygulamışlardır. Alternatif elleçleme sistemlerinin değerlendirilmesinin, sistem maliyeti ve verimliliği, işletme hedefi ve terminalin özelliklerine göre yapılması önerilmiştir. Pusan Yeni Liman için yapılan simülasyon çalışmalarına istinaden, konvansiyonel sistemin hem maliyet hem de verimlilik açısından otomatik sistemden daha iyi olduğu belirtilmiştir. Bu da Kore'de nispeten daha düşük işçilik maliyetleri olduğundan dolayı kanıtlanmıştır.

Khoshnevis ve Asef-Vaziri (2000) otomatik depolama ve geri alma sistemlerinin (Automated Storage and Retrieval Systems AS/RS) konteyner terminalinin operasyonları üzerindeki etkisini analiz etmek için araştırma yapmayı amaçlamışlardır. Önerilen toplam sistemin verimliliğini ölçmek ve mevcut uygulamalarla karşılaştırmak için bir 3D simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu karşılaştırma için üç performans değişkeni tanımlanmıştır, Bunlar; (1) verimlilik, (2) alan kullanımı ve (3) konteyner yatay taşıma ekipmanı kullanımıdır. Tasarım ve analiz çalışmaları sayesinde konteyner terminal otomasyonunun uygulanabilir olduğunu ve terminallerin operasyonları üzerinde önemli bir etkisi olabileceği gösterilmiştir.

Ballis ve diğ. (1997) straddle taşıyıcıları konvansiyonel düşük hacimli bir terminal gelişmiş ASC/AGV alternatifiyle karşılaştırmışlardır. Her iki konfigürasyon için uygun bir düzen tasarlanmış, makul bir hizmet seviyesi benimsenmiş ve gerekli ekipman miktarı bilgisayar simülasyonu kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar, konteyner başına toplam maliyetin ve alan gereksinimlerinin, yatırım sermayesi ve gerekli personeldeki mevcut farklılıklar olsa da iki alternatif arasında önemli fark olmadığını göstermektedir.

Bu çalışmalar özellikle manuel veya konvansiyonel konteyner terminalleri ile otomatik konteyner terminallerini karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Otomatik konteyner terminallerinin performanslarını veya verimliliğini artırmak için birçok çalışma yapılmıştır (Yanga ve diğ., 2018; Luo ve diğ., 2016; Luo ve Wu, 2015; Lau ve Zhao, 2008; Duinkerken ve diğ., 2008; Vis ve Harika, 2004; Grunow ve diğ., 2004).

Sonuç olarak araştırmaların sonuçlarındaki farklılıklar, otomasyonun uygulandığı terminallerin değişen koşullarıyla ilgilidir. Bu nedenle, otomasyona ilişkin karar, terminalin arazi durumu, piyasa durumu, yerel iş gücü maliyetlerinin durumu ve mevcut alternatif elleçleme sistemlerinin değerlendirilmesi gibi terminal özelliklerine büyük ölçüde bağımlıdır. Böylelikle, konteyner terminalleri otomasyona geçebilmesi için ve otomasyonun büyük avantajlarının sağlanabilmesi için detaylı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. KONTEYNER TAŞIMACILIĞI

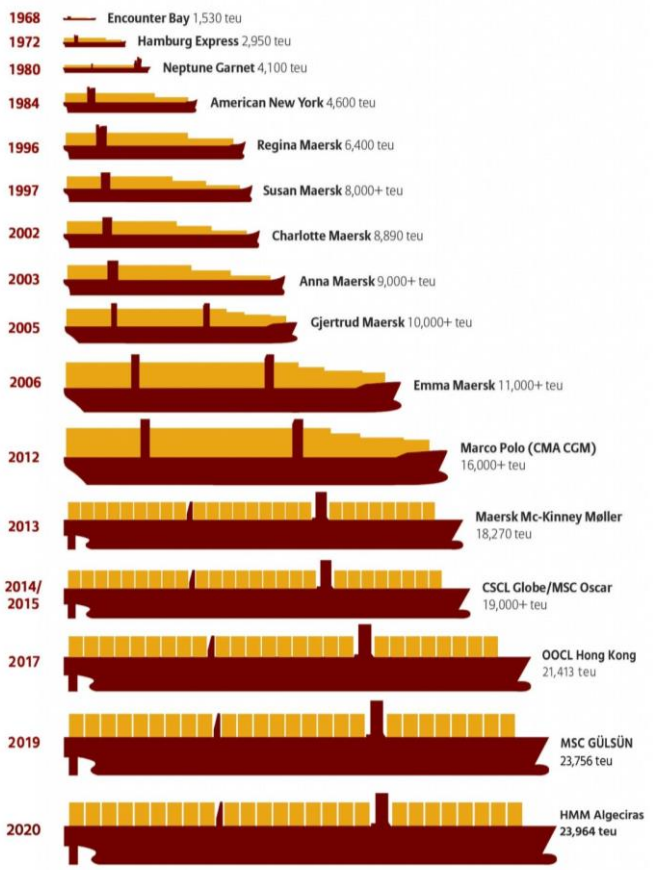
1956'da “Malcolm McLean” adlı taşıma firması Ideal-X gemisinde özel olarak tasarlanmış elli sekiz konteyneri taşımıştır. Bu olay genellikle deniz konteyner taşımacılığı endüstrisinin doğuşu olarak görülmektedir. Askeri ve sivil sektörde daha önce konteynerizasyon denemeleri yapılmış olsa da McLean’ın başarısı, hızlı konteyner taşımacılığı ve elleçleme amacına tamamen uyumlu bir bütün taşıma sisteminin ilk uygulaması sayılmaktadır. Kısa süreden sonra düzenli liner hizmetleri kurulmuştur. İlk hizmetler ABD (Amerika Birleşik Devletleri) doğu sahili limanlarını Karayip ve Orta Amerika'daki limanlarla birleştirmiştir. Daha sonra, tüm dünyadaki limanları birbirine bağlayan liner hizmetleri oluşturulmuştur.

Son yirmi yılda malların konteynerizasyonu, küresel ticarette devrim yaratarak malların düşük maliyetli bölgelerde üretilmesine ve dünyadaki çeşitli tüketim bölgelerine uygun bir şekilde kutulanmasına ve gönderilmesine izin vermiştir. Konteynerizasyon, özünde, kullanımında basittir ve dünyadaki terminal altyapısında her yerde bulunulmasına olanak tanıyan birim yük kavramı üzerinde işlev görmektedir. Bugün temel konteyner birimi, 20-ft eşdeğer birim (TEU_ Twenty-foot Equivalent Unit) olarak da adlandırılan 20′ × 8′ × 8′6″ (uzunluk × genişlik × yükseklik) boyutundadır. 40-ft eşdeğer birim (FEU_ Forty-foot Equivalent Unit) olarak da bilinen 40-ft uzunluktaki konteynerler, günümüzde en sık kullanılan konteyner boyutu haline gelmiştir. Kargo hacmi ve gemi kapasitesi genellikle TEU'larda ölçülmektedir. Çok çeşitli konteyner türleri, nakliyecilerin sadece genel kargo değil aynı zamanda sıvı, dökme, dondurulmuş ve diğer mal türleri için konteyner taşımacılığını kullanmalarını sağlamaktadır.

Standart boyutlu konteynerler verimli bir şekilde istiflenebilmekte ve denizyolu, karayolu ve demiryolu taşımacılığı arasında sorunsuz bir şekilde hareket ettirilebilmektedir. Gemiler, trenler (vagonlar), karayolu kamyonları ve vinçler tek bir boyuta göre tasarlanabilmektedir. Yük taşımacılığı için standart boyutlu konteynerlerin kullanımının, gemilerin elleçleme süresini önemli ölçüde azaltabildiği ve ihtiyaç duyulan işçilik miktarını azaltabildiği kanıtlanmıştır.

Genel kargo sektöründe konteynerizasyon önemli ölçüde büyümüştür. Bu büyümenin yanı sıra dünyadaki konteyner gemisi filosu hem gemi sayısı hem de gemi büyüklüğü açısından büyümeye devam etmektedir (Şekil 2.1). 2013 yılında dünyanın en büyük konteyner gemisi

Maersk EEE, 18.340 TEU kapasiteye sahipken bugün HMM Algeciras 23.964 TEU kapasiteye sahiptir. Şekil 2.2, HMM Algeciras konteyner gemisini göstermektedir.

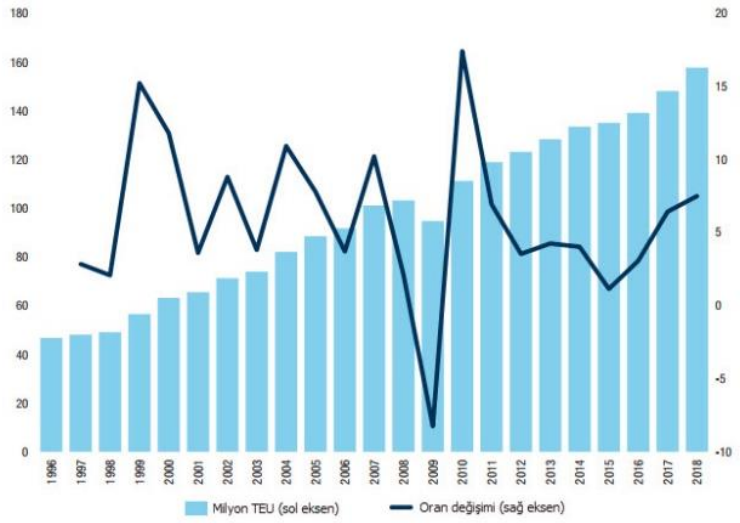


Şekil 2.1: Konteyner gemilerinin gelişimi.



Şekil 2.2: HMM Algeciras gemisi.

Rakamsal olarak konteyner piyasası koşulları 2017 yılında iyileşmiştir ve tüm güzergahlarda hacimlerde güçlü bir büyüme kaydedilmiştir. Dünya konteyner taşımacılığının hacimleri, 2017 yılında, 2011 yılından bu yana en yüksek oranla yüzde 6,4'lük güçlü bir artış göstermiştir (148 milyon TEU'ya ulaşmıştır) (UNCTAD, 2018). Şekil 2.3, 1996 ile 2018 arasındaki global konteynerizasyon ticaretini göstermektedir.



Şekil 2.3: Küresel konteynerizasyon ticareti, 1996–2018 (UNCTAD, 2018).

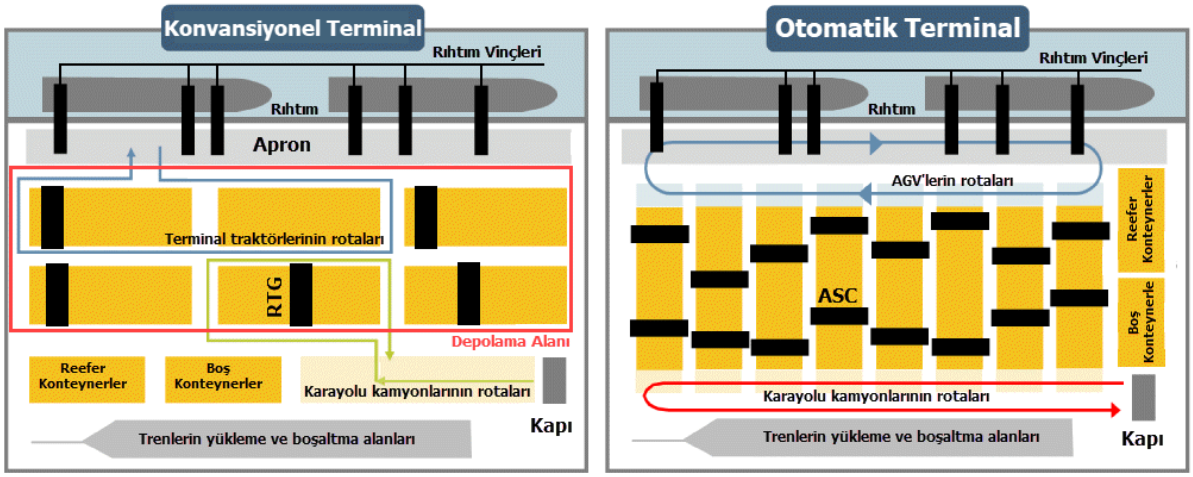
2.2. KONTEYNER TERMİNALLERİ

Konteyner terminallerinde, konteyner taşıma modları değiştirilmektedir (konteynerler karayolu kamyonları, trenler ve gemiler arasında aktarılmaktadır). Konteyner terminalleri, konteyner taşıma modlarını birbirine bağlamakta, taşıma ağını genişletmekte ve konteynerlerin uygun taşıma şekliyle varış yerlerine ulaşmasını sağlamaktadır.

Konteyner terminali, konteyner taşımacılığında temel olarak konteyner gemilerine hizmet vermektedir. Konteyner terminallerinde konteyner gemileri yüklenmekte, boşaltılmakta ve konteynerler bir sonraki taşıma moduna (demiryolu, karayolu veya denizyolu) aktarmadan önce geçici olarak depolanmaktadır. Konteyner Terminallerinde aynı zamanda konteynerlerin bakımı ve içindeki yükün boşaltılması, yüklenmesi ve depolanması gerçekleştirilmektedir.

Konteyner terminali karmaşık bir sistemdir. Konteyner terminali yerleşimi, gemilerin yükleme ve boşaltma işlemleri sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilecek şekilde tasarlanmalıdır. Konteyner terminali konfigürasyonları şekil 2.4'te gösterilmiştir. Konteyner terminali üç bölüme ayırılmaktadır; deniz kenarı, depolama alanı ve kara kenarıdır. Deniz kenarı, rıhtım, rıhtım vinçleri (Quay Cranes_QC) ve apron adı verilen rıhtım ile depolama alanı arasındaki manevra alanından oluşmaktadır. Apron, araçlar için park yerleri ve sürüş şeritleri için alan sağlamak için gereklidir. Rıhtım, gemilerin yüklenmesi veya boşaltılması için demirlendiği birkaç yerden oluşmaktadır. Depolama alanı, konteynerlerin geçici olarak istiflendiği birçok depolama bloğundan (veya istifinden) oluşmaktadır. Depolama blokları, konteyner yatay taşıma araçları

ve karayolu kamyonlarının hareketlerini sağlayan şeritleri ile ayrılmaktadır. Terminalin kara kenarı, terminali hinterlant bölgeye bağlamaktadır.



Şekil 2.4: Konteyner terminalleri konfigürasyonları (N. Theo ve diğ., 2020).

Yüksek taşıma kapasitesine sahip gemilerin hızlı ve verimli bir şekilde elleçlenmesi ve terminallerde kalma/bekleme sürelerinin en aza indirilmesi, denizcilik endüstrisindeki en önemli itici güçlerden biri olmaya devam etmektedir. Dolayısıyla konteyner terminalleri, artan kargo hacimleri ile büyük konteyner gemilerinin getirdiği baskıları karşılamak için sürekli olarak gelişmeli ve yüksek verimlilik ile çalışmalıdır.

Limanların kapasitelerinin artması için iki seçenek bulunmaktadır. Bunlar; limanların mevcut kapasitesi üzerinden verimliliklerini arttırmaları veya yeni fiziki yatırımlar yapmalarıdır. Fiziki yatırımlar, yeni rıhtımlar ve geri sahalar ekleyerek fiziksel koşullarının geliştirilmesini ve yeni ekipman alma yoluyla liman elleçleme kapasitesinin arttırılmasını içermektedir.

2.2.1. Konteyner Terminalinin Süreçleri

Terminal süreçleri iş süreçleri (Business Processes) ve konteyner elleçleme süreçleri (Container Handling Processes) iki gruba ayırılmaktadır. İş süreçleri, konteyner terminalinde gerçekleşen organizasyon ve yönetim ile ilgilidir. Konteyner elleçleme süreçleri ise terminalin müşterilerine sunduğu hizmetlerdir.

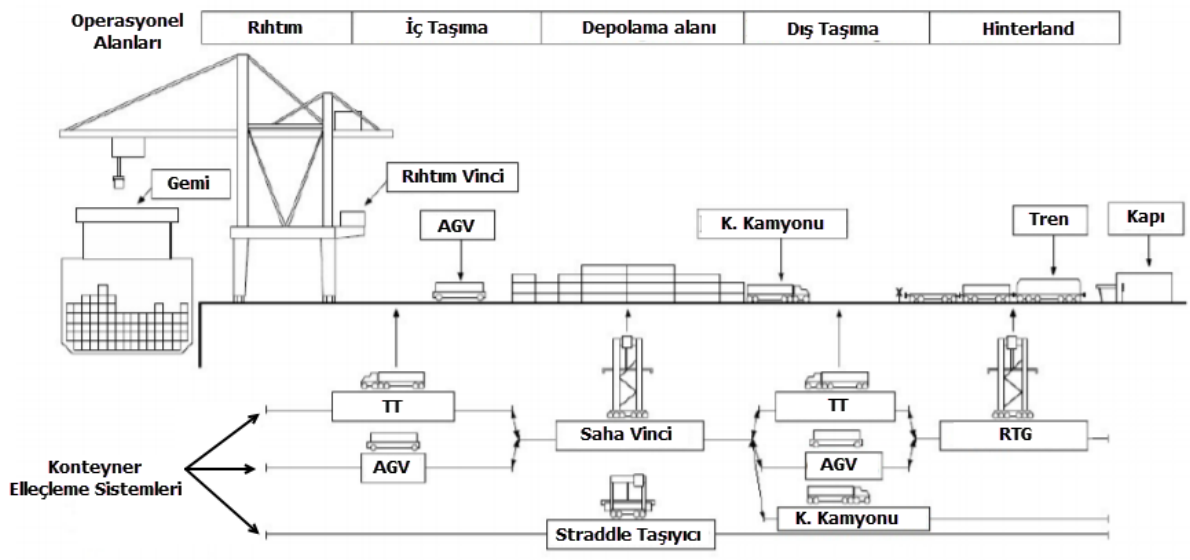
2.2.1.1. İş Süreçleri

İş süreçleri konteyner terminalinde konteyner elleçleme süreçlerini desteklemektedir. Müşterilerle bağlantı kurmak, müşterileri ücretlendirmek, liman düzenlemelerine uygunluğu

kontrol etmek ve konteyner elleçleme ekipmanlarının bakımı iş süreçlerinin örnekleridir. Konteyner elleçleme operasyonlarının planlanmasıyla konteyner elleçleme süreçleri ve iş süreçleri arasında bir bağlantı sağlanmaktadır. Konteynerler terminalden ayrıldığında konteyner elleçleme süreçleri iş süreçlerine görevin yerine getirildiğini ve müşterinin ücretlendirilebileceğini bilmesini sağlamaktadır. Konteyner terminali, gemiye, trene veya karayolu kamyonlarına servis vermek için yeni talep aldığında bu talep konteyner elleçleme sürecine iletilmektedir. Konteyner elleçleme süreci daha sonra bu yeni talebi programlayıp gerçekleştirmektedir.

2.2.1.2. Konteyner Elleçleme Süreçleri

Gemilerin terminallerde kalma süreleri değersiz faaliyetler olarak kabul edilip bu süreler en aza indirilmeli ve terminal operasyonları verimli bir şekilde düzenlenmelidir. Konteyner terminallerinde elleçlenen konteynerler ithalat, ihracat ve transit olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. İthalat konteynerleri denizyolu ile gelmekte ve terminali karayolu taşıma modu (karayolu veya tren) aracılığıyla terk etmektedir. İhracat konteynerleri kara tarafından gelmekte ve gemi ile terminalden ayrılmaktadır. Deniz kenarından gelen ve çıkan konteynerlere transit konteynerleri denmektedir. Şekil 2.5, tipik bir konteyner terminalindeki boşaltma ve yükleme sürecini ve kullanılan alternatif elleçleme ekipmanlarını göstermektedir. Bu yükleme ve boşaltma işlemi aşağıda açıklanan farklı alt işlemlere ayrılabilmektedir.

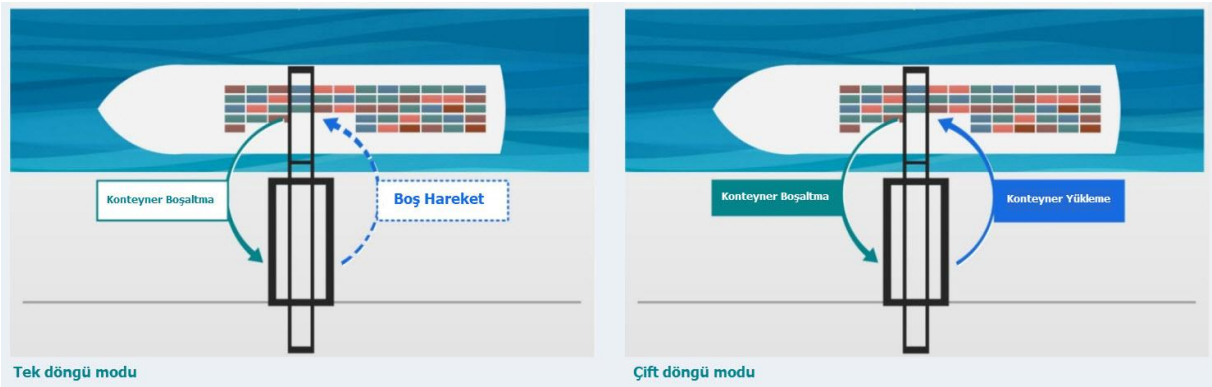


Şekil 2.5: Konteyner terminalindeki boşaltma ve yükleme süreci (Gharehgozli, 2013).

Bir gemi limana ulaştığında, rıhtım vinçleri (QC'ler) ithalat konteynerlerini geminin ambarından ve güvertesinden boşaltmaktadır. Daha sonra, konteynerler rıhtım ve depolama sahası arasında seyahat eden yatay taşıma araçlarına aktarılmaktadır. Depolama sahası, konteynerlerin belirli bir süre saklanabileceği birkaç bloktan oluşmaktadır. Vinçler veya straddle taşıyıcılar (SC) gibi ekipman bloklara hizmet etmektedir. Belli bir süre sonra konteynerler bloklardan vinçlerle alınarak yatay taşıma araçları ile gemiler, karayolu kamyonları veya trenler gibi taşıma modlarına taşınmaktadır. İhracat konteynerlerini bir gemiye yüklemek için bu işlemler de ters sırada gerçekleştirilmektedir. Yükleme işlemi genel olarak boşaltma işlemi bittikten sonra gerçekleşmektedir. Transit konteynerleri, konteyner terminalinin yardımıyla başlangıç gemiden başka bir varış gemiye aktarılmaktadır. Böylece konteyner terminali iki konteyner gemisi arasında bir tampon (yer ve zaman açısından) görevi görmektedir.

- **Rıhtım Operasyonu (Berth Operation) :**

Konteyner terminallerine gelen her gemiye bir rıhtım ayarlanmaktadır. Konteynerlerin yükleme ve boşaltma işlemleri rıhtım vinçleri (Quay Cranes_QC) tarafından gerçekleştirilmektedir. Gemilerin boyutlarına göre konteynerleri gemiden boşaltmak için her bir gemiye aynı anda altı rıhtım vincine kadar atanabilmektedir. Bazı küçük terminaller, daha esnek ancak daha düşük performansa sahip yükleme/boşaltma işlemleri için mobil vinçleri kullanmaktadır.



Şekil 2.6: Rıhtım vinçlerinin çalışma prensipleri

Genel olarak, rıhtım vinçleri ilk önce ihracat konteynerlerini yüklemeden önce tahsis edilen tüm ithalat konteynerlerini boşaltmaktadır (tek döngü modu operasyonu). Böylece tek-döngü modunda gerçekleştirilen QC hareketlerinin yaklaşık yarısı boş hareketlerdir. Çift döngü operasyonları, boşaltma ve yükleme operasyonlarını birleştirerek boş QC hareketlerinin miktarını azaltmaktadır. QC'nin çalışma prensipleri şekil 2.6'da sunulmuştur.

- **Konteyner Yatay Taşıma Operasyonu (Horizontal Container Transport Operation) :**

Konteyner yatay taşıma operasyonu rıhtım ve istifleme sahası arasındaki konteyner harekeleri olarak tanımlanabilmektedir. Taşıma süreci tipik olarak, rıhtım ve saha operasyonların tıkanıklıklardan kaçınacak şekilde tasarlanmalıdır. Çalışma modelleri, birleştirilmiş veya ayrılmış çözümler olarak sınıflandırılabilmektedir. Birleştirilmiş çözümler, QC'nin altında veya geri erişim (backreach) alanında olan konteyner yatay taşıma ekipmanlarına dayanmakta ve QC'nin altında konteynerin üzerine yerleştirilmesini beklemektedir. Birleştirilmiş sistemlere örnek olarak terminal traktörleri (TT) ve otomatik terminal traktörleri (AGV) verilebilmektedir. Bu tür ekipmanları her ikisi de rıhtım vincinin yakınında konteynerleri beklemek zorundadır. Tüm operasyon için bir darboğaz oluşturmaktan kaçınmak için, birleştirilmiş çözümler bu nedenle nispeten büyük bir araç filosu gerektirmektedir. Aksine, ayrılmış çözümler daha fazla esneklik sağlamaktadır. Çünkü konteynerlerin shuttle veya straddle taşıyıcılarının aracığıyla alınması için yere yerleştirilebilmektedir. Bu şekilde rıhtım vinci gerektiğinde geri erişim alanında bir ara tampon oluşturabilmektedir.

- **Depolama Sahası Operasyonu (Storage Yard Operation) :**

Depolama sahası, konteynerlerin ara depolanması için kullanılmaktadır. İhracat, ithalat veya transit konteynerleri nihai varış yerlerine gönderilmeden önce geçici olarak depolama alanında depolanmaktadır. Çoğu konteyner terminallerinde konteynerler, depolama blokları içinde birbiri üzerine istiflenmektedir. Depolama sahasındaki ana işlemler, taşıma araçlarının yüklenmesi ve boşaltılması, konteynerlerin istiflenmesi ve konteynerlerin geri alınmasıdır. Ek olarak, düşük bir iş yükü durumunda bir istifteki konteynerler yeniden sıralanabilmektedir, örneğin istifin belirli bir konteyner alma sırası için hazırlanmasıdır. Bu işleme temizlik (Housekeeping), yeniden yapılanma (Reorganization) veya yeniden sıralama (Marshaling) denmektedir. Konteynerlerin geri alma sırası, nakliye şirketleri tarafından ilan edilen kısıtlamaların karşılandığından emin olmak için konteynerlerin belirli bir sırayla gemiye yüklenmesi gerektiğinden meydana gelmektedir. Bununla birlikte, yeniden sıralama işlemlerinin bir terminalde yapılırsa da bazı durumlarda istifin alt katlarda (tier) bulunan konteyner istenebilmektedir. Bu durumlarda, istenen konteynerin üstündeki konteynerler blok içinde yeniden konumlandırılmalıdır, Buna, yeniden tutma/karıştırma (Rehandles/reshuffles) denmektedir. Verimsiz oldukları ve istenen konteynerin geri alınmasını yavaşlattıkları için bu hareketlerden kaçınılmalıdır. Bununla birlikte, özellikle karayolu kamyonları tarafından

toplanan ithalat konteynerlerinin tam alındığı tarihte mevcut veri eksikliği nedeniyle yeniden karıştırma işlemleri tamamen önlenmek mümkün değildir.

Depolama sahası operasyonları, boş konteynerleri yönetmeyi içermektedir. Boş konteynerler için ayrı alanlar kullanılmaktadır. Bazı terminaller, konteynerleri doldurmak / boşaltmak veya ek lojistik hizmetleri sunmak için konteyner yük istasyonları (CFS_Container Freight Station) kullanmaktadır. Soğutma için elektrik beslemesine ihtiyaç duyan reefer konteynerler veya tehlikeli maddeler depolamak için özel istif alanları ayrılmaktadır. Depolama sahasında farklı elleçleme ekipmanları kullanılabilmektedir. Lastik tekerlekli istif vinci (RTG), raylı istif vinci (RMG), otomatik istifleme vinci (ASC) ve straddle taşıyıcıları (SC) en yaygın tiplerdir.

- **Kapı Operasyonu (Gate Operation) :**

Trenler ve karayolu kamyonları, gemiler ile gelen ithalat konteynerlerini almak ya da ihracat konteynerlerini teslim etmek için terminalin kapısına gelmektedirler. Kapı operasyonu sırasında karayolu kamyonları ve konteynerlerin tüm belgelerinin (Örneğin; içerik, varış yeri, giden gemi, nakliye hattı) hazır olup olmadığı ve hasar olup olmadığı kontrol edilmektedir. Aynı zamanda, sürücüler ihracat / ithalat konteynerlerinin depolama yeri hakkında bilgilendirilmektedir.

2.2.2. Konteyner Elleçleme Ekipmanları

Konteyner terminallerinin başarılı planlanması ve işletilmesi kolay bir görev değildir. Konteyner terminalleri operasyonel maliyetleri azaltmak ve aynı zamanda hizmet seviyesini ve operasyonel verimliliği arttırmak için her zaman baskı altındadır. Elleçleme sisteminin seçimi normalde, gerekli depolama kapasitesi, işçilik maliyetleri, terminalin şekli, arazi sınırlamaları ve operasyonlar boyutu gibi çeşitli kriterlere bağlıdır. Böylece, konteyner terminalleri kullanılan taşıma ve elleçleme ekipmanları türüne göre büyük farklılıklar göstermektedir. Örneğin; Kuzey Amerika'da, konteynerleri istiflemek için geniş bir alan mevcuttur. Ancak Asya ülkelerinde konteyner terminalinin iş hacmini artırmaya çalışırken mevcut konteyner istifleme alanı genellikle bir darboğazdır. Bu nedenle Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinde kullanılan istifleme ekipmanları daha düşük yükseklikte istiflere bağlanmıştır (straddle taşıyıcıları, multiload terminal traktörü), öte yandan Asya ülkelerinde konteynerler daha yüksek istiflerde istiflenmektedir (raylı istif vinçleri, tekerlekli istif vinçleri). Farklı istifleme ekipmanlarının taşıma özellikleri birbirinden farklı olduğu için operasyonel kuralların özellikleri de farklıdır.

Bu bölümde konteyner elleçleme süreçlerinde kullanılan ekipman türleri listelenmiştir. Çeşitli ekipmanların genel özellikleri ve üretiminde son gelişmeler aşağıda değerlendirilmiştir.

2.2.2.1. Rıhtım Vinçleri (Quay Cranes_QC)

Rıhtım vinçleri gemileri yüklemek ve boşaltmak için kullanılmaktadır. Gemiyi boşaltırken konteynerler operasyon türüne bağlı olarak terminal traktörüne veya doğrudan yere yerleştirilmektedir. Bir konteynerin yükleme veya boşaltma işlemine "*hareket/Periyot"* denir. Rıhtım vincinin taşıma kapasitesi vincin saatte yapabileceği hareket sayısı olarak belirlenmektedir. QC'ler teknik olarak 50-60 konteyner/saat taşımaktadır. Ancak, QC'lerin gerçek performansı daha çok düşüktür (yaklaşık 30 konteyner/saat). Rıhtım vinçlerinin performansı doğal olarak konteyner terminalinin verimliliğini değerlendirmek için en önemli endekslerden/performans göstergelerinden biridir. Şekil 2.7, rıhtım vinci tipik tasarımını göstermektedir.



Şekil 2.7: Tipik rıhtım vinci

Rıhtım vinçleri, rıhtım boyunca hareket etmesini sağlayan raylar üzerine monte edilmektedir. Ray aralığı, yani raylar arasındaki mesafe çok değişebilmekte, ancak en yaygın ray aralığı 30,5 metredir. QC'lerin boyutları çok çeşitli olmakla birlikte, bu boyutların rıhtıma yanaşması hedeflenen gemilerin boyutları ile de orantılı olmalıdır. Günümüzde en büyük vinçler 24 sıra konteyner kapsamına sahiptir. Genel olarak QC boyutları tarif edilirken yerden yüksekliği, kıyıdan gemiye doğru trolleyin uzanabildiği en uzak mesafe (outreach) ve trolleyin kıyıdan içeriye doğru uzanabildiği en uzak mesafe (backreach) olarak tanımlanmaktadır. QC'nin "outreach"i rıhtıma yanaşacak gemi boyutları ile alakalı ise "backreach"i de terminalde kullanılan taşıma ekipmanlarının türü ve operasyon stratejisi ile doğrudan alakalıdır. QC'lerin kıyıya dik hareket eden kısmına "trolley", yukarı-aşağı doğrultuda hareket eden kısmına "hoist", değişik ebatlardaki konteynerleri kavramak için genişleyip daralabilen kısmına ise "spreader" adı verilmektedir. Tipik QC'lerde birer tane trolley, hoist ve spreader

bulunmaktadır. Tablo 2.1, Liebherr firması tarafından üretilen rıhtım vinçlerinin temel teknik özelliklerini göstermektedir.

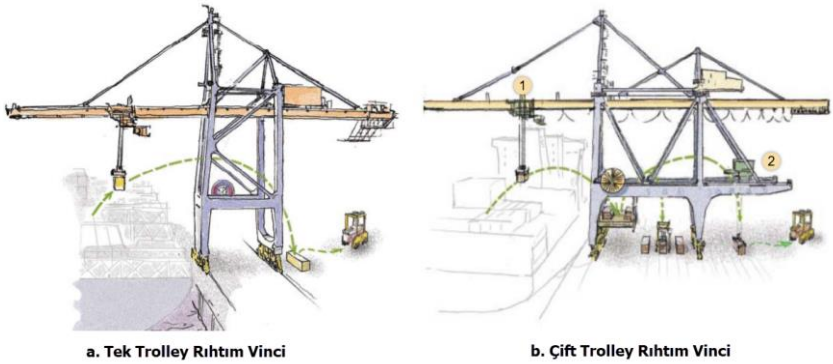
Tablo 2.1: Liebherr rıhtım vinçlerinin teknik özellikleri

	Panamax	**Post Panamax**	**Super Post Panamax**	**Megamax**	**Widespan Stacking Cranes**
Outreach	38 m	45 m	53 m	≥ 53 m	30 – 40 m
Konteyner Erişimi	13 TEU	16 TEU	19 TEU	+ 20 TEU	+ 13 TEU
Kaldırma yüksekliği	30 m	35 m	40 m	+ 40 m	20 – 25 m
Güvenli çalışma yükü	65 t	65 t	100 t	100 t	65 t
Kaldırma hızı (m/dk.)	50 – 125	60 – 150	70 – 175	90 – 180	50 – 125
Trolley hızı (m/dk.)	150 – 180	180 – 210	210 – 240	210 – 240	180
Seyahat hızı (m/dk.)	45	45	45	45	100 – 140

QC'lerin verimliliğini artırmak için çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. QC'ler birim zaman başına hareket sayısını veya büyük gemilere hizmet verirken hareket başına konteyner sayısını artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Özet olarak, QC'lerde yapılan çeşitli iyileştirmeler aşağıdaki hedeflere odaklanmıştır:

- Döngü süresini azaltmak için QC'nin hareketini birden fazla segmente bölmek,
- Verimlilik oranlarını artırmak için QC'lere çoklu kaldırma kabiliyetinin uygulanması,
- Rıhtım başına QC verimlilik oranını artırmak için daha fazla QC'ler kullanılmaktır.

Böylece, bazı QC'ler iki trolley ile donatılmıştır. Bir trolley gemiye, diğer trolley yatay taşıma araçlarına hizmet etmektedir. Konteynerler vincin destekleri arasındaki bir platformda bir trolley'den diğerine teslim edilmektedir. Kara taraftaki trolley otomatize edilirken, rıhtım taraftaki trolley için bir operatöre ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sayede QC'nin tek trolley ile yaptığı işi iki trolleye bölmek suretiyle trolleyin boş olarak geçirdiği zaman azaltılmış olmaktadır. Bu şekilde saatte 45 ila 70 hareket yapılması mümkündür. Ayrıca ekipman sayısını artırmadan konteyner elleçleme kapasitesi artırılabilmektedir. Bu Çift trolley QC'ler Hamburg'daki Konteyner Terminali Altenwerder'de uygulanmıştır.



Şekil 2.8: Tek ve çift trolley rıhtım vinçleri.

Aynı şekilde geliştirilen çift spreader sistemi sayesinde trolleyin her hareketinde ikişer konteyner kaldırması hedeflenmiştir, böylece trolleyin dolu olarak hareket ederken elleçleme miktarı iki katına çıkartılarak boş olarak geri dönüşünde harcadığı zaman telafi edilmeye çalışılmıştır. Konteyner terminallerinde elleçlenen konteyner miktarının artması nedeniyle çift spreaderlerin de yetersiz kalmakta olup aynı anda dört adet 20'lik ya da iki adet 40'lık konteyneri elleçleyebilen çoklu (tandem) spreaderlerin geliştirilmesini sağlanmıştır. Son olarak artan liman tıkanıklığı sorununu hafifletmeyi amaçlayan devrim niteliğinde "BLOK-BEAM" olarak adlandırılan yeni bir spreader sistemi Şangay Terminali'nde uygulanmıştır. "BLOK-BEAM" sistemi mevcut liman altyapısı kullanılarak altı 20'lik ya da 3 adet 40'lık konteynerin tek bir blok halinde kaldırılıp taşınmasını sağlamaktadır.



Çift Spreader | Tandem Spreader | Block-Beam Spreader

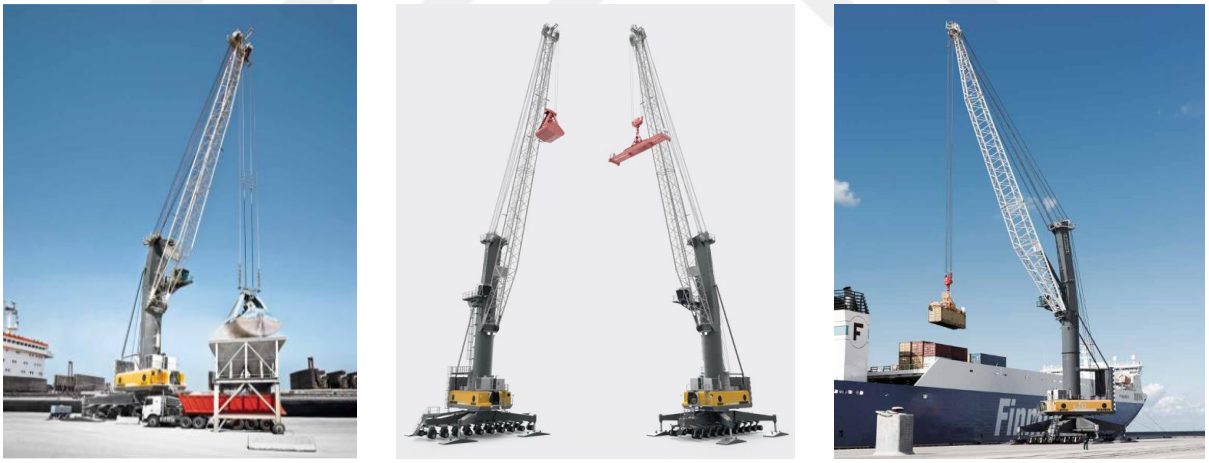
Şekil 2.9: Rıhtım vinçlerinin spreader çeşitleri

Rıhtım vinçleri konteyner terminalinin verimliliğinde sınırlayıcı faktör haline gelebilmekten dolayı rıhtım vinçleri otomasyonu dikkate alınmıştır. Rıhtım vinçleri operasyonuna otomasyon eklendiğinde, vinçler uzaktan çalıştırılabilmekte ve sürücü kabinine ihtiyaç duyulmamaktadır. Otomasyonda, vinç döngü süresinin çoğu robotik olarak gerçekleşmekte ve vinç operatörünün ana görevi, uzaktan süreci denetlemek ve yalnızca gerektiğinde harekete geçmektir. Vinç sürücü bulunmaması, rıhtım vincinin daha hızlı çalışması ve döngü süresinin kısalması

olasılığını açmaktadır. Bir kontrol odasında bulunan operatörler, vinç hareketini yerleşik kameralar ve uzaktan kumanda istasyonu aracılığıyla denetlemektedir. Bu, kabin ve hedef arasındaki fiziksel mesafe nedeniyle görüşün sınırlı olduğunda daha uzun QC'lerde çok yararlıdır. Uzaktan vinç işletimi, insanların büyük makinelerden ve tehlikeli ve zorlu çalışma ortamlarından ergonomik bir kontrol odasına ayrılmasını sağlamaktadır. Bunula birlikte bir kontrol masasından birkaç vinci çalıştırabilmektedir. Buna rağmen, rıhtım vinçlerinin otomasyonu, terminalin başka yerlerinde kullanılan vinçlere kıyasla daha az gelişmiş bir durumdadır. Çünkü çalışma ortamı daha fazla zorluk oluşturmaktadır. Bu zorluklara örnek olarak gemilerin hareketleri ve rüzgârın konteyner ve vinç üzerindeki etkisidir.

2.2.2.2. Mobil Liman Vinci (Mobile Harbour Crane_MHC)

Mobil liman vinci (MHC), her türlü kargoyu yüklemek ve boşaltmak için tasarlanmış tekerlekli bir vinçtir. Konteynerleri elleçlemek için bir spreader ile donatıldığında STS (Ship to Shore) rıhtım vinçlerine göre esnek ve nispeten ucuz bir alternatiftir. Mobil vinçlerin en önemli özelliği ise rıhtım/iskelenin her noktasında kullanılabilmesidir. MHC, terminalin herhangi bir yerine gidebilmekte ve on sekiz konteyner genişliğine kadar gemileri elleçleyebilmektedir.



Şekil 2.10: Mobil liman vinci (MHC).

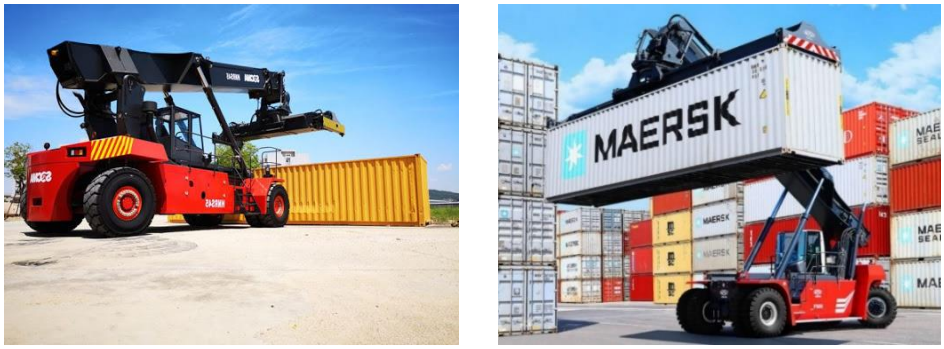
MHC'nin verimliliği STS'ninki kadar yüksek değildir, vincin dönme hareketi gemi ve rıhtım arasında kat edilen mesafeyi artırmakta ve vinçlerin birbirine yakın çalışmasını engellemektedir. En modern vinçler, salınım önleyici sistemlerle donatılmıştır ancak verimlilik, STS vinçlerden çok daha düşüktür. Geniş geri erişimli MHC'ler sayesinde, konteynerleri saha elleçleme ekipmanının erişebileceği yere hemen yerleştirebilmektedir, bu da yatay taşıma sistemi ihtiyacını azaltmaktadır. Tablo 2.2, bir mobil liman vincinin teknik özelliklerini özetmektedir.

Tablo 2.2: Liebherr LHM 550 mobil liman vincinin teknik özellikleri

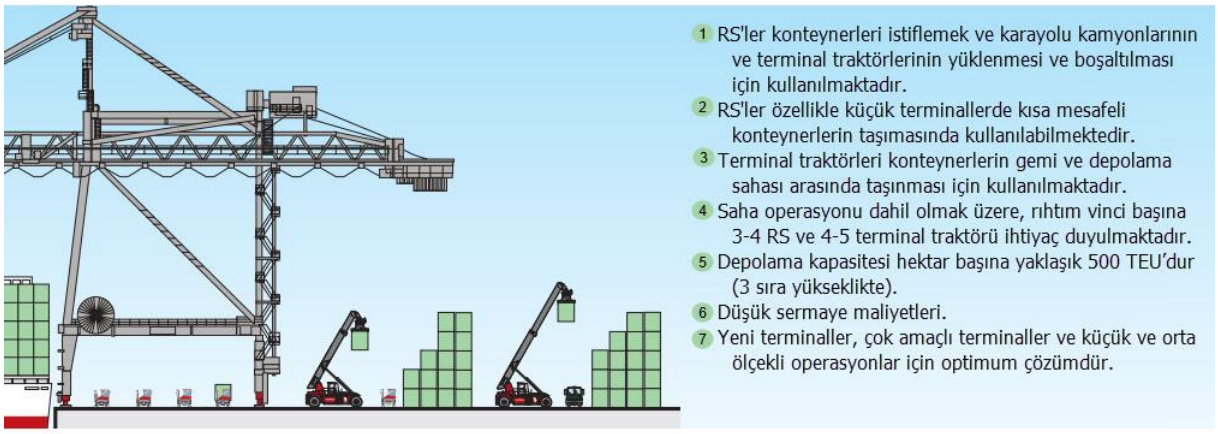
Açıklama	Değer
Kaldırma kapasitesi (maksimum)	154 ton
Maksimum dökme yükleme	90 ton
Yarıçap min.	11.00 m
Jib uzunluğu	54 m
Toplam ağırlık	439 ton
Outreach (maksimum)	18 Konteyner
Maksimum dökme gemi genişliği	62 m
Dökme malzeme taşıma kapasitesi	1.500 ton / saat
Motor gücü	725 kW
Kaldırma/ indirme hızı (maksimum)	120 m / dk.
Maksimum çevirme.	1,60 dev / dk.
Seyahat hızı (maksimum)	5,00 km / h
Hareketlilik	Lastik tekerlekli
Kaldırma yüksekliği (maksimum)	45 m
Uygulama alanları	Dökme taşıma / Konteyner elleçleme / Genel kargo operasyonu / Ağır kaldırma / Hurda elleçleme

2.2.2.3. Reach İstifleyici (Reach Stacker_RS)

Reachstackers (RS) sahadaki herhangi bir konteyner elleçleme işlemi için kullanılabilmektedir. Büyük terminallerde, genellikle başlangıç durumunda kullanılmakta ve daha sonra boş konteynerlerin taşınması için kullanımda kalmaktadır. Konteynerler bu ekipmanla nispeten yüksek istiflenebilir ancak oldukça fazla çalışma alanı gerektirmektedir. Reachstackers kullanarak hektar başına 500 TEU'ya kadar depolama yoğunluğu elde edilebilmektedir. RS'lerin ikinci sıra erişimi nedeniyle konteyner blokları 4 sıra yan yana istiflenebilmektedir (şekil 2.12). Küçük, orta büyüklükteki ve çok amaçlı terminallerde RS'ler çalışmadaki çok değişkenliği nedeniyle genellikle en iyi seçimdir.



Şekil 2.11: Reachstacker.



Şekil 2.12: Reachstacker sistemin özellikleri.

2.2.2.4. Straddle Taşıyıcıları (Straddle Carriers_SC)

Straddle taşıyıcıları tipik olarak orta ve büyük konteyner terminallerinde kullanılmaktadır. Straddle taşıyıcıları hem istifleme hem de konteyner yatay taşımak için kullanılmaktadır. SC'ler dört sıra yüksekliğinde (3+1) istifleme kapasitesine sahiptir. SC'ler konteynerlerin karayolu kamyonlarına veya terminal traktörlerine yüklenmesine ve boşaltılmasına ek olarak konteyner depolama sahasının düzenlenmesini de gerçekleştirebilmektedirler.

SC'ler konteynerlerin yerden kaldırabildiğinden dolayı rıhtım vinçleri operasyonlarının ve taşıma operasyonlarının ayrılmasını sağlamakta ve diğer taşıma ekipmanlarının yaklaşık yarısıyla rıhtım vinçlerine hizmet edebilmektedir. Böylece, rıhtım vincinin beklemesini önlemekte ve saat başına hareket bakımından vinç verimliliğinin artmasına neden olmaktadır. SC sistemi değişiklikler için esnektir, straddle taşıyıcıları operasyonel gereksinimlere göre terminal içinde kolayca hareket ettirilebilmekte ve belli bir rota gerekmediğinden yerleşimlerin değiştirilmesi kolaydır. Şekil 2.14, straddle taşıyıcıları sistemin özelliklerini özetlemektedir.



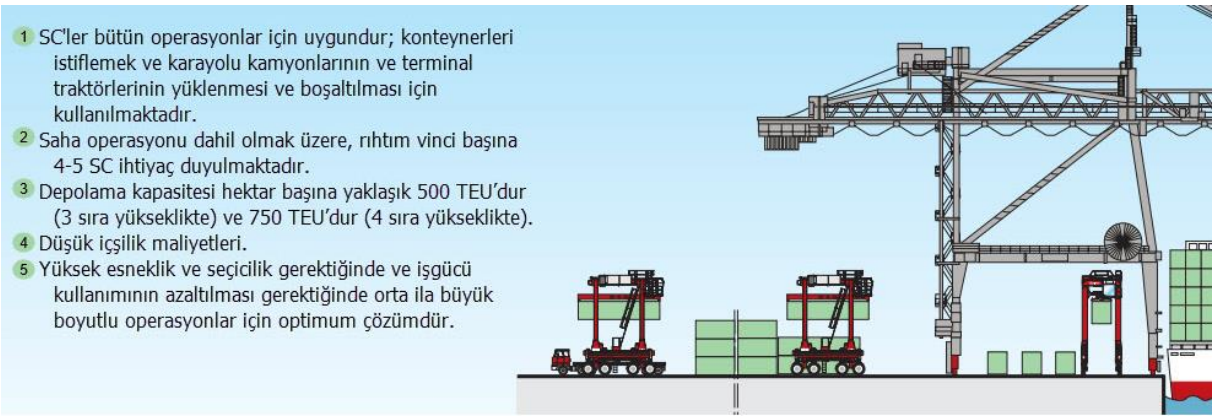
Şekil 2.13: Straddle taşıyıcıları.

Straddle taşıyıcıları, makinenin yan çerçevelerini yerleştirmek için konteyner sıraları arasında boş alana ihtiyaç duymaktadır. Böylelikle arazi kullanımını ve hektar başına terminallin kapasitesi azalmaktadır. SC'ler kullanarak hektar başına 750 TEU'ya kadar depolama yoğunluğu elde edilebilmektedir. Terminal traktörleriyle karşılaştırıldığında SC'ler daha yüksek satın alma, bakım ve işletme maliyetlerine sahiptir. Normalde straddle taşıyıcıları ayrı atölye tesislerine ihtiyaç duymaktadır. Tablo 2.3, straddle taşıyıcılarının teknik özelliklerini sunmaktadır.

Tablo 2.3: Kalmar klasik CSC 450 straddle taşıyıcılarının teknik özelliklerini

Açıklama	Değer
Kaldırma kapasitesi	50 ton
Seyahat hızı	25 km/saat
Kaldırma hızı (yüklü-boş)	24-15 m/dk.
İndirme hızı	18 m/dk.
Hareketlilik	Lastik tekerlekli
Kaldırma yüksekliği	12000 mm
Yerden alma yüksekliği	500 mm
İç net genişlik	3500 mm
Dönüş yarıçapı, içeride	3550 mm
Dönüş yarıçapı, dışarı	9470 mm

Son yıllardır yeni straddle taşıyıcıları versiyonu sunulmuştur (AutoStrads). Otomatik straddle taşıyıcıları sürücüsüz aynı prensipte çalışmaktadır. AutoStrads ile ilgili daha detaylı bir şekilde bölüm 2.3.6'da incelenmiştir.



Şekil 2.14: Straddle taşıyıcıları sistemin özellikleri.

2.2.2.5. Shuttle Taşıyıcıları (Shuttle Carriers _ ShC)

Shuttle taşıyıcısı aslında iki sıra yüksekliğinde istifleme kapasitesine sahip (1+1) daha küçük bir straddle taşıyıcısıdır. Shuttle taşıyıcıları temel olarak rıhtım vinçleri ve ASC'ler arasında konteynerleri taşımak için geliştirilmiştir. Shuttle taşıyıcıları, rıhtım ve saha operasyonlarını

ayırarak terminal verimliliğini iyileştirmektedir. Shuttle taşıyıcılarının konteynerleri yerden alıp yerleştirme yeteneği, konteynerlerin alınabileceği tampon alanlar oluşturmaktadır. Böylelikle her tür ekipman kendi optimum hızında ve en iyi performansta çalışabilmektedir. Tablo 2.4, shuttle taşıyıcılarının teknik özelliklerini göstermektedir.

Tablo 2.4: Kalmar klasik SHS 250 shuttle taşıyıcılarının teknik özelliklerini

Açıklama	Değer
Kaldırma kapasitesi	50 ton
Seyahat hızı	25 km/saat
Kaldırma hızı (yüklü-boş)	20-15 m/dk.
İndirme hızı	18 m/dk.
Hareketlilik	Lastik tekerlekli
Kaldırma yüksekliği	6300 mm
Yerden alma yüksekliği	1735 mm
İç net genişlik	3500 mm
Dönüş yarıçapı, içeride	4450 mm
Dönüş yarıçapı, dışarı	10500 mm

Son yıllarda Otomatik Shuttle Taşıyıcıları (AutoShutles _AShC) yaygın olarak benimsenmiştir. AutoShutles taşıyıcılarının ASC ile birleştirildiklerinde, çok düşük işçilik maliyetlerinde yüksek verimliliği ve depolama kapasitesi sağlamaktadır. ASC ve AShC kombinasyonu en yüksek güvenlik standartlarını ve deniz taşımacılığı yönetmeliklerine uyumu sağlamaktadır. Ancak daha sabit yerleşim, operasyonda daha az esneklik ve daha yüksek yatırım maliyetleri gibi dezavantajları içermektedir.



Şekil 2.15: Shuttle taşıyıcısı.

2.2.2.6. Lastik Tekerlekli İstif Vinci (Rubber Tyred Gantry Crane_ RTG)

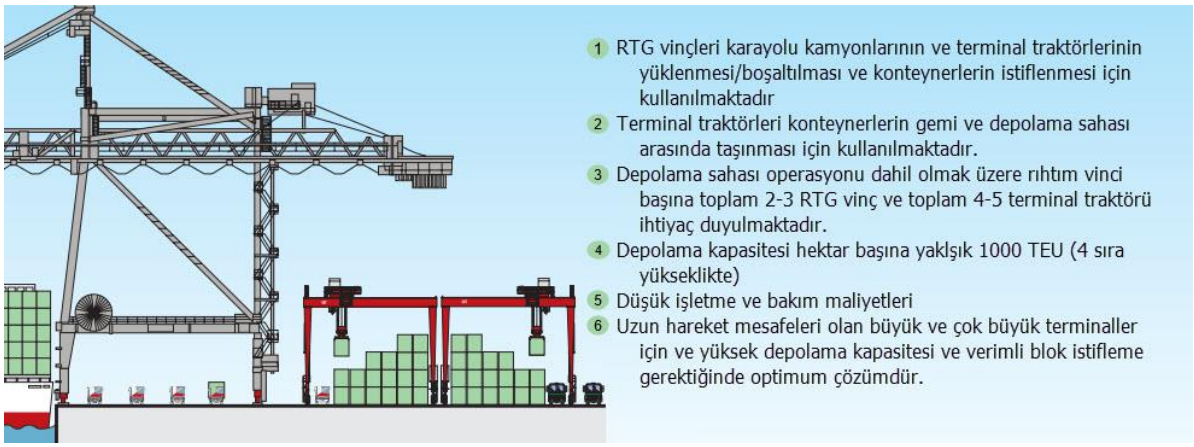
Lastik tekerlekli istif vinçleri (RTG) genellikle büyük ve çok büyük terminallerde kullanılmaktadır. RTG vinçleri, özellikle yüksek kapasiteli istifleme ve iyi manevra kabiliyetinin önemli gereksinimler olduğu terminallerde konteyner istifleme için en popüler ekipman seçimidir. Yaklaşık 8.000 makineden oluşan küresel bir kurulum tabanıyla, dünyadaki

konteyner terminallerinin yaklaşık %60'ı RTG'leri kullanmaktadır. Lastik tekerlekli istif vinci sisteminin operasyonel özelliklerini şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.16: Lastik Tekerlekli İstif Vinci.

Manuel olarak çalıştırılan terminal traktörü (konteyner yatay taşıma aracı) ve manuel RTG vinçlerle donatılmış konteyner terminalleri şu anda dünyanın en yaygın işletim modelidir. RTG vinçleri, yüksek istifleme yoğunluğu ve verimli arazi kullanımı sağlayan 9 + 1 konteyner genişliği, 5+1 konteyner istifleme yüksekliğinde mevcuttur. Bu, hektar başına 1000 TEU'yu aşan yüksek saha yoğunluğuna yol açmaktadır. RTG vinçleri tarafından işletilen terminallerin konteyner depolama blokları, rıhtımdan sahaya nakliye için minimum seyahat mesafesini korumak amacıyla rıhtıma paraleldir. Bu düzende, kara tarafı ve rıhtım tarafı operasyonları net bir şekilde ayrılmamış ve bu da onu otomatize etmek için daha az uygun hale getirmektedir. RTG vinçleri de oldukça esnektir, raya monteli istifleme vinçlerinin (RMG'ler) aksine, başka bir istifte ek elleçleme kapasitesine ihtiyaç duyulursa terminalin farklı bir alanına taşınabilmektedir. Bakım gereksinimleri düşüktür ve normalde RTG vinçleri için özel atölyelere gerek yoktur.



Şekil 2.17: Lastik tekerlekli istif vinci sisteminin operasyonel özellikleri.

Konsept, yüksek kapasite ve operasyonel esneklik sağlamaktadır, ancak dezavantajı terminalin üçüncü taraf karayolu kamyonları sürücülerinin istifleme alanına girmesine izin vermesi gerektiğidir. Manuel terminal traktörlerine ve geleneksel RTG vinçlerine dayanan operasyonel bir model de yüksek işçilik maliyetlerini gerektirmektedir. Ayrıca nispeten yüksek tekerlek yükleri, iyi toprakaltı ve kaplama koşulları gerektirmektedir. Standart bir RTG vincinin teknik özellikleri tablo 2.5'te özetlenmiştir.

Günümüzde manuel olarak lastik tekerlekli istif vinçlerin (RTG'lerin) sürücüye yardımcı olmak için çeşitli otomasyon sistemleri ile donatıldığını da belirtmek gerekmektedir. Bu sistemler arasında otomatik direksiyon, sallanma önleyici, serpme mikro hareketi, çarpışmadan kaçınma, kamyon konumlandırma, otomatik vinç ve trolley konumlandırma ve konteyner konum algılama sistemleri (Position Detection Systems PDS) bulunmaktadır. Bu teknik gelişmeler nihayetinde sürücüsüz RTG'lerin kullanılmasını da sağlamıştır.

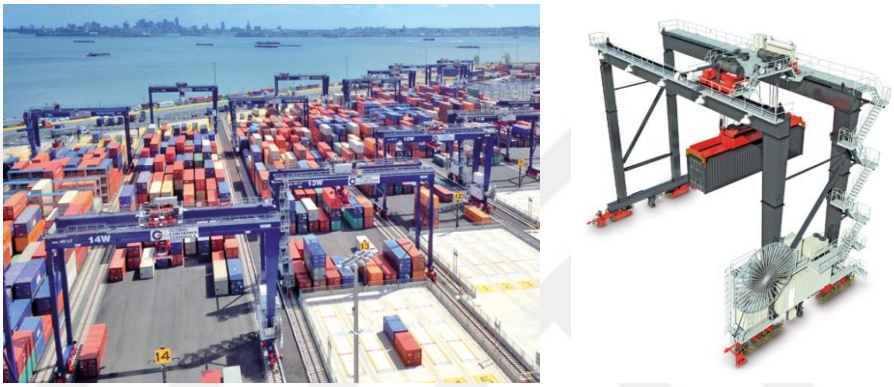
Tablo 2.5: Kalmar klasik RTG vincinin teknik özellikleri

Açıklama	**Değer**
Vinç açıklığı	20 – 30 m (5 – 9 +1) TEU
Kaldırma kapasitesi	41 ton
Kaldırma yüksekliği	21 m (5 + 1) TEU
Seyahat hızı	130 m/dk.
Kaldırma hızı (yüklü-boş)	26-52 m/dk.
Trolley hızı	70 m / dk.
Hareketlilik	Lastik tekerlekli
Brüt verimlilik	20 hareket / saat

2.2.2.7. Raylı İstif Vinci (Rail Mounted Gantry- RMG)

Raylı istif vinçleri (RMG vinçleri) büyük terminaller arasında oldukça popülerdir. RMG vinçleri yüzeysel olarak RTG'lere oldukça benzerdir, her ikisi de konteyner terminallerinde sadece depolama amacıyla kullanılan portal vinç tipleridir. Teknik açıdan bakıldığında, en bariz fark, RTG vinçleri lastik tekerlekli iken RMG vinçlerinin raylar üzerinde hareket etmesidir. RMG vinçleri, tüm terminal için daha az ekipman birimi gerektirecek şekilde, RTG vinçlerinden daha geniş ve daha yüksek konteynerleri istifleyebilmektedir. RMG vinçlerinin blokları rıhtıma paralel veya dik olarak yerleştirilmektedir. Dikey RMG yerleşiminde blokların ön uçlarında konteyner yatay taşıma ekipmanları ve karayolu kamyonları yüklenip boşaltılmaktadır.

RMG vinçleri 4+1 istifleme yüksekliğinde bulunmakta, ancak 6+1 yüksekliğinde vinçler de mevcuttur. Bu, hektar başına 1.200 TEU'yu aşan yüksek saha yoğunluğuna yol açmaktadır. Depolama blokların boyutları terminaller arasında farklılık göstermekte, ancak tipik olarak dikey RMG sistemlerinde blokların 28-48 sıra uzunluğunda ve 6-10 sıra genişliğindedir. RMG vinçleri, vincin kendisi değil, aynı zamanda beton kazık ve raylar için maliyetli altyapı çalışmalarına ihtiyaç duyulduğundan yüksek sermaye maliyetleri ile bağlantılıdır. Raylara sabitlendiği için başka bir bloğa hareket edemeyen RMG vinçleri farklı bloklar arasındaki iş yükü dengesizliklerine esnek bir şekilde tepki verememektedir.



Şekil 2.18: Tipik bir ARMG tasarımı.

Konsol raylı istif vinçleri (CRMGs), başka bir raylı istif vinçleri türüdür (şekil 2.19). CRMG vinçleri rıhtıma paralel olarak yerleştirilmektedir. CRMG vinçleri yerleşimi, RTG sistemine çok benzer olup (çapraz geçiş imkanı bulunmaması dışında) konteyner yatay taşıma ekipmanları ve karayolu kamyonları saha bloklarının yan şeridinde servis edilmektedir. CRMG vinçleri tasarımı, kapasitenin rıhtım ve saha operasyonları arasında daha esnek bir şekilde dağıtılmasını sağlayarak en yüksek verimliliği sağlamaktadır. Ayrıca CRMG vinçleri tasarımı, kargo akışının doğasındaki değişikliklere karşı duyarsızdır. Aktarma ve depolama (ithalat-ihracat) kargo arasındaki denge değişirse, saha vinçleri farklı şekilde uygulanabilmektedir. Buna karşılık, dikey RMG tasarımı, aktarma oranı %65'in altında olan terminallerde daha verimlidir. Bunun ötesinde, saha tarafındaki operasyonlar için tipik olarak yetersiz kalmaktadır. CRMG vinçleri dünya çapında birçok terminallerde ve özellikle düşük işçilik oranları nedeniyle Asya'da yaygındır.



Şekil 2.19: Tipik CARMG vinci.

RMG vinçleri, insansız operasyon için çok uygundur. Otomatikleştirilmiş RMG, genellikle otomatik istif vinci (ASC veya ARMG) olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde ASC terminalleri, otomatik konteyner terminalleri dünyasında standart sistem haline gelmektedir. ASC'ler görev döngüsünün çoğunu insan etkileşimi olmadan yapmakta ve gerektiğinde uzaktan yönlendirilebilmektedir. Bazı terminallerde tam otomatik karayolu kamyonları elleçleme uygulanmış olup ASC'nin çalışma döngüsünün %100'ü otomatize edilmiştir.

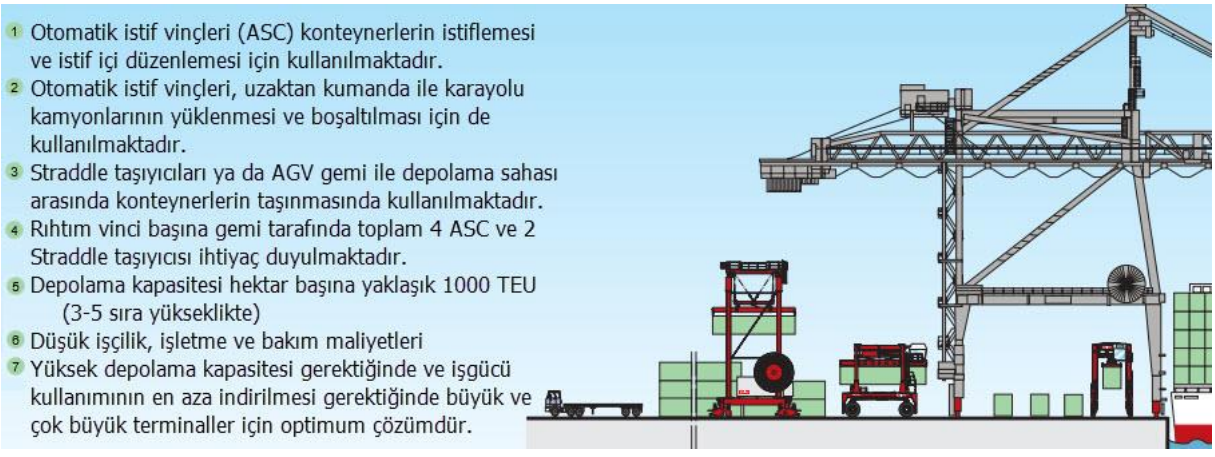
ASC'ler 8 ila 10 konteyner genişliğinde değişmektedir. Daha geniş vinçler daha ağır ve daha pahalı olduğu için ve yoğun yükleme/boşaltma gereksinimlerini karşılamayabilmekte daha dar vinçler daha az yer tasarrufu sağlamakta ve gerektiğinden daha fazla vinç satın alınmasına neden olabilmektedir. ASC tesislerinde 5+1 kadar istifleme yüksekliği endüstri standardı haline gelmiştir. Daha yüksek istifler mümkün olabilmekte, ancak tam olarak istifleme alanları için daha fazla zorluk oluşturabilmektedir. Ayrıca, ithalat konteynerleri yüksek istiflerden geri almakta gecikme ile sonuçlanabilmektedir. Mevcut ASC istif uzunluğu 36-59 slot arasında değişmektedir. Bunlar zorunlu sınırlar olmasa da çok kısa olan istifler pahalı olan ASC'leri zayıflatmakta ve çok uzun olan istifler bunları tam olarak kullanabilmek için konteynerleri yerleştirmek veya çıkarmak için yeterli vinç kapasitesine izin vermeyebilmektedir. Karayolu kamyonları veya terminal traktörleri istiflerin ucundaki tamponlarda (Buffers) yüklenip boşaltılmaktadır. Takas alanlarını açıkça işaretleyerek operasyonların güvenliğini arttırmaktadır. Karayolu kamyonlarının, ASC'lerin tamponunda servis beklenirken motorları kapatabilmektedir; bu da önemli ölçüde azaltılmış kamyon emisyonları ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca, ASC tasarımlarında saha içinde trafik olmadığı için aydınlatma gereksinimleri azaltılmaktadır. ASC sisteminde istifler, yatay taşıma ekipmanlarının hareket mesafelerini en aza indirmek için rıhtıma dik olarak yerleştirilmektedir. Bu sayede rıhtım ve kara taraftaki operasyonları ayrı tutarak terminalin verimliliği artırılmaktadır. Her bir ASC sırasının tipik olarak aynı raylar üzerinde iki ASC çalışmaktadır; biri gemilerden gelen konteynerlerin

istiflemesi, biri de kara tarafından (kapı ve demiryolu) gelen konteynerlerin elleçlemesi içindir. Otomatik istifleme vinçleri kapı, rıhtım ve istifin kendisinde öngörülebilir ve sürdürülebilir bir performans sağlayarak verimliliği ve istifler işgal ettiği alanları optimize etmektedir. Şekil 2.20, otomatik istif vinçleri sisteminin özelliklerini göstermektedir.

Tablo 2.6: RMG teknik özellikleri

	RMG	**CRMG**
Ray açıklığı	11 TEU	20 – 55 m
Konsol outreach	-	18 m
Kaldırma kapasitesi	41 ton	41 – 65 ton
Kaldırma yüksekliği	6 + 1 TEU	6+1 TEU
Seyahat hızı	240 m/dk.	120 m / dk.
Kaldırma hızı (yüklü-boş)	35 – 70 m/dk.	35 – 70 m/dk.
Trolley hızı	60 m / dk.	120 m/dk.
Hareketlilik	Raylı	Raylı
Brüt verimlilik	20 – 25 hareket / saat	20 – 25 hareket / saat

ASC terminallerinde rıhtım vinci başına tipik olarak yaklaşık 3 servis aracı (straddle taşıyıcı veya shuttle taşıyıcı) vardır. Bu, konteyner yatay taşıma için işçilik gereksinimlerinde önemli azalmalar sağlamaktadır. Otomatik istif vinci (ASC) işleminin, toplam yaşam döngüsü maliyetleri göz önüne alındığında uygun maliyetli (Cost-effective) olduğu kanıtlanmıştır. ASC'lerin kesin özellikleri terminalin düzenine ve tasarım kriterlerine bağlıdır. Çalışma hızları istifler düzenine ve vinç boyutlarına bağlıdır.



Şekil 2.20: Otomatik istif vinçleri sisteminin özellikleri.

2.2.2.8. Terminal Traktörleri (Terminal Tractors_TT)

Terminal traktörleri genellikle konteynerleri rıhtım vinçleri ile konteyner istifleme alanı arasında taşımak için kullanılmaktadır. Treyler özel olarak sadece terminal içi kullanım için üretilmiş ve kılavuzlar ile donatılmıştır, bu da konteynerlerin üzerine yerleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Terminal traktörleri (TT) en popüler konteyner yatay taşıma sistemidir.



Şekil 2.21: Terminal traktörü.

Terminal traktörleri, konteynerleri kaldıramadığı için yükleme ve boşaltma işlemleri için vince ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden vinç bekleme süresini önlemek için vinçlerin ve terminal traktörlerinin dikkatli bir şekilde senkronize edilmesini gerektirmektedir. Terminal traktörleri konteyner taşımacılığının teknolojik olarak mütevazı yolunu temsil etmektedir. Bununla birlikte düşük satın alma ve bakım maliyetleri ve bir terminalin iş yüküne ilişkin yüksek esneklik nedeniyle ekonomik olarak çekici olabilmektedir. Ancak sürücüler için işçilik maliyetleri yüksek işletme maliyetlerine yol açmaktadır.

Kapasiteyi ve işçilik verimliliğini artırmak için bir traktörün çoklu römork sistemleri kullanılabilmektedir (multiload terminal traktörü _MTT). Bu durumda terminal traktörü tarafından aynı anda beş ila on konteyner taşındığından dolayı konteynerler birbirinden uzak konumlar arasında, örneğin rıhtım ve demiryolu terminali arasında veya iki uzak rıhtım arasında, taşınmak için kullanılmaktadır. Multiload terminal traktörü Rotterdam'daki Avrupa Konteyner Terminali'nde (ECT) ve Singapur'daki bazı terminallerde kullanılmaktadır.

2.2.2.9. Otomatik Terminal Traktörü (Automated Guided Vehicles_AGVs)

Otomatik terminal traktörü (AGV) başlangıçta endüstriyel uygulamalar için geliştirilmiştir. Konteyner operasyonlarında, ilk kez 1993 yılında Rotterdam limanındaki Delta terminalinde (ECT) sunulmuştur. AGV'ler genellikle konteynerleri rıhtım vinçleri ile depolama sahası arasında taşımak için kullanılmaktadır. AGV'lerin kaldırma yetenekleri yoktur, rıhtım ve istif

vinçleri ile yüklenmekte ve boşaltılmaktadır. Bu yüzden AGV her zaman servis edilecek vincin altında beklemek zorundadır, AGV'lerin rıhtım ve saha vinçleri ile senkronize olmaları gerekmektedir. Otomatik terminal traktörü sürücü yerine otomatik bir kontrol sistemi tarafından sürülmekte ve gömülü elektronik transponderleri ve nesne sensörlerini takip ederek saha alanında gezinmektedir. Büyük ölçüde konteyner terminalleri içindeki hareketlerin tekrarlayan doğası nedeniyle AGV'ler terminal operasyonları için kullanılmaya çok uygundur.



Şekil 2.22: Otomatik terminal traktörü (AGV).

AGV'lerin konteyner terminallerinde uygulaması yüksek verimlilik, 24 saat kesintisiz operasyon ve düşük işletme maliyetleri sağlama yeteneklerinde yatmaktadır. AGV'ler bir adet 40'lık konteyner veya iki adet 20'lik konteyner taşıyabilmektedir. Güvenlik nedenleriyle, AGV üniteleri manuel terminal traktörleri ile aynı hızlarda hareket etmemekte, ancak çarpışmalar çıkmaz ve konumlandırmadaki doğruluk çok iyidir. Bu, tandem spreaderler ile donatılmış rıhtım vinçlerini düşünen terminaller için bir avantajdır. Bir AGV, manuel terminal traktörlerinden çok daha ağırdır, her zaman tam olarak aynı hat üzerinde hareket etmekte ve yüzeydeki izlerin çok daha hızlı gelişmesine neden olmaktadır. Kalmar firması tarafından sunulan AGV'lerin teknik özelliklerini tablo 2.7'de özetlenmiştir.

Tablo 2.7: Kalmar FastCharge AGV teknik özellikleri.

Açıklama	**Değer**
Yük türleri	2 x 20'lik / 1 x 40'lık / 1 x 45'lik
Yük kapasitesi (tek ünite / Maximum)	40 – 60 ton
Boyutlar	15 × 3 × 2 m
Ağırlık (Boş)	25 ton
Maximum hız	7 m/s
Maksimum hız (eğri)	2,5 m/s
Minimum iç dönüş yarıçapı	5,8 m
Minimum dış dönüş yarıçapı	11,35 m

AGV'lerin birbirleriyle çarpışmadığından emin olmak için AGV'lerin hareketlerinin koordine edilmesi ve taşıma görevlerinin tüm AGV filosuna eşit olarak dağıtılması gerekmektedir.

2.2.3. Konteyner Terminallerinin Değerlendirilmesi

2.2.3.1. Tasarım Göstergeleri

Konteyner terminallerinin üç ana tasarım göstergesi;

- **Yıllık terminal verimliliği (Annual Terminal Throughput):** Yıllık terminal verimliliği, her yıl gemilere yüklenen ve gemilerden boşaltılan konteyner sayısı olarak ifade edilmektedir. Bu sayı esas olarak terminalin konumuna ve yerel ekonomik koşullara göre belirlenmektedir.
- **Yıllık konteyner elleçleme kapasitesi (Annual Container-Handling Capacity):** Yıllık konteyner elleçleme kapasitesi, sadece gerçekleşen QC hareketlerini hesaba katmamakta, aynı zamanda konteyner terminalinin yıllık TEU olarak ifade edilen teorik konteyner elleçleme kapasitesini bir bütün olarak göstermektedir. Bu gösterge, rıhtım uzunluğu, deniz kenarı elleçleme kapasitesi, depolama kapasitesi, kara kenarı elleçleme kapasitesi, hinterlant bağlantı kapasitesi ve mevcut elleçleme ekipmanlarının sınırlayıcı faktörü tarafından belirlenmektedir.
- **Depolama kapasitesi (Storage Capacity):** Depolama kapasitesi genellikle TEU cinsinden ölçülmekte ve depolama sahasındaki TEU slotları ve konteyner istifleme yüksekliği sayısının çarpımı olarak hesaplanmaktadır.

Tasarımı etkileyen faktörler;

- **Aktarma faktörü (Transhipment Factor):** Aktarma faktörü, gemiler ile gelen ve ayrılan konteynerler tarafından uyarılan yıllık terminal verimliliğinin fraksiyonunu vermektedir. Genel bir kural olarak, aktarma fraksiyonları %66'dan fazla olan terminaller çoğunlukla aktarma terminalleri olarak adlandırılırken, daha az transit konteynerlerine sahip terminaller genellikle ithalat-ihracat terminalleri olarak sınıflandırılmaktadır.
- **Ortalama konteyner bekleme süresi (Container Dwell Time):** konteynerlerin depolama sahasında ortalama kaldığı gün sayısı olarak ölçülmektedir. Genellikle çoğu konteynerler terminalde oldukça kısa bir süre (genellikle sadece 1 veya 2 gün) kalırken, çok daha az konteyner önemli ölçüde daha uzun, hatta bazen birkaç haftaya kadar kalmaktadır. Konteyner terminallerinin ortalama bekleme süresi rakamları, genellikle aktarma faktörlerine bağlıdır. Aktarma terminallerinin ortalama bekleme süresi yaklaşık 3–5 gün iken, ithalat-ihracat terminallerinde ortalama bekleme süresi 5–15 gün arasında değişebilmektedir.
- **TEU faktörü (TEU Factor):** 20'lik ile 40'lık konteyner arasındaki ilişki TEU faktörü ile belirtilmekte ve bu genellikle 40'lık konteynerlerin kesri artı bir olarak verilmektedir. Örneğin, tipik bir 1.5 değeri, elleçlenen konteynerlerin yarısının 20'lik ve diğer yarısının 40'lık olduğunu göstermektedir.

- **Diğer faktörler:** Konteyner terminallerinin diğer sahaya özgü tasarımı etkileyen faktörleri, draft kısıtlamaları, toprak koşulları, arazinin şekli (genişlik ve uzunluk) ve terminalin kullanıcı tipidir (özel veya çok kullanıcılı). İlk olarak, bir terminalde hizmet verilebilecek yüklü draft açısından maksimum gemi boyutu, limandaki ve erişim rotasındaki mevcut draft ile sınırlıdır. İkinci olarak, bir terminal alanının yük taşıma kapasitesi ve bununla birlikte istifleme yüksekliği ve uygulanabilir ekipmanlar türleri ve boyutları, terminalin toprak koşullarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Üçüncüsü, kullanılan istifleme ve yatay taşıma ekipmanlarının yanı sıra genişlik, uzunluk ve yükseklik açısından saha yerleşimi büyük ölçüde terminal alanının verilen şekli ile tanımlanmaktadır.

2.2.3.2. Performans Göstergeleri

Konteyner terminalleri aynı anda farklı paydaşlarının çeşitli kısıtlamaları ve talepleriyle karşı karşıyadır; İşçiler istihdam güvenliğini istemekte, sakinler düşük gürültü ve egzoz emisyonları talep etmekte, yetkililer yasalara uymayı istemekte, kamyoncular kısa işlem süreleriyle ilgilenmekte ve nakliye hatları gemiler için kısa, esnek ve güvenilir geri dönüş sürelerinin yanı sıra konteynerlerin yüklenmesi, boşaltılması ve depolanması için düşük oranları istemektedir. Bununla birlikte, nihai karar vericiler genellikle yüksek hissedar değeri ile ilgilenen terminal sahipleridir. Sonuç olarak, liman konteyner terminallerinin performansını ölçmek için birçok farklı gösterge türü vardır ve bunlardan en yaygın olanları sonradan sunulmuştur. Öncelikle, konteyner terminalleri müşterilerinin talepleri ile ilgili çeşitli hizmet seviyesi göstergeleri tanıtılmıştır. Daha sonra, tüm terminal tesisinin verimliliğini ve farklı terminal ekipman türlerinin verimliliklerini değerlendirmek için kullanılabilecek terminal ve ekipman verimliliği göstergeleri ele alınmıştır. Son olarak, farklı konteyner terminallerinin maliyet esaslı karşılaştırmalarına izin veren maliyet verimliliği göstergeleri tartışılmıştır.

- **Servis Seviyesi Göstergeleri :**

Servis seviyesi göstergeleri, terminal müşterilerinin talepleri ve bu taleplerin karşılanma derecesi hakkında rakamları sağlamaktadır. Bu nedenle bu göstergeler, nakliye hatları, kamyoncular ve demiryolu işletmecilerini içeren terminal müşterileri için büyük önem taşımaktadır. Saanen (2004) tarafından altı farklı hizmet seviyesi göstergesinden bahsedilmiştir; Bunlar maksimum gemi boyutu, gemi yanaşma süresi, kara tarafı hizmet süresi, esneklik derecesi, elleçleme ücreti ve depolama ücretidir.

Giderek artan gemiler boyutlarıyla birlikte, gemilerin derinliği, genişliği ve yüksekliği de artmaktadır. Bu nedenle, bir terminalde uğrayabilecek maksimum gemi boyutu, rıhtım duvarında ve su yolunda mevcut draftın yanı sıra kullanılan QC'lerin boyutu ve uzanma mesafesi (outreach) ile tanımlanmaktadır. Gemilerin limanda kaldıkları süre, özellikle açık deniz gemileri olmak üzere, nakliye hatları için büyük önem taşımaktadır, çünkü yüksek yatırım maliyetleri olan gemiler yalnızca konteynerleri denizde taşırken para kazanmaktadır. Bu nedenle nakliye hatları, genellikle kısa gemi yanaşma sürelerini tercih etmektedir. Tanımlanmış zaman aralığının aşılması, geminin seyir düzeninde maliyetli bir bozulmaya neden olabilmektedir. Genel olarak, gemiye verilen servis süresi genellikle konteyner terminallerinin en önemli hizmet seviyesi göstergeleri olarak kabul edilmektedir.

Gemi servis süresi, nakliye hatları için büyük önem taşıdığı gibi kara tarafı müşterileri de ağırlıklı olarak araçlarının servis sürelerine odaklanmaktadır. Karayolu ve demiryolu operatörleri, aynı süre içinde daha fazla taşıma işi gerçekleştirmek için konteynerlerin teslimatı ve alınması için kısa servis süreleri istemektedirler. Ek olarak, demiryolu taşımacılığı, bazı demiryolu rotaları için belirli zaman aralıklarına bağlı olabilmektedir. Bu nedenle, terminalin tren istasyonundan geç tren hareketleri, belirli demiryolu rotalarının bloke olması nedeniyle diğer trenlerin daha fazla gecikmesine neden olabilmektedir. Bununla birlikte, terminal operatörleri genellikle gemi hatlarını (shipping lines) kara tarafı müşterilerinden daha önemli müşteri grubu olarak görmektedir. Müşterilerinin JIT (just in time) süreçlerine yönelik sürekli artan eğilimi nedeniyle nakliye hatları, konteyner terminallerinden giderek daha fazla esneklik talep etmek zorunda kalmaktadır. Bu bağlamda esneklik, gemi hatlarının gemilerin yük planlarında olabildiğince geç değişiklik yapmasına izin verilmesini istemesi ve yükleme sonrasında kara tarafına gelen konteynerlerin bile işlenmeye başlaması anlamına gelmektedir. Daha uzun gemi yanaşma süreleri veya azaltılmış ekipman verimliliği ile daha fazla esneklik söz konusu olabilse de esnekliğin önemi sürekli olarak artmaktadır.

Genellikle, konteyner terminalleri, QC'ler tarafından elleçlenen her bir konteyner için nakliye hatlarından toplanan elleçleme ücretinden en fazla geliri sağlamaktadır. Bu nedenle, elleçleme ücreti hem terminalin ticari başarısı hem de nakliye hatları için çekiciliği açısından büyük önem taşımaktadır. Farklı maliyet yapıları ve farklı rekabet dereceleri nedeniyle, elleçleme ücretleri farklı bölgeler arasında büyük ölçüde değişebilmektedir. Ek olarak, elleçleme ücretleri, bireysel sözleşmelere dayandığından, farklı nakliye hatları arasında önemli ölçüde değişebilmektedir.

Bir terminalin aktarma işlevi için artırılan elleçleme ücretinin yanı sıra, depolama işlevi için bir konteynerin depolama günü başına genellikle ek bir ücret alınmaktadır. Bu depolama günü ücretleri ve temeldeki fiyatlandırma sistemi, kara ve terminal rekabeti bölgesel farklılıklar nedeniyle uluslararası konteyner terminalleri arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Örneğin, bazı terminaller tüm depolama günleri için sabit ücretler yükseltirken, diğer terminallerde ilk birkaç gün ücretsiz olabilmektedir. Bununla birlikte, daha az saha alanı mevcutsa, konteyner kalma sürelerini düşük tutmak için daha fazla ücretler istenebilmektedir.

- **Terminal Verimliliği Göstergeleri :**

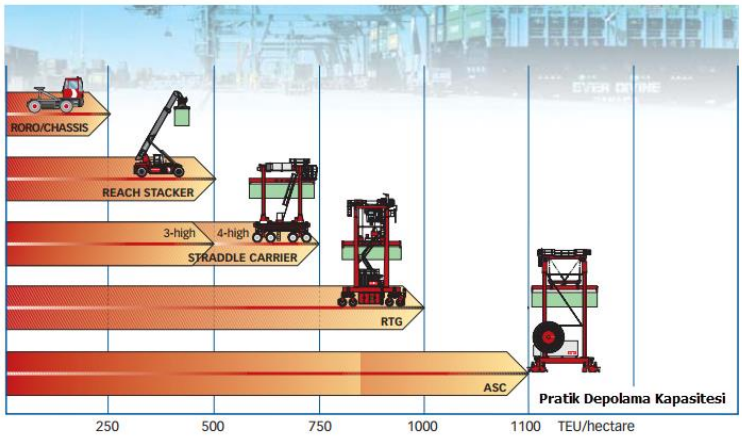
Bir konteyner terminali oldukça karmaşık bir sistem olduğundan, tüm konteyner terminali tesisinin performansını ve verimliliğini tek bir rakamla değerlendirmek pek mümkün değildir. Saanen (2004) göre beş farklı terminal verimliliği göstergesi ayırt edilebilmektedir: rıhtım elleçleme kapasitesi, depolama elleçleme kapasitesi, depolama sahası fraksiyonu, depolama sahası kullanım oranı ve konteynerlerin erişilebilirliği. İlk iki gösterge, terminallerin aktarma işlevini değerlendirmek için kullanılabilirken, son üç gösterge, depolama işlevinin değerlendirilmesinde yer alabilmektedir.

Rıhtım uzunluğu ile ilgili performans göstergesi, rıhtım uzunluğu metresi başına yıllık TEU olarak ölçülmekte ve terminalin yıllık elleçleme kapasitesinin rıhtım uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Ancak rıhtım uzunluğu genellikle terminal operasyonlarından etkilenmemekte, ayrıca sadece uğrayan gemilerin boyutuna ve terminalin gemi uğrama modeline göre belirlenmektedir. Bu nedenle, standart rıhtım elleçleme kapasitesinin tipik rakamları, büyük ölçüde yıllık 150 ila 2.000 TEU/m arasında değişmektedir. Yüksek değerler, dengeli bir rıhtım uzunluğu işgalinin sonucu olabilirken, gemi varışlarının eşit olmayan dağılımı, standart rıhtım uzunluğuna bağlı elleçleme kapasitesinin daha düşük değerlerini vermektedir.

Standart depolama elleçleme kapasitesi, hektar başına yıllık TEU olarak ölçülmekte ve terminalin yıllık elleçleme kapasitesinin toplam terminal alanına bölünmesiyle elde edilmektedir. Transit konteynerlerinin daha kısa kalma süreleri ve daha düşük depolama alanı gereksinimleri nedeniyle, aktarma terminalleri tarafından standart depolama elleçleme kapasitesinin daha yüksek değerlerinin gerçekleştirilmesi beklenebilmektedir. Genel bir kural olarak, değerler ithalat-ihracat ve aktarma terminalleri için sırasıyla 23.000 ve 50.000 yıllık TEU/ha'yı aşmamaktadır.

Depolama sahası fraksiyonu, konteynerlerin depolanması için kullanılan toplam terminal alanı payı olarak tanımlanmaktadır. Terminaller normalde, terminalin depolama kapasitesini artırmak için diğer göstergeleri kötüleştirmeden bu değeri olabildiğince artırmaya çalışmakta, bu da daha yüksek yıllık terminal iş hacmine olanak sağlayabilmektedir. Örneğin, konteyner yatay taşıma alanı azaltılabilmekte, ancak trafik sıkışıklığı nedeniyle terminal operasyonları için olası olumsuz sonuçlar dikkate alınmalıdır. Depolama alanı fraksiyonu tipik değerleri, CFS içeren ve içermeyen terminaller için sırasıyla 0,5-0,7 ila 0,6-0,8 aralığındadır.

İstifleme işlemlerinin kalitesi ve depolama alanının kullanımı, depolama yoğunluğu ile gösterilmektedir. Depolama yoğunluğu konteyner depolama sahasının hektar başına TEU sayısını vermektedir. Ortalama kullanılan depolama kapasitesinin, konteynerlerin depolanması için kullanılan hektar miktarına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Uygulamada, değerler, Şekil 2.23'te gösterilen farklı depolama ekipmanı için büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Konteynerlerin şasi üzerinde depolanması hektar başına sadece 250 TEU verirken, saha istif vinçleri kullanılarak hektar başına 1.100 TEU'ya kadar depolama yoğunluğu gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2.23: İstifleme ekipmanları kapasiteleri (Kalmar, 2006)

Son olarak, depolama alanındaki konteynerlerin erişilebilirliği, belirli bir konteynerin istiften yatay nakliyeye yüklenmesini sağlamak için gereken ortalama karıştırma hareketi (shuffle moves) sayısı ile tanımlanmaktadır. Bu gösterge, bir konteyner terminalinin yıllık elleçleme kapasitesi için büyük önem taşımaktadır, çünkü terminal ekipmanının daha yüksek verimliliği ile daha iyi erişilebilirlik ve daha az karıştırma hareketi söz konusudur. Konteynerlerin şasi üzerinde depolanması veya sadece bir sıra yüksek istifleme, her konteyner doğrudan geri alınarak mümkün olan en iyi erişilebilirliği sağlamaktadır. Aksine oldukça kötü erişilebilirlik

genellikle birkaç TEU yüksekliğinde istiflenerek sağlanmaktadır. Erişilebilirlik, depolama alanındaki istifleme yüksekliği ve istiflerden konteynerlerin alınma sırasının bilgisi ile belirlenmektedir. Bir yandan, istifleme yüksekliğinin azaltılması erişilebilirliği iyileştirirken diğer yandan depolama sahası yoğunluğu azalmaktadır, bu da her iki gösterge arasında bir takas olduğu anlamına gelmektedir. Konteyner depolama sahasının rıhtım arayüzündeki konteyner geri alma sırası hakkındaki bilgiler, istif planı hakkındaki mevcut bilgilerin kalitesine bağlıdır. İstifleme planlarının zamanında mevcut ve güvenilir olması durumunda konteynerler karıştırma hareketleri azaltılacak şekilde QC'lerde ihtiyaç duyuldukları sırada istiflenebilmektedir. Bununla birlikte, gerçek hayatta, nakliye hatları, istifleme planları ile ilgili olarak terminallerden daha fazla esneklik talep ettiğinden, bu varsayım çoğu zaman geçerli olmamaktadır.

- **Ekipman Verimliliği Göstergeleri :**

Ekipman verimliliği, genellikle ekipman tarafından saatte elleçlenen konteyner sayısı olarak gösterilmektedir. Uygulamada tipik verimlilik rakamları, ekipman türüne göre büyük ölçüde değişmektedir. Aşağıdaki dört farklı türde ekipman verimliliği ölçüsü ayırt edilebilmektedir: teknik verimlilik, operasyonel verimlilik, net verimlilik ve brüt verimliliktir.

Teknik ekipman verimliliği, teorik olarak saatte mümkün olan maksimum elleçlenen konteyner sayısı olarak tanımlanmaktadır. Diğer ekipmanlarla etkileşimler, manuel işlemlerin stokastikleri ve diğer dış etkiler gibi her türlü olumsuzluk ihmal edilmektedir. Dahası, teknik verimlilik yalnızca sürüş mesafeleri, ivmeler ve hızlar gibi tamamen güvenilir teknik rakamlara dayanmaktadır. Aksine, terminal ekipmanının operasyonel ve net verimliliği, sürücülere ve diğer dış etkenlere (örneğin hava koşulları) bağlı gecikmeleri hesaba katmaktadır. Ancak operasyonel verimlilik, diğer tüm terminal ekipmanı için en azından ideal koşulları varsayarken, diğer ekipmanlarla etkileşimler veya bekleme süreleri nedeniyle hiçbir gecikme meydana gelmemekte, bu kesintiler net verimlilik tarafından açıkça değerlendirilmektedir. Son olarak, brüt verimlilik daha uzun süreler boyunca ölçülmektedir (örneğin; Gün, gemi elleçleme süresi). Bu nedenle, yemek molaları, vardiya değişiklikleri ve makine arızaları gibi ekipman işlemlerinde ek olumsuzluklar da anlaşılmaktadır. Normal operasyonların doğasında olmayan bu olumsuzluklar, önceki üç verimlilik ölçüsü tarafından gözlemlenmemektedir. Uygulamada operasyonel gerçeklik en iyi şekilde bu rakamlarla temsil edildiğinden terminal operatörleri çoğunlukla net veya brüt verimliliklerin iyileştirilmesine çalışmaktadır. Gemi yanaşma süreleri

ve gerekli ekipman sayısı ile ilgili kararlar bu verimlilikler tarafından belirlenmekte ve teknik ve operasyonel verimlilikteki değişiklikler net ve brüt verimliliklere de yansıtılmaktadır.

Sonuç olarak, çoğu verimlilik net veya brüt değerler olarak verilmektedir. En popüler ekipman verimliliği ölçüsü, QC'lerin brüt verimliliğini veren GCR'dir (Gross Crane Rate_Brüt Vinç Oranı). GCR, saatte tek bir vinç ile yüklenen ve boşaltılan ortalama konteyner sayısı olarak tanımlanmaktadır. GCR, genellikle hem nakliye hatları hem de terminal operatörlerinin kendileri için konteyner terminallerinin en önemli performans göstergesi olarak kabul edilmektedir. İlk olarak, gemi yanaşma süresi ile ters ilişkisi nedeniyle, GCR, gemilerin dönüş sürelerini doğrudan etkilemektedir. İkinci olarak, terminal operatörleri GCR'yi genel terminal operasyonlarının verimliliği üzerinde bir kıyaslama olarak kullanabilmektedirler. Bu nedenle GCR, diğer terminal ekipmanlarının verimlilik değişikliklerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmektedir. Sonuç olarak GCR, vinç hızı, kaldırma kapasitesi, spreader tipi, rüzgâr koşulları, sürücü becerileri, yatay taşımadaki gecikmeler ve depolama sahası operasyonlarındaki gecikmeler gibi çok sayıda faktöre bağlıdır. QC'ler için daha az popüler olan iki verimlilik göstergesi, QC-çıktı indeksi (QC-throughput index) ve QC-yoğunluk indeksidir (QC- density index).

- **Maliyet Verimlilik Göstergeleri :**

Terminal operatörleri, özel amaçlar için terminal ve ekipman verimliliğinde iyileştirme arayışında değildir. Özel sektöre ait konteyner terminalleri çoğu şirkette olduğu gibi genel iş hedefi, hissedar değerinin maksimize edilmesidir. Bu nedenle, terminal operatörleri, yıllık terminal verimliliğinde ve elleçlenen konteyner başına kar marjında artış için çaba göstermektedirler. Kar marjı doğrudan terminalin giderleri tarafından belirlenirken, terminal verimliliği de terminal maliyetlerinden dolaylı olarak etkilenmektedir. Sonuç olarak, konteyner terminallerinin maliyetleri, rekabet edebilirlikleri ve ortaya çıkan hissedar değeri açısından büyük önem taşımaktadır. Maliyet verimliliği göstergeleri, bir terminalin maliyet durumunun karşılaştırılmasına ve değerlendirilmesine izin vermektedir. En bilinen gösterge, konteyner maliyet endeksidir (Average Cost Per Container _ACC). ACC, bir konteynerin elleçlenmesi ile ilgili ortalama maliyetleri göstermektedir. Terminalin yıllık toplam maliyetinin yıllık verimlilik bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Ancak farklı maliyet kategorileri ayırt edilebilmektedir. Dolayısıyla, konteyner maliyet endeksinin farklı değişkenleri da mevcuttur. Her şeyden önce, yıllık işletme ve ilk yatırım maliyetleri arasında ayrım yapılmalıdır. Yatırım maliyetleri temel

olarak tesislere yapılan yatırımlardan (örneğin; rıhtım, yollar, apron, sundurma, binalar) ve ayrıca terminal ekipmanı (örneğin; QC'ler, SC'ler, AGV'ler) ve gerekli yazılım ürünleri (örneğin; TOS- terminal işletim sistemi) için satın alma maliyetlerinden oluşmaktadır. Bir konteyner terminalinin boyutlarına ve teknik ekipmanına bağlı olarak, yatırım maliyetleri birkaç 100 milyon Euro'yu bulabilmektedir. Hem borç sermayesi hem de özsermaye için sermaye maliyetleri biçiminde bu yatırım maliyetleri, faiz ödemeleri ve fırsat maliyetleri gibi işletme maliyetleri içinde dolaylı olarak hesaba katılmalıdır. Ek olarak, işletme maliyetleri işçilik maliyetleri, malzeme maliyetleri (örneğin; yedek parçalar, yakıt, enerji), hizmet maliyetleri (örneğin; bağlama, bakım, yönetim) ve kiralama maliyetlerinden (örneğin; arazi, rıhtım) oluşmaktadır. İşçilik maliyetleri işletme maliyetlerinin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Tabii ki, yerel ücret oranları, sendikal güç ve diğer tarihsel faktörler nedeniyle, işçilik maliyetleri, farklı limanlar ve ülkeler arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Terminalin konumuna bağlı olarak, işçilik maliyetlerinin oranı %35 (Doğu Asya) ile %50 (Kuzeybatı Avrupa) ve %65 (ABD Batı kıyısı) arasında değişebilmektedir. Kuzeybatı Avrupa konteyner terminalinin işçilik maliyetleri TEU başına 30 ile 38 Euro arasında değişmektedir (Saanen, 2004).

2.2.4. Terminal Planlama Problemleri

Limanlar, ortaya çıkan yeni gemi tiplerini, boyutlarını ve tasarımlarını takip etmeli ve müşterilerinin güvenli liman operasyonları ve verimli kargo elleçleme ile ilgili gereksinimlerini karşılamalıdır. Başarılı bir konteyner veya genel kargo terminali tasarlamak, işletme maliyetini düşürmesi, hizmet kalitesini ve verimliliğini artırması ve terminali gelecekteki geniş bir potansiyel senaryolara karşı rekabetçi olması gereken oldukça zor bir görevdir. Terminalin operasyonel konseptine ilişkin karar, beklenen gemilerin büyüklüğü, trafik tahminleri, mevcut alan büyüklüğü, işgücü piyasası koşulları, maliyet yapısı ve çevresel etkiler gibi birçok faktöre bağlıdır. Ayrıca, terminalin pazar payını korumak ve büyütmek için rekabetinden nasıl farklılaşacağının da tahmin edilmesi gerekmektedir.

Terminal tasarım problemleri, terminalin ilk planlama aşamasında terminal planlayıcıları tarafından çözülmelidir. Bu problemler hem ekonomik hem de teknik fizibilite ve performans açısından analiz edilmelidir. Konteyner terminallerinin planlama problemleri stratejik, taktiksel ve operasyonel problemler olarak üç gruba ayırt edilebilmektedir (Meersman ve Dekker, 2001).

Stratejik kararlar, yeni inşa edilen terminalin yeri ve yerleşiminin yanı sıra kullanılacak ekipmanların türü ve sayısı ile ilgilidir. Konteyner terminallerinin otomasyon derecesi bu şekilde tanımlanmaktadır. Stratejik kararlar genellikle yıllarca süren operasyonlar için alınmaktadır. Taktik seviyede, terminalin alan kullanımına karar verilmektedir (örneğin; boş ve soğutuculu konteynerlerin depolanması için saha blokları ve yatay taşıma sistemi için trafik parkurlarının düzenlenmesidir). Bu kararlar aylarca veya en azından haftalarca sürmektedir. Operasyonel düzeyde, gemilerin, karayolu kamyonlarının ve trenlerin hizmetini gerçekleştirmek için konteyner terminali kaynaklarının iş planları oluşturulmaktadır. Bu kararlar birkaç günden saniyelere kadar sürmektedir.

Terminal karar problemleri için başka bir sınıflandırma şeması Günther ve Kim (2006) tarafından önerilmiştir. Meersmans ve Dekker'e (2001) ek olarak, karar problemleri sadece ilgili hiyerarşik seviyeye göre kategorize edilmemiş, aynı zamanda ilgili planlama ekipmanı (örneği; AGV'ler, depolama alanı, QC'ler) da bir sınıflandırma kriteri olarak kullanılmıştır. Günther ve Kim (2006) üç karar seviyesini ayırt etmişlerdir; terminal tasarım seviyesi, operasyonel planlama seviyesi ve gerçek zamanlı kontrol seviyesidir.

Kemme (2013) tarafından ilgili hiyerarşik seviyeye ve terminalin ilgili alt sistemine göre karar problemlerini kategorize eden değiştirilmiş bir sınıflandırma şeması getirilmiştir. Sınıflandırma şeması tablo 2.8'de özetlenmiştir. Meersmans ve Dekker (2001) ve Günther ve Kim'den (2006) farklı olarak, burada karar probleminin hiyerarşik seviyesine göre kategorize etmek için sadece terminal tasarım seviyesi ve operasyonel planlama seviyesi ayırt edilmektedir. Terminal tasarım seviyesi Günther ve Kim (2006) ile aynı iken, operasyonel planlama seviyesi hem önceki operasyonel hem de gerçek zamanlı seviyeleri birleştirmektedir.

Tablo 2.8: Terminal Planlama Problemlerinin Sınıflandırılması (Kemme, 2013)

	Hinterlant Bağlantısı	**Depolama**	**Konteyner Yatay Taşıma**	**Rıhtım**
Terminal Tasarımı	Hinterlant Bağlantılarının Tipi	Ekipmanlar Tipi	Araç Tipi	Rıhtım Vinci Tipi
	Ekipmanlar Sayısı	İstif Vinçleri Sayısı	Araç Sayısı	Rıhtım Vinci Sayısı
		İstif Ebatları	Taşıma Alan Ebatları	Rıhtım Uzunluğu
Operasyonel Planlama	Ekipmanlar Planlaması	Konteynerler İstifleme	Sevkiyat Kuralı	İstif Planlaması
		İstif Vinçlerinin Planlaması	Yol Atama	Rıhtım Atama
				Rıhtım Vinci Atama

2.2.4.1. Terminal Tasarım Planlama Problemleri

Genel olarak, terminal tasarım seviyesi, konteyner terminallerinin yerleşimi ve ekipman seçimi ile ilgili her türlü kararı içermektedir. Bu kararlar genellikle tamamen yeni bir terminal tesisinin ilk planlama aşamasında, mevcut bir terminalin genişletilmesi veya mevcut bir terminalin dönüştürülmesi sırasında terminal planlayıcıları tarafından alınmaktadır. Kararlar genellikle teknik fizibilite, ekonomik karlılık ve operasyonel performans açısından alınmaktadır. Terminal ekipmanlarının türü ve sayısı ile terminal yerleşim planına ilişkin kararlar genellikle birkaç milyon Euro'luk yatırımları içermekte ve bunlar yalnızca birkaç aylık kısa bir zaman diliminde kolayca değiştirilememektedir.

Genel olarak, yeni terminallerin kurulması (inşaat ve altyapı çalışmaları dahil) birkaç yıl sürebilmekte ve yalnızca 10-15 yıllık çalışma süresinden sonra kendini amorti etmektedir. Terminalin altyapısı tamamlandıktan sonra hem ekipman türleri hem de lojistik terminal operasyonları ile ilgili kararlar genellikle önümüzdeki on yıl için aşağı yukarı sabitlenmektedir. Uzun süren teslimat süreleri nedeniyle, belirli terminal ekipmanlarının adetleri bile birkaç ay içinde değiştirilememektedir. Tasarım düzeyine ait kararların etkileri hep birlikte, oldukça uzun vadeli geçerlilik ve büyük yatırımlarla karakterize edilmektedir. Rıhtım operasyonları ile ilgili terminal tasarım seviyesinde esas olarak üç karar aşaması gerekmektedir: rıhtım vinci tipi, gerekli rıhtım vinci sayısı ve rıhtım uzunluğu belirlenmelidir. Rıhtım vinci tipine ilişkin karar, planlanan rıhtım vinçlerin trolleyi (tek veya çift) ve spreader teknolojileri (tekli, ikiz veya tandem) için erişim ve açıklığa ilişkin bazı ayrıntılı sorulardan oluşmaktadır. Maliyetten tasarruf etmek için, terminal operatörleri başlangıçta rıhtım uzunluğunu ve rıhtım vinci sayısını, planlanan yıllık terminal verimliliği veya belirli performans göstergeleri bazı harici girdilere göre (örneğin, gemi çağırma düzeni) karşılanabilecek şekilde en aza indirmeye çalışmaktadır. Konteyner yatay taşıma alt sistemi için tasarım seviyesi, yatay taşıma için kullanılması gereken araç tipi, bu araçların gerekli sayısı ve ilgili sürüş alanının boyutuna ilişkin kararları içermektedir. Konteyner yatay taşıma için kullanılan araç tipi AGV, ALV, SC veya TT olabilmektedir. Maliyet tasarrufu ile ilgilendikleri için terminal operatörleri genellikle istenen yıllık konteyner elleçleme kapasitesine göre taşıma araçlarının sayısını en aza indirmeye çalışmaktadırlar. Son olarak, depolama sahası bölümünü optimize etmek için terminal operatörleri genellikle geçen araçlar arasındaki belirli güvenlik mesafeleri ile rıhtım vinçlerindeki ve depolama sahasındaki gerekli manevra alanı ile ilgili olarak sürüş alanının boyutlarını en aza indirmeye çalışmaktadırlar. Konteyner yatay taşıma sistemi ile

karşılaştırılabilir şekilde depolama sisteminin tasarım düzeyinde şu kararların alınması gerekmektedir: depolama alanında kullanılması gereken ekipman türü, ekipmanların gerekli sayısı ve depolama alanının yerleşimidir. Temelde dört tip depolama ekipmanı ayırt edilebilmektedir: SC'ler, saha vinçleri (RTG, RMG, and ASC), forkliftler ve reachstackers. Hem gerekli depolama ekipmanları sayısı hem de depolama alanının yerleşimi hakkındaki kararlar, büyük ölçüde seçilen ekipman tipine bağlıdır. Bununla birlikte, maliyet ve performans göstergeleri açısından iyi sonuçlar verebilmek için terminal planlayıcıları genellikle, amaçlanan konteyner elleçleme kapasitesine ulaşmak için gerekli olan depolama kapasitesi açısından depolama ekipmanlarının sayısını ve depolama alanını en aza indirmeye çalışmaktadırlar. Depolama sahasının yerleşim planına ilişkin karar, sadece alan gereksinimlerini ilgilendirmemekte, ayrıca saha bloklarının düzeninin yanı sıra bu blokların uzunluğu, genişliği ve yüksekliğinin de belirlenmesi gerekmektedir. Son olarak, hinterlant bağlantı sisteminin tasarım düzeyinde, gerekli hinterlant bağlantı türleri ve ilgili tesislerin ekipmanı üzerinde karar verilmesi gerekmektedir. Sırf aktarma terminalleri için hinterlant bağlantısı gerekmemekle birlikte, diğer tüm terminaller için karayolu kamyonları, trenler ve / veya mavnalar için bir hinterlant bağlantısı uygulanmalıdır. Her hinterlant bağlantıları için ilgili taşıma modlarının yüklenmesi ve boşaltılması için kullanılması gereken ekipmanın türü ve sayısına karar verilmelidir. Ek olarak, karayolu kamyonları ile hinterlant bağlantısı için kapı kapasiteleri tanımlanmalı ve trenle hinterlant bağlantısı için tren istasyonundaki ray hatlarının sayısı ve uzunluğu tanımlanmalıdır.

2.2.4.2. Operasyonel Terminal Planlama Problemleri

Konteyner terminallerindeki operasyonları gerçekleştirmeden önce planlamacılar genellikle operasyonların verimliliğini en üst düzeye çıkarmak amacıyla operasyonları önceden planlamaktadırlar. Planlama sürecinde hedef kaynakları genellikle sınırlı kapasitelere sahip kaynaklardır; bu nedenle, kaynakları gerektiren elleçleme işlemleri arasındaki öncelikler planlama süreci ile belirlenmelidir. Taşıma görevlerinin yatay taşıma ekipmanı tarafından yürütüldüğü sıralara ilişkin kararlar, örneğin, bu ekipmanların brüt verimliliğinde bir iyileşmeye yol açabilmektedir, bu da daha sonra ihtiyaç duyulan taşıma araçlarının sayısının ve konteyner maliyeti endeksinin azaltılmasına izin vermektedir. Bu nedenle konteyner terminallerinin performansı ve terminal tasarım seviyesindeki çeşitli kararlar, bu operasyonel planlama kararlarından büyük ölçüde etkilenmektedir.

Hedef kaynaklar arasında rıhtımlar, rıhtım vinçleri, istif vinçleri, diğer taşıma ekipmanları, depolama alanları ve ekipman operatörleri bulunmaktadır. Konteyner terminallerinde, rıhtımlar en kritik kaynak olarak kabul edilmekte ve bunu rıhtım vinçleri izlemektedir. Bu nedenle, operasyon planları genellikle ilk önce rıhtımlar ve daha sonra rıhtım vinçleri için önemli performans önlemlerine ilişkin gereklilikleri karşılayacak şekilde formüle edilmektedir. Depolama sahasının yeterli olmaması durumunda, konteynerler sahaya ulaşmaya başlamadan önce depolama sahasının kullanımı dikkatle planlanmalıdır.

- **Gemi Yükleme Planlaması (Stowage Planning) :**

Yükleme planlarının oluşturulması iki aşamalı bir süreçtir. Öncelikle, bir geminin yolculuğu sırasında yüklenen ve boşaltılan tüm konteynerler için gemi üzerindeki istifleme konumlarını dikkate alan nakliye hattı tarafından kaba bir yükleme istif planı oluşturulmaktadır. Ancak bu işlem adımında planlanan konteynerler, bir kimlik ile tanımlanabilen kesin olarak belirlenmiş konteynerler değildir. Dahası, konteynerler yalnızca tür (örneğin, standart, reefer), boyut (20'lik, 40'lık), ağırlık ve PoD (Port of Destination _varış limanı) açısından özelliklerine göre konumlara atanmaktadır. Bu nedenle, tam olarak aynı özelliklere (aynı kategoriye ait olan) sahip olan konteynerler, bu işlem adımında yükleme planında hala değiştirilebilmektedir. Genellikle nakliye hatlarının yükleme planları, bir geminin güzergahı boyunca limanlarda gerekli "QC-shuffle" hareketlerinin sayısını en aza indirmek ve gemilerin stabilizesine ilişkin bazı kısıtlamalara göre gemilerin kullanımını en üst düzeye çıkarmak amacıyla oluşturulmaktadır. İkinci olarak, nakliye hattının kaba yükleme planına bağlı olarak, konteyner terminalinin gemi planlamacıları, benzersiz kimliklerle tanımlanabilen özel konteynerleri içeren daha kesin bir yükleme planı oluşturmaktadır. Gemiye yüklenmesi gereken bir konteynerin tüm nitelikleri, gemideki atanmış istifleme pozisyonunun kategorisiyle tam olarak eşleşmelidir. Genellikle, gemi planlamacılarının amacı, konteyner depolama sahasında gerekli karıştırma hareketlerinin sayısını en aza indirmektir. Yükleme planları genellikle gemi planlayıcıları tarafından çevrimdışı olarak oluşturulsa da (yani, ilgili geminin fiili yükleme süreci başlamadan önce), gemi yükleme operasyonlarının temelindeki planlama durumu, çeşitli nedenlerden dolayı çevrimiçi optimizasyon için en uygunudur. Bununla birlikte, gemi planlayıcıları tarafından çevrimiçi istif planlaması uygulanırsa, yükleme işleminden önce gemideki bir konuma belirli bir konteyner atanmamaktadır. Bunun yerine, depolama sahasından gerekli özelliklere uyan ve gerekli karıştırma hareketleri ve ilgili rıhtım vinçlerine tahmini varış süresi açısından en uygun görünen gemiye yüklenmesinden kısa bir süre önce bir

konteyner seçilmektedir. Sonuç olarak, gerçek gemi yükleme süreciyle aynı anda ve ardışık olarak kesin bir yükleme planı oluşturulmaktadır. Boşaltma ve yükleme dizileri, saha vinçlerinin ve konteyner yatay taşıma araçların zamanlamasını (Schedule) belirlemek için önemli bir girişi temsil etmektedir. Etkili bir gemi yükleme veya boşaltıma operasyonu, rıhtım, taşıma ve istifleme sahası operasyonları arasında koordinasyon gerektirmektedir.

- **Rıhtım Tahsis Problemi (Berth Allocation Problem- BAP) :**

Büyük uluslararası konteyner terminallerine haftada onlarca gemi gelmekte ve terminalin rıhtım duvarına demirlemektedir. Yanaşma kapasitesi rıhtım uzunluğu ile sınırlıdır. Rıhtım tahsis problemi (BAP), ilgili gemi uzunluklarını ve hizmet sürelerini dikkate alarak tüm gemileri rıhtımın belirli bölümlerine tahsis etmektir, böylece tahsis edilen bölümlerde herhangi bir noktada örtüşme olmamaktadır. Ana hat gemilerinin gelişleri genellikle birkaç ay öncesinden bilinirken, bu da rıhtım tahsisinin ileri görüşlü bir planlamasına izin verirken, besleyici gemilerin varışları yalnızca rıhtıma gerçek varıştan kısa bir süre önce bilinmektedir. Genel olarak, rıhtım tahsisine ilişkin kararlar, esas olarak, gemilerin rıhtıma yanaşmadan önce demirleme süresinin en aza indirilmesi ve terminalin ekipman verimliliğinin en üst düzeye çıkarılması amacıyla verilmektedir. İlgili gemiye yüklenmek üzere planlanan çoğu konteynerin istiflendiği depolama alanına nispeten yakın yanaşma yerleri atayarak ikinci amacı kolaylaştırmaya çalışılmaktadır. Böylece, yatay taşıma ekipmanların sürüş süreleri azaltılmaktadır, ekipman verimliliği iyileştirilmekte ve gemi yanaşma süresi de azaltılabilmektedir. Ancak rıhtım tahsisi ile ilgili kararlarda, gemilerin teknik gereksinimleri ve yanaşma yerlerinin teknik kısıtlamaları dikkate alınmalıdır. Genelde, ilgili rıhtım vinçlerin sınırlı erişim veya açıklığı ya da yanaşma yerinde yetersiz draft nedeniyle tüm gemilere her yanaşma yerinde hizmet verilememektedir. Ayrıca, gemi yanaşma süresi (ve bununla birlikte, bir sonraki gemi için rıhtımın müsait olduğu zaman) görevlendirilen rıhtım vinçlerin sayısından doğrudan etkilendiğinden yanaşma yerleri için mevcut rıhtım vinçleri sayısı, rıhtım tahsisi ile ilgili kararlarda dikkate alınmalıdır.

- **Rıhtım Vinci Tahsis Problemi (Quay Cranes Assignment Problem- QCAP) :**

Genellikle, vinç bekleme süresi terminal operasyonlarının verimliliği için çok kritiktir. Rıhtım vinçleri işlemindeki herhangi bir gecikme, aynı rıhtım vinçlerine atanan sonraki tüm işlemlerde aynı miktarda zaman gecikmesine neden olmaktadır. Bu gecikme, geminin rıhtımda kalmasını etkileyebilmektedir. Genellikle, her geminin bir zaman penceresi vardır ve herhangi bir

gecikme terminal için artan maliyetlere yol açabilmektedir. Dolayısıyla konteyner terminallerinde rıhtım vinçlerinin tahsisi en önemli kararlardan biridir. Gelen gemilerin rıhtım tahsisinin ardından, bireysel gemilerin yüklenmesi ve boşaltılması için hangi rıhtım vinci kullanılması gerektiğine karar verilmesi gerekmektedir. Ancak rıhtım vinci tahsis problemi olarak adlandırılan bu karar problemi, sadece rıhtım vinçlerinin gemilere tahsisini içermemek, ayrıca rıhtım vinçlerinin geminin "bay"lerine tahsis edilmesi gerekmektedir. Genel olarak, belirli bir gemi için görevlendirilen vinç sayısı iki faktörle sınırlıdır. İlk olarak, raylara sabitlendiği için her vinç her yanaşma yerine sürülememektedir. İkinci olarak, genellikle konteyner terminallerinde en büyük gemiler için çalıştırılamayan farklı boyutlarda rıhtım vinçleri bulunmaktadır. Rıhtım vinçleri tahsis probleminin amaçları, rıhtım vinçleri kullanımını dengelemek ve gemilerin yanaşma sürelerini en aza indirmek gibi çeşitli hedefleri içermektedir. Rıhtım vinçleri tahsis problemi, rıhtım tahsis problemi ile yakından ilişkilidir.

- **Rıhtım Vinci Zamanlama Problemi (Quay Crane Scheduling Problem- QCSP) :**

Mevcut rıhtım vinçleri gemi "bay"lerine tahsis ettikten sonra rıhtım vinci zamanlama probleminde rıhtım vinçleri tarafından gerçekleştirilen yükleme / boşaltma görevlerinin sırasına karar verilmektedir. Aşağıdaki kısıtlamalar tipik olarak rıhtım vinci zamanlama probleminde dikkate alınmaktadır: boşaltma görevleri herhangi bir yükleme görevinden önce gerçekleştirilmelidir, birbirine yakın rıhtım vinçleri arasındaki çatışma önleme, rıhtım vinçleri bir seferde en fazla görev gerçekleştirebilmekte ve rıhtım vinçleri hareket hızıdır. Amaç genellikle tüm görevlerin süresini en aza indirmektir.

- **Konteyner İstifleme Problemi (Container Stacking Problem) :**

Genellikle, konteyner terminalinde elleçlenen her konteyner, terminalin depolama sahasında geçici olarak depolanmaktadır. Konteyner istifleme problemi, depolama sahasının ara yüzlerine ulaşan veya depolama sahasına taşınması gereken konteynerlerin depolama sahasında nereye yerleştirileceği sorusuyla ilgilidir. Konteyner istifleme problemi bloğunun seçiminin yanı sıra konteynerin seçilen blok içinde yerleştirilmesinden oluşmaktadır. Depolama sahasında bir konteynerin olası konumu hakkındaki kararlar blok, sıra, dilim ve kat (block, row, bay, and tier) numaraları ile ele alınmaktadır. Konteyner istifleme probleminin kritik hedefleri; (1) konteyner taşıma araçları seyahat mesafesini, (2) istif vinçlerin seyahat mesafelerini, (3) istif vinçlerin ve sahadaki taşıma araçları tıkanıklığını ve (4) yeniden yerleştirme olasılığı en aza indirmektir.

İlk amaca yönelik ihracat konteynerleri genellikle ilgili geminin yanaşma konumuna yakın konumlarda istiflenmektedir. İkinci hedefin stratejisi, paralel blok yerleşimi olan konteyner terminalleri ile dikey blok yerleşimi olan konteyner terminalleri arasında farklıdır. Paralel blok yerleşimine sahip konteyner terminallerinde, kamyonlar her bloğun yanına park etmektedir. Aynı grubun ihracat konteynerleri genellikle arka arkaya gemiye yüklendiğinden dolayı aynı bloğa yerleştirildiğinde istif vinçlerin hareketleri en aza indirilebilmektedir. Paralel blok yerleşimine sahip konteyner terminallerinde, ihracat konteynerleri sahaya ulaşmaya başlamadan önce boşluk ayarlanmalıdır. İstif vinçlerin hareket süresini azaltmak için bir konteyner grubuna birkaç bitişik slotler tahsis edildiğine dikkat edilmelidir. Bununla birlikte, dikey blok yerleşimine sahip konteyner terminallerinde transfer noktaları her bloğun sonunda bulunduğundan alım işlemi sırasında istif vinçlerin hareket mesafesini azaltmak için ihracat konteynerleri deniz tarafına yakın saha slotlarında istiflenirken, ithalat konteynerleri kara tarafına yakın saha slotlarına taşınabilmektedir. Bu durumda, konteynerler sahaya ulaşmaya başlamadan önce depolama alanı önceden yerleştirilmemektedir. Bunun yerine, gelen konteynerin depolama yeri genellikle daha önce belirtilen çeşitli faktörler dikkate alınarak gerçek zamanlı olarak belirlenmektedir. Tıkanıklık, saha operasyonunun verimliliğini düşüren başka bir faktördür. Bu nedenle, tıkanıklığı azaltmak için iş yükünü birçok farklı bloğa yaymak daha iyidir. Bu, ihracat konteynerlerin ve boşaltılan ithalat konteynerlerin birçok farklı bloğa dağıtılmasıyla yapılabilmektedir. Ayrıca ihracat konteynerlerin yüklenme sırası belirlendiğinde konteynerler aynı bloktan arka arkaya alınmamalıdır. Konteynerlerin yerleştirmenin diğer önemli amacı, geri alma sırasında yeniden sıralama (Marshaling) olasılığını en aza indirmektir. Genel olarak, belirli bir saha yerleşimi için gereken ortalama karıştırma hareketi sayısının en aza indirilmesi, genellikle konteyner istifleme sorununun ana hedefi olarak kabul edilmektedir.

- **Depolama Ekipmanları Planlama Problemi (Storage Machine Scheduling Problem) :**

İstifleme problemi çözüldükten ve konteynerin depolama konumu seçildikten sonra, hangi depolama ekipmanının konteyneri belirlenen istifine taşıdığına ve bu taşıma işinin ne zaman gerçekleştiğine karar verilmelidir. Ekipman atama ve taşıma işi sıralama kararları istif vinci planlama problemi ile birleştirilmektedirler.

Her tür taşıma işi, sırasıyla ilgili konteynerin alındığı ve kullanılmış depolama ekipmanı tarafından yerleştirildiği konumlar olan bir başlangıç ve varış noktasına sahiptir. Esas olarak üç tür iş planlanmalıdır: depolama işleri, geri alma işleri ve yeniden konumlandırma işleridir. Bir

depolama işinin başlangıcı genellikle konteynerlerin yatay taşıma ekipmanından depolama ekipmanlarına iletildiği belirlenmiş bir geçiş alanı iken, varış yeri ise istifleme problemi çözülerek konteynerin belirlenen saha bloğundaki konumudur. Bunun tersi, bir geri alma işinin kaynağı bir saha bloğunda bulunmakta ve hedefi teslim alanında bulunmaktadır. Yeniden konumlandırma işleri için hem başlangıç hem de hedef bir saha bloğunda bulunmaktadır. Orta büyüklükteki konteyner terminallerinde, depolama ekipmanlarının çalışma saati başına yüzlerce nakliye işi planlanmalıdır. Ek olarak, her bir saha bloğunun taşıma işlerini ayrı bir planlama problemi olarak ele alarak programlama problemi daha da azaltılabilmektedir. Depolama ekipmanı planlama probleminin kesin yapısı, depolama ekipmanı tipine bağlıdır. Örneğin; SC'lerin yatay taşıma olarak kullanılması durumunda, kendi başlarına da konteynerleri saha bloklarına istifleyebilen aktif yatay taşıma ekipmanları olduğundan diğer depolama ekipmanlarına geçiş gerekli olmayabilmektedir. Araç sevkiyat probleminde olduğu gibi istif vinci planlama probleminin üstün amacı, gemi yanaşma süresinin en aza indirilmesidir. Bununla birlikte, bu hedef doğrudan uygulanamamakta ve bu nedenle bu problem için birkaç hedef bildirilmiştir: ekipman verimliliğini en üst düzeye çıkarmak, ekipmanın boş sürüş ve bekleme sürelerini en aza indirmek ve yatay taşıma sistemi ile senkronizasyon etmektir. Depolama alanı operasyonlarının verimliliği genellikle saha vinçlerinin verimliliğine bağlıdır. Bloklar arasındaki iş yükünü dengelemek için saha vinçleri bazen bloklar arasında hareket ettirilmektedir. İstif vinçleri büyük boyutta ve yavaş hareket ettikleri için hareketleri terminalde önemsiz bir süre boyunca büyük miktarda yol alanı gerektirmektedir. Ayrıca, herhangi bir istif vinçleri bir bloktan diğerine hareket etmek zaman almakta ve saha vinçlerinin verimliliğinde bir kayıpla sonuçlanmaktadır. Her blokta kaç tane saha vincinin çalıştığı ve bir saha vincinin bir bloktan diğerine ne zaman taşınması gerektiği belirlenmelidir. Bu karar, gemilerin kalma süresi, rıhtım vinçleri ve taşıma araçlarının bekleme sürelerini etkilemektedir.

- **Yatay Taşıma Araçları Sevkiyat Problemi (Horizontal Transport Vehicles Dispatching Problem) :**

Rıhtım ile konteyner depolama sahası arasında yatay taşıma araçlarıyla her çalışma saatinin başına yüzlerce konteynerin taşınması gerekmektedir. Bir geminin boşaltma işlemi sırasında, ilgili konteynerlerin rıhtımdan depolama alanına veya yükleme işlemlerinin tam tersi şekilde gerçekleştirilmesine gerekmektedir. Bu taşıma işlerinin her biri, Bu taşıma işlerinin her biri, bir yatay taşıma aracı ile gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle, araç ataması ve taşıma işlerinin sıralanması (yani, hangi aracın hangi taşıma işini hangi sırayla gerçekleştirdiği) konusunda kararlar alınmalıdır. Bu sözde araç sevkiyat problemi, birleşimsel bir atama problemidir. Ancak

pratikte, yüzlerce işin aynı anda tahsis edilmesi gerekmemekte, dahası, konteyner terminallerinin çevrimiçi karakterinden dolayı, yalnızca birkaç dakika içinde meydana gelen bazı taşıma işleri genellikle planlanabilir olarak sınıflandırılmaktadır. Aslında, istifleme planlarındaki değişiklikler ve yanlış araç kullanma süreleri tahminleri, planlama verilerinde sık değişikliklere ve oldukça kısa bir planlama ufkuna neden olmaktadır. Çoğu operasyonel planlama probleminde olduğu gibi, araç sevkiyat probleminin üstün hedefleri: gemi yanaşma süresinin, taşıma sürelerinin, taşıma maliyetlerinin, rıhtım vinçleri ve istif vinçleri bekleme sürelerini ve taşıma filosu boyutunun en aza indirilmesi ve GCR'nin belirli sayıda terminal ekipmanı ile maksimize edilmesidir. Ancak bu hedefler, araç sevkiyat problemi için doğrudan bir amaç işlevi olarak kullanılamamaktadır. Aslında, yüksek hedeflere ulaşmak için farklı operasyonel hedefler formüle edilebilmektedir, örneğin; taşıma araçlarının geç varışları nedeniyle rıhtım vinçleri bekleme süresinin en aza indirilmesi, erken varışlar nedeniyle rıhtım vinçlerinin tamponunda ve saha bloklarında araç bekleme süresinin en aza indirilmesi, araçların toplam boş sürüş sürelerinin en aza indirilmesi ve rıhtım vinçleri ve saha blokları arasındaki düzensiz araç dağılımlarından kaynaklanan araç tıkanıklığının en aza indirilmesidir. Yüksek hızlı rıhtım vinçleri veya istif vinçleri mutlaka konteyner terminallerinde yüksek verimlilik anlamına gelmemektedir. Konteyner taşıma araçlarının sayısını veya hızını arttırmak konteyner terminallerinin performansını her zaman iyileştirmeyebilir. Konteyner taşıma operasyonu, rıhtım ve saha alanları arasında dikkatli bir senkronizasyon konteyner terminallerinin performansını artırmak için çok önemlidir. Elbette, yüksek hedefler, araçların sayısını ve hızlarını artırmaya yönelik terminal tasarım kararlarıyla da kolaylaştırılabilmektedir. Ancak ek maliyetler ve tıkanıklıklar bu tür önlemlerle tetiklendiğinden, operasyonel planlama kararları genellikle terminal operatörlerinin daha yüksek hedeflere ulaşmak için ilk tercihi olmalıdır. Bununla birlikte, bir amaç fonksiyonunun tam konfigürasyonu, seçilen ekipman tipinin kaldırma kapasitesi, uygulanan rıhtım vinçleri tahsis şeması ve konuşlandırılmış taşıma döngüsü modu gibi birkaç faktöre bağlıdır. Örneğin, TT'ler veya AGV'ler yerine SC'ler kullanılarak, yatay taşıma, QC ve depolama işlemlerinden kısmen ayrılabilmek ve bu da geç ve erken araç varışlarına kıyasla EDT'nin (Empty Driving Time _Boş Sürüş Süresi) daha önemli olmasına yol açabilmektedir.

- **Yatay Taşıma Araç Yönlendirmesi (Horizontal Transport Vehicles Routing) :**

Daha ayrıntılı bir düzeyde, yatay taşıma araçlarının tam sevkiyat davranışı hakkında kararlar alınmalıdır. Ayrıntılı olarak, yatay taşıma aracının her sevkiyatı için, hedefine doğru belirli bir

yol seçilmelidir. Ek olarak, farklı taşıma araçlarının yönlendirmesi, çarpışmalardan ve kilitlenmelerden kaçınılacak şekilde çözülmelidir. Örneğin, geçişlerde bir araca geçiş hakkı verilirken diğer araca beklemesi gerekmektedir. Sevkiyat davranışına ilişkin diğer kararlar, geniş alanlı dönüşler ve araçların yeni taşıma işleri için bekleyebilecekleri manevra pozisyonları ile ilgilidir. Hepsi birlikte, bu kararlar, yatay taşıma araç yönlendirmesi problemi başlığı altında toplanabilmektedir. Ancak, TT'ler ve SC'ler gibi insanlı araçlar için tüm bu kararlar sürücü tarafından gerçek zamanlı olarak alınmaktadır. Bu nedenle, bu araç türleri için herhangi bir kontrol sistemi veya algoritma gerekli değildir. Ancak AGV'ler ve ALV'ler gibi otomatik araçlar için farklı konumlar arasında kısa ve çarpışmasız sevkiyat sürelerine izin veren karar kuralları ve algoritmalar uygulanmalıdır.

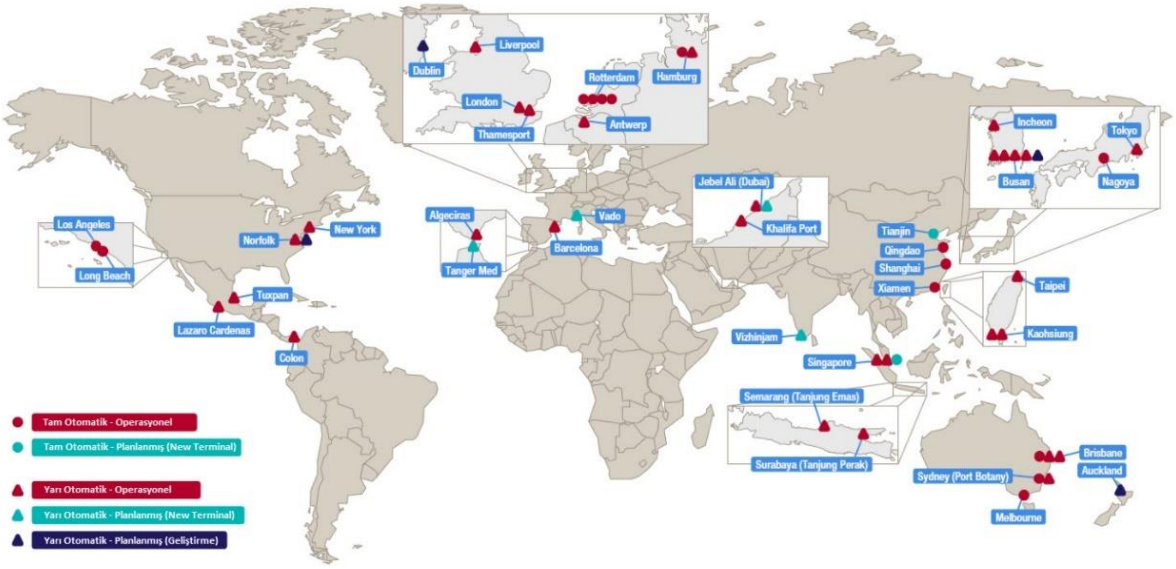
2.3. KONTEYNER TERMİNALLERİ OTOMASYONU

Bu bölüm dünyanın her tarafında modern otomatik konteyner terminaline üst düzey genel bir bakış sunmaktadır. Halihazırda benimsenen ve şu anda dünya çapında ele alınan çeşitli yaklaşımların ana hatlarını çizerek otomatik konteyner terminalleri operasyonunun temel ekipmanlarını ve teknoloji bileşenleri açıklanmıştır. Konteyner terminalleri otomasyonunun avantajlarını ve uygulama zorluklarını açıklayarak otomasyon dönüştürme projesinde dikkate alınan konulardan bahsedilmiştir.

2.3.1. Konteyner Terminalleri Otomasyonu Genel Tanıtımı

Otomatik konteyner terminalleri (Automated Container Terminal- ACT) kavramı ilk olarak 1980’lerde getirilmiştir. Dünyanın ilk otomatik konteyner terminali 1990'ların başından beri faaliyet gösteren Hollanda'daki ECT Terminal (Europe Combined Terminal) kabul edilmiştir. ECT Terminali’nde otomatik istif vinçleri (ASC) ve otomatik terminal traktörü (AGV) kullanılmıştır. Daha sonra 2000 yılında Almanya'nın Hamburg kentindeki HHLA CTA Terminali (Container Terminal Altenwerder) açılmıştır. Son olarak Çin'in Şangay'daki yeni inşa edilmiş tam otomatik Xiamen Ocean Gate Terminali birçok yenilikçi teknolojiyi benimseyerek dünyanın en büyük ve en gelişmiş otomatik konteyner terminalini temsil etmektedir. Otomasyon ilk olarak Almanya ve Hollanda gibi yüksek işçilik maliyetleri olan ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak günümüzde otomasyon işçilik, elektrik, arazi, yakıt vb. yüksek değişen maliyetleri olan birçok ülkede kullanılmaktadır. Otomasyon bir seviyeye kadar yeni inşa edilen tüm konteyner terminalleri için bir standart olmuştur.

Yavaş başlangıcına rağmen otomatik konteyner terminali hızlıca yayılmaktadır. İlk otomatik terminalin (ECT Delta, Rotterdam, 1993) açılmasından beri 28 yıl içinde dünya çapında 35 otomatik terminal açılmıştır. Otomatik terminallerin artan hızını ve yayılmasını göstermek amacıyla 2012'den beri dünya çapında çeşitli otomasyon seviyelerine sahip 15'ten fazla yeni otomatik terminal açılmıştır. Şekil 2.24, dünyanın dört bir yanında mevcut otomatik terminalleri göstermektedir. *Marketsandmarkets* araştırma grubuna göre yarı ve tam otomatik konteyner terminalinin pazarı şu anda 9,09 milyar dolar değerindedir. Raporun 2023 yılına kadar %20'lik bir artışla 10,89 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir. Rapor, büyümeyi daha büyük konteyner gemilerine yönelik artan talebe, gelişmiş ülkelerdeki yüksek işçilik maliyetlerine ve konteyner terminalleri arasında artan rekabete dayanmaktadır. Asya Pasifik, otomatik konteyner terminali pazarında en büyük paya sahiptir ve onu Avrupa ve Kuzey Amerika izlemektedir.



Şekil 2.24: Dünyanın dört bir yanında mevcut otomatik terminaller (Container Terminal Automation Conference, 2018).

Otomatik konteyner terminalleri ekipmanın görev döngüsünün %100'ünde doğrudan insan etkileşimi olmadan çalışan en azından bazı konteyner elleçleme ekipmanlarına sahip terminaller olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, otomatik konteyner terminallerinde operasyonlar herhangi bir insan müdahalesi olmadan gerçekleştirilmektedir. Otomatik konteyner terminalleri tam otomatik ve yarı otomatik olarak ikiye ayrılmaktadır;

– Tam otomatik konteyner terminalleri: Hem saha hem de yatay taşıma operasyonlarının insansız olarak yürütüldüğü terminallerdir.

- Yarı otomatik konteyner terminalleri: Sadece saha operasyonlarının kısmen otomatize edildiği terminallerdir. İstif alanlarındaki ekipmanlar otomatikleştirilirken, rıhtım ve yatay arasındaki taşıma operasyonları manuel ekipmanlarla gerçekleştirilmektedir.

2.3.2. Otomasyon Dinamikleri

Otomasyonun uygulamasının ana itici faktörleri genellikle terminalde elleçlenen konteyner başına maliyeti azaltmak (işçilik maliyetini ve ekipman hasarı ve bakımını azaltmak) ve tutarlı bir verimlilik ve müşteri hizmeti seviyesini sağlamaktır. Geliştirilmiş güvenilirlik, tutarlılık, öngörülebilirlik ve operasyon güvenliği, ayrıca çevresel etkinin azalması da önemli faktörlerdir. Konteyner terminalleri pazarında otomasyonun uygulamasının itici faktörleri aşağıda daha detaylı incelenmiştir.

- ***Gemi başına hacim büyümesi:*** Gemilerin büyüklüğü arttıkça konteyner sayıları de aynı şekilde artmaktadır. Terminal operatörleri, mega gemilere hizmet verebilmek için daha yüksek konteyner sayılarını elleçlemek zorundadır. Başka bir deyişle terminaller büyük gemileri barındırmak için daha kısa sürede nispeten daha fazla konteynerleri elleçlemelidir. Terminaller, hizmet verdiklerinden önemli ölçüde daha büyük gemilere hizmet vermeyi öngörürse otomasyon bir çözüm olarak araştırılmaya değer olabilmektedir.

- ***Yüksek işçilik ve güvenlik maliyeti:*** Geliştirilmiş ülkelerde otomasyon insan gücü ortadan kaldırılmasıyla maliyetleri azaltmanın bir yolu olarak gerçekleştirilmiştir. İşçilik maliyetleri, manuel terminallerin işletme maliyetinin büyük bir kısmıdır. Dahası, ekipmanların otomasyonu yoluyla insanlar çalışma alanından uzaklaştırılarak insanın terminalin tehlikeli ortamına maruz kalması azaltılmaktadır. İşçilik maliyetleri, nitelikli işgücü kıtlığı veya yaralanmalar bir terminaldeki karlılığı ve verimliliği engellerse otomasyon bir çözüm olarak araştırılmaya değer olabilmektedir.

- ***Terminal yoğunlaştırma:*** Gemi başına hacim büyümesi ile karıştırılmamalıdır. Terminal yoğunlaştırma, terminalin sınırlı arazi alanında artan konteyner sayılarının elleçlemesine maruz kaldığı durumları ifade etmektedir. Eğer terminal önemli kapasite büyümesi öngörürse ve bu büyümeyi mevcut yerleşimi üzerinde barındırmak için yeterli alana sahip değilse otomasyon bir çözüm olarak araştırılmaya değer olabilmektedir. Otomasyon sayesinde brüt arazi alanı başına otomatik olmayan bir tesise kıyasla daha yüksek bir verimlilik elde edilmektedir.

- ***Enerji verimliliği, ekipman uzun ömürlülüğü ve çevresel etki azaltışları:*** Çoğu otomatik konteyner terminalleri elektrik ekipmanları kullanmaktadır. Otomatik ekipmanlar hareketleriyle mümkün olduğunca verimli olacak şekilde programlanmaktadır; bu nedenle, manuel operasyonlar kullanıcı hatası nedeniyle gereksiz hareketler yaşayabilirken otomatik terminallerde toplam hareketlerin miktarı gereken minimum hareketlere indirgenmekte ve bu nedenle daha az enerji harcanmaktadır. Ayrıca, insanlı operasyonlar, operatörün tarzına bağlı olarak ekipman üzerinde bozucu etkilere sahip olabilmektedir. Örneğin, bazı vinç sürücüleri, spreader ve konteynerlerin yüklenmesi ve boşaltması ile diğerlerinden daha az dikkatlidir. Bu ekipmanın hasar görmesine, yaralanmasına ve ekipmanların arızalarına neden olabilmektedir. Otomatik sistem getirildiğinde, ekipman tamamen programlama ile kontrol edilmektedir. Bu programlama, ekipmanın güvenli ve nazik bir şekilde çalışmasını sağlayarak daha az ekipman arızası ve bakım yapılmasını sağlamaktadır. Son olarak, otomatik ekipmanlar gittikçe daha fazla pille çalıştığından terminallerdeki dolaylı emisyonlarda azalma sağlanabilmektedir. Yüksek enerji maliyetleri, yüksek düzeyde gerekli bakım veya çevresel endişeler bir terminalde önemli konularsa otomasyon bir çözüm olarak araştırılmaya değer olabilmektedir.

2.3.3. Konteyner Terminallerinde Otomasyon Seviyeleri

Otomasyon, her biri farklı avantaj ve dezavantajlara sahip olan birkaç farklı form alabilmektedir. Terminal operatörleri otomatize etmek veya etmemek ve eğer öyleyse, otomatik teknolojiyi ne ölçüde uyguladıkları konusunda kendi kararlarını vermektedir. Liman veya terminal için doğru otomasyon seviyesini seçmek mevcut sistemlere, işletim ortamına, iş hedeflerine ve ihtiyaçlarına bağlıdır. Terminaller proses otomasyonu veya operatör destekli hareketlerle başlamayı seçebilmektedir. Bu durumda terminalin bazı hareketlerin ve süreçlerin otomatik olup geri kalanı operatörler tarafından manuel olarak kontrol edilmektedir. Daha yüksek seviyelerde otomasyon ekipmanları operatör olmadan tüm hareketleri otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir. Operatörün varlığı yine de süreçlerin denetlenmesi ve istisnai durumların üstesinden gelebilmek için gerekmektedir. *KALMAR* tarafından konteyner elleçleme ekipmanlarına yönelik birkaç aşamalı otomasyon seviyesi tanımlanmıştır. Aşağıda ayrıntıları verilen seviyelerin gösterge niteliğinde olduğu ve bir otomatik istif vinci (AutoRTG) sisteminin uygulamasına dayandığı unutulmamalıdır. Ancak bu durum diğer konteyner elleçleme ekipmanları için de geçerlidir.

- **Seviye 0: Proses otomasyonu (Process Automation)**

Manuel çalışma modunda ekipmanların operasyonlarını insan kontrol etmektedir. Tipik olarak proses otomasyonu, terminal otomasyonundan faydalanmanın ilk adımı olarak otomatik ekipmanın öncesinden uygulanmaktadır. Proses otomasyonu sayesinde, ekipmanları hala insanlı sürücü ile kontrol edilirse bile filo yönetimi ve operatör yardım çözümleri ile terminal performansı geliştirilebilmektedir. Proses otomasyonu terminallerin performansına iki şekilde katkıda bulunmaktadır. İlk olarak, konteynerlerin ve yatay taşıma ekipmanlarının sürekli takibi sayesinde filo kullanımının ve konteyner hareketlerinin tüm sistem seviyesinde optimize edilmesi sağlanmaktadır. İkinci olarak, proses otomasyonu, yanlış veri girişi veya manuel olarak tamamlanan iş gibi faktörler nedeniyle insan hatalarının sayısını azaltmaktadır. Proses otomasyonu uygulamasından sağlanan verimlilik kazanımları yıllık önemli tasarruf sağlamaktadır.

- **Seviye 1: Uzaktan kumanda (Remote Control)**

Terminal ekipmanları otomasyonunun en temel seviyesidir. Operatörleri konteyner depolama sahasından bir kontrol merkezine getirerek terminalin verimliliği ve güvenliği artırılmaktadır. Operatörler bir ofis ortamında bulundukları için terminaldeki herhangi bir vincin kontrol edebilmektedirler. Bu, operasyonel vinçlerin sayısı yerine ihtiyaç duyulan gerçek hareket sayısına bağlı olarak terminalin personel düzeyini optimize etme imkanı sağlamaktadır. Uzaktan kumanda aynı zamanda operatörlerin sahadaki vinçlere gidip gelmeleri için gereken sürelerini ortadan kaldırmak gibi başka avantajlar da sunmaktadır.

- **Seviye 2: Denetimli otomatik hareketler**

Bir sonraki otomasyon seviyesinde vinç operasyonları terminal işletim sistemi (Terminal Operating System _ TOS) ile tamamen entegredir, böylece işler ekipmanlara özgü ayrı bir sistemde değil, entegre bir çözümde ele alınmaktadır. İş geldiğinde kontrol masası ile vinçler arasında bağlantı otomatik olarak oluşmaktadır. Bu otomasyon seviyesinde RTG vinçleri istifleme alanında kaldırma, trolley ve portal hareketlerini hedef konuma doğru otomatik olarak yürütmektedir (operatörün gözetimindedir). Çoğu durumda denetlenen operasyon, diğer konteynerlerle çarpışma potansiyelini azaltırken operasyonu hızlandırmaktadır. Vinç kendini otomatik olarak hedef konteynerin üzerine doğru bir şekilde konumlandırdığından her harekette değerli saniyeler tasarrufu sağlanmaktadır. Otomatik hareketler de daha akıcıdır, bu da ekipmanlar daha az aşınma ve yıpranmaya neden olmaktadır. Tamamlandığında, işler otomatik olarak terminal işletim sistemine bildirilmektedir, bu da insan hatalarını azaltmaktadır.

- **Seviye 3: Yarı otomatik operasyonlar (Semi-Automated Operation)**

Daha yüksek verimlilik ve performans için daha gelişmiş otomasyon özellikleri eklenebilmekte ve bu seviyede uzak operatörler kişi başına daha fazla vinçleri kontrol edebilmektedir. Yarı otomatik RTG operasyonlarında vinçler konteynerlerin yüklenmesi/boşaltılması ve istif alanına yerleştirilmesinin yanı sıra portal hareketlerini de otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Bu otomasyon seviyesi konteyner elleçleme başına gerekli operatör sayısını önemli ölçüde azaltmaktadır. Portal hareketleri operatör kontrolü altında gerçekleşirken, kamyon şeridi işlemleri ve istisna yönetimi uzaktan kumanda ile gerçekleştirilmektedir.

- **Seviye 4: Tam otomatik operasyonlar (Full-Automated Operation)**

Son olarak, tam otomatik bir kurulumda vinç operasyonu konteyner yükleme ve boşaltma, portal hareketleri ve kamyon şeridi operasyonu dahil tüm vinç fonksiyonları otomatikleştirilmektedir. Gerekirse bir operatör istisnaları uzaktan yönetmek için hala devreye girebilmektedir. Tam otomatik sistemlerde vinç hareketi başına operatör süresi en aza indirilmekte ve istif hazırlık işlemler tam otomatik olabilmektedir. Bu seviye, insanlar olmadan tamamen ayrılmış bir otomasyon alanında çalışabilen otomatik konteyner taşıma ekipmanları için standarttır. Örnek olarak, otomatik istif vinçleri ve yıllardır çeşitli terminallerde kullanımda olan AutoStrad straddle taşıyıcılar verilebilmektedir.

2.3.4. Otomasyon Avantajları

Otomasyon her büyüklükteki terminallere faydalar sağlamaktadır. Çok küçük bir terminal bile ilk otomasyon seviyesinden (Uzaktan Kumandalı Operasyonlar) performans kazanımları gerçekleştirebilmektedir. Otomasyon, uzaktan kumandalı operasyondan tam otomatik operasyonlara kadar adımlarla uygulanabilmektedir. Küçük bir başlangıç yatırımı ile bile anında fayda sağlanmakta ve daha sonra her zaman daha fazlası eklenebilmektedir. Otomatik terminaller konvansiyonel veya manuel terminallere göre birçok belirgin avantajları sunmaktadır. Otomasyonun avantajlarından yeni inşa edilen yeşil terminaller veya mevcut terminaller faydalanabilmektedir.

Otomasyonun avantajları düşük işletme maliyetleri, ekipmanlar filosunun daha verimli kullanımını, geliştirilmiş terminal verimliliği, kapasitesi, iş güvenliği ve güvenilirliğini içermektedir. Otomasyon, terminallerin katı çevresel düzenlemelere uyarken daha fazla konteynerleri daha kısa sürede ve daha küçük alanlarda elleçlemesine yardımcı olabilmektedir.

Otomasyonun sağladığı verimlilik artışı operasyonel maliyetleri düşürürken aynı zamanda gelecekteki büyüme için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Otomasyon kalıcı, öngörülebilir ve güvenilir performans sağlamaktadır. Bu da planlama ve gemi elleçlemesini güvenilir hale getirmekle beraber terminale rekabet avantajı sağlamakta ve işi arttırmaktadır.

Otomatik terminallerde en acil ve en fark edilen avantajlar, işçilik ve bakım maliyetleri gibi terminal işletme giderlerinde önemli tasarruflardır. Liman ve nakliyecilerdeki verimsizlikler sektöre yılda 17 milyar dolara mal olmakta ve tam otomatik terminal gerekli işçi sayısını en az %45 oranında azaltabilmektedir (iContainers, 2018). Otomasyon, terminalin önemli maliyet artışları veya personel seviyelerini dikkatlice optimize etme ihtiyacı olmadan filonun günde 24 saat çalışmasını sağlamaktadır. Çok sayıda otomatik ekipmanlar filosu yalnızca birkaç yetenekli operatör tarafından kontrol edilebilmektedir. Bu, terminal operatörlerinin çalışma saatlerini uzatmasını ve müşterilere mümkün olan en iyi hizmeti sunmasını sağlamaktadır. Sessiz zamanlarda, filonun tamamını çalıştırmak ve gemilere hizmet vermeye hazır tutmak için yalnızca bir veya iki operatöre ihtiyaç duyulmaktadır. Otomasyon aynı zamanda pik saatlerde araç tıkanıklığını azaltmaya yardımcı olurken, vinç operatörlerinin gündüz vardiyasında vinçlere gidip gelmeleri gerektiğinde zorlu "sıcak değiştirme" prosedürlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır.

Otomatik terminallerde işlemler çok akıcıdır. Agresif bir sürüş görülmemekte, hiçbir konteyner yere çarpmamakta ve her şey istikrarlı, sistematik bir şekilde ilerlemektedir. Otomatik terminallerde yatay taşıma ekipmanları ve istif vinçleri her zaman en iyi şekilde kullanılmaktadır. Otomasyon yoluyla, gereksiz hareketlerin azaltılmasıyla ekipmanların faydasını artıran terminal optimizasyonu elde edilebilmektedir. Bu verimlilikler nedeniyle, aynı kapasite, manuel bir operasyon için gerekenden daha az otomatik ekipmanlarla elde edilebilmektedir. Optimum sürüş modelleri, daha az iklimlendirme gereksinimi ve ekipman boşta çalışma süresi boyunca motor durdurma işlevinin tutarlı bir şekilde uygulanmasıyla önemli yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Otomatik terminaller ayrıca depolama alanında daha az aydınlatma gerektirmekte, bu da güç tüketimini azaltmakta ve operasyonların çevresel etkisini ve karbon emisyonlarını azaltmaktadır.

Otomatik terminallerde işletim personelinin genel çalışma koşullarında büyük bir değişiklik getirmektedir. İç mekân çalışmalarına geçerek çalışanların artık gürültüye ve diğer emisyonlara, soğuk ve sıcağa, kötü ergonomiye veya titreşimlere maruz kalan açık havada

çalışması gerekmemektedir. Otomatik terminaller, insanları ağır iş makinelerinin çalışma alanından uzak tutarak iş güvenliğinde önemli gelişmeler sağlamaktadır. Otomasyon nitelikli işler sunmakta ve terminal operasyonlarında kadınlar da dahil olmak üzere kariyer yapmayı düşünmeyen insanlar için yeni kapılar açmaktadır.

Ayrıca, otomatik sürüş sistemi çarpışmaları ve kazaları ortadan kaldırarak terminalin sigorta primlerini düşürmekte, geçici onarım ihtiyacı da önemli ölçüde azalmakta ve uzun vadede maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Otomatik terminaller otomatik konteyner elleçleme ekipmanları ve tüm konteynerlerin konum takibi sayesinde hem kargo hem de personelin güvenliğini artırmaktadır. Artan güvenlik, finansal kayıpları azaltırken müşteri güvenine ve terminal rekabetçiliğine katkıda bulunmaktadır. Otomatik konteyner terminalleri, konteyner terminallerinin performansını geliştirmek ve deniz taşımacılığında geleceğin zorluklarını karşılamak için potansiyel adaylardır.

2.3.5. Otomasyon Uygulama Zorlukları

Otomasyon büyük bir yatırımdır ve bazı terminaller bu tür modernleşmeyi engelleyen yerel mevzuat veya sendikalar nedeniyle kısıtlamalar ve zorluklarla karşılaşabilmektedir. Ancak yine de oldukça yeni bir konsepttir, bu nedenle bazı terminallerin kendi yatırımlarını yapmadan önce öncü terminallerde işlerin nasıl çalıştığını görmek için beklemeleri anlaşılabilmektedir (iContainers, 2018).

Otomasyonun önündeki engel genellikle algılanan büyük risk ve yatırımdır. Kapasitesine göre çalışan mevcut konteyner terminalleri, yeni otomatik sistemin ne kadar umut verici olacağı önemli değil, geliştirmeye yönelik terminalin bir kısmını kapatmakta büyük zorluk vardır. Düşük kar marjla ve yüksek maliyetli çalışan işletmede hiç kimse yeni bir teknolojiyi deneyen ilk kişi olmak istemez özellikle de teknolojinin maliyeti onlarca ve belki de yüzlerce milyon dolara ulaşmaktadır. Konvansiyonel terminallerden otomasyona dönüştürme projesinde terminallerin karşılaştığı zorlukların aşağıdaki sebeplerden dolayı birçoğunu tahmin etmek zordur.

1) Operatörler başarılı terminaller tasarlamaya çalışırken gerekli kararlar son derece karmaşıktır ve birbiriyle bağlantılı çoklu değişkenleri (multiple interlinked variables) içermektedir. Bu yüzden yalnızca yapılandırılmış yaklaşım (Structured Approach) ve amaca yönelik araçlar (Purpose-Built Tools) ile ele alınabilmektedir. Onunla birlikte her iş davası (Business Case) terminalin özel koşullarına son derece bağımlıdır. Genel kurallar sınırlıdır

(örneğin, belirli bir büyüklükteki bir konteyner bloğu için kaç vinç gerektiğine) ve tasarımcılar değerlendirmeyi kendi terminallerinin spesifik durumuna ve iş hedeflerine göre yapmalıdır.

2) Karayolu kamyonları ve gemiler bir programa göre terminale gelmekte ve terminalden ayrılmakta, ancak bu program kesin ve genellikle tahmin edilen bir şey değildir. Terminal içindeki konteyner hareketleri, diğer yüklerin konumlandırılmasına, eşzamanlı gemilerin ve trenlerin gelmesine ve konteyner elleçleme ekipmanının mevcudiyetine bağlı olarak genellikle karmaşık bir hareketlerdir.

3) Terminallerin maliyet yapıları, iş modelleri ve uzun vadeli iş planları hakkında bilgi bulunmamaktadır. Konteyner terminalleri farklı zemin kiralama oranlarına sahip, farklı servis seviyelerinde çalışmakta ve gerçek hizmet maliyetini gizleyen nakliye hattı şirketleri ile finansal ilişkilerde bulunabilmektedir. Terminal operatörleri birbirleriyle rekabet ettiklerinden dolayı bu bilgileri gizli tutmak konusunda büyük bir ilgileri vardır.

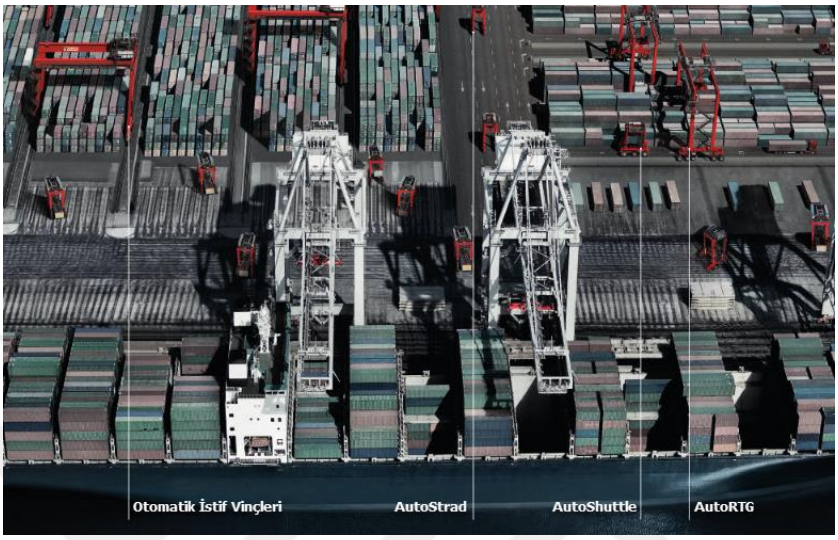
4) Limanda otomasyon yoluyla kazanılacak gerçek verimlilik iyileştirmeleri hem otomasyon teknolojilerinin teorik yeteneklerine hem de otomatik sistemlerin gerçek dünyadaki çalışmasına bağlıdır.

5) Otomatik sistemler uygulandığında terminal operatörlerinin işçilik konusunu nasıl değiştirecekleri açık değildir. Otomasyondan kaynaklanan potansiyel iş kayıplarını tahmin etmek imkansızdır. Liman otomasyonu sadece liman kendisine ait bir çalışma üzerine gerçekleşmemektedir. Otomasyonu limandaki potansiyel iş kayıplarının, rakip bir liman otomasyona geçmesi durumunda ortaya çıkabilecek olası iş kayıplarına karşı incelemek gerekmektedir. Otomasyonla elde edilen maliyet düşüşleri veya verimlilik kazanımları, rekabetçi limana rekabet avantajı sağlayacak kadar büyükse kargo kaymasından kaynaklanan bölgesel iş kayıpları, otomasyondan kaynaklanan iş kayıplarından çok daha büyük olabilmektedir.

6) Gerçek bir maliyet-fayda analizi hazırlamak için incelenen terminallerdeki ve rakip terminallerdeki servis maliyetlerine ve beklenen gerçek iş kayıplarına ilişkin güvenilir verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3.6. Otomatik Konteyner Terminalleri Yük Elleçleme Sistemleri

Kullanılan konteyner elleçleme ekipmanları tipine bağlı olarak, çeşitli tiplerde otomatik konteyner terminalleri şu şekilde sıralanabilmektedir:



Şekil 2.25: Otomatik konteyner terminalleri (Kalmar, 2018).

1. Otomatik İstif Vinçleri Terminalleri (Automatic Stacking Cranes_ASC).

Otomatik istif vinçleri (ASC) ilk kez 1990 yılında Hollanda'nın Rotterdam ECT Delta Terminali'nde tanıtılmış olup günümüzde shuttle taşıyıcıları ile DP World London Gateway, DP World Brisbane CTB ve Hamburg gibi terminallerinde kullanılmaktadır. Otomatik istif vinçleri mümkün olan en yüksek kapasiteyi ve istifleme yoğunluğunu sağlamaktadır. ASC'ler genellikle verimlilik ve istifler yoğunluğunun önemli anahtar performans göstergeleri olduğundan büyük terminallerde kullanılmaktadır. Ayrıca orta büyüklükteki terminaller için uzun vadede düşük maliyetli bir çözüm olduğu kanıtlanmıştır. ASC'ler terminallerinde otomatik shuttle taşıyıcıları (Automated Shuttle Carriers), otomatik terminal traktörü (AGV), otomatik straddle taşıyıcıları (Autostrad), terminal traktörleri ve terminal şasisi gibi konteyner yatay taşıma araçları olarak kullanılabilmektedir.

2. Otomatik Lastik Tekerlekli İstif Vinci Terminalleri (AutoRTGs).

AutoRTG'ler yüksek istifleme yoğunluğunu mükemmel manevra kabiliyeti ile birleştirmektedir. Bu, onları hem orta büyüklükteki hem de daha büyük terminaller için mükemmel bir uyum sağlamaktadır. Mevcut büyük RTG filoları nedeniyle, mevcut vinçlerin kademeli otomasyonu birçok terminal operatörü için ticari olarak uygun bir seçenektir. Halbuki terminal operatörlerinin büyük ek sermaye harcamalarına gerek kalmadan mevcut ekipmandan

maksimum faydayı elde etmesine olanak tanımaktadır. Otomatik RTG terminallerinde yatay taşıma ekipmanlarının çeşitli seçenekleri kullanabilmektedir. Bunlar, manuel terminal traktörleri, manuel shuttle taşıyıcılarından otomatik terminal traktörleri, tam otomatik shuttle taşıyıcılarına kadar değişebilmektedir.

3. Otomatik Straddle Carrier Terminaller (AutoStrad).

AutoStrad terminallerinde straddle taşıyıcı adlandırılan insansız araçlar hem konteyner yatay taşıma aracı hem de depolama aracı olarak kullanılmaktadır. AutoStrad araçları, navigasyon bütünlüğü açısından bağımsız ve otonomdur. AutoStrad araçları (2 cm) hassasiyetle sanal rotalara göre giderek eşsiz güvenilirlik ve esneklik sağlamaktadır. AutoStrad araçlarının konteynerleri kaldırıp yere yerleştirme özelliği, rıhtım ve depolama vinçlerinin görev döngülerini ayırma ve rıhtım vincin arkasında tampon istiflerinin oluşturulmasına izin verme ile birlikte, teknolojinin esnekliği terminal verimliliğini ileriye taşımaktadır. Kanıtlanmış tasarımı, üstün güvenilirliği ve kolay bakımı ile straddle taşıyıcılar endüstri işgücüdür. Hibrit versiyona dayalı bir AutoStrad %40'a kadar daha az yakıt tüketerek daha da fazla işletme maliyeti ve operasyonları daha sürdürülebilir hale getirmektedir. AutoStrad sistemi tipik olarak orta büyüklükteki terminaller için uygundur. AutoStrad terminalini gerçekleştirmek basit, düşük riskli ve nispeten kısa bir zaman dilimi içinde uygulanmaktadır. AutoStrad araçları kullanılarak kapasite ve verimlilikte herhangi bir geçici düşüş olmadan manuel terminalden otomatik bir terminaline dönüştürülmektedir. Ancak, AutoStrad manevra yapmak için geniş bir alan ihtiyaç duymaktan ve kendisindeki düşük istifleme yüksekliğinden dolayı genel olarak çok düşük bir istifleme yoğunluğu vermekte ve geniş bir arazi alanına ihtiyaç duymaktadır. Yüksek istif yoğunluğu gerektirdiğinde AutoStrad yine de otomatik istif vinçlerinin yanında konteyner yatay taşıma sistemi olarak kullanılabilmektedir.

2.3.7. Otomasyona Dönüştürme Süreçleri

Düşük maliyetler, çevresel iyileştirmeler, enerji verimliliği ve gelişmiş güvenlik gibi otomasyonun birçok potansiyel faydası olsa da terminal otomasyonu tek boyutlu bir senaryo değildir ve piyasadaki her konteyner terminaline fayda sağlamayabilmektedir. Hangi terminallerin otomasyona aday olacağını belirleme hedefi zor bir iştir. Bununla birlikte, otomasyona dönüştürme projesini düşünen terminaller bazı yaygın gerekçe faktörlerini tartışmalı ve özetlemelidir. Otomasyonu düşünen liman otoriteleri ve terminal operatörleri için, hangi seçeneklerin mevcut olduğunu ve hangi otomasyon modelinin terminallerine en uygun

olabileceğini daha iyi anlamak için eğilimi yönlendiren piyasa güçlerinin yanı sıra mevcut otomatik ekipman ve sistemlerin envanterinin incelenmesi gerekmektedir.

Mevcut konteyner terminallerini otomasyona dönüştürme projesi derin uzmanlık, dikkatli planlama, geniş kapsamlı sistem entegrasyonu ve teknik uygulamanın ötesinde çok sayıda faktörleri göz önünde bulundurma yeteneği gerektiren karmaşık bir projedir. Otomasyona dönüştürme projesi çevre, ekonomi ve insanlar açısından sürdürülebilir bir şekilde yürütmek için hem terminal hem de tedarikçi terminalin iş süreçlerinin yanı sıra kurum kültüründe derin değişikliğe dikkatlice haritalamaya odaklanmalıdır. Terminalleri otomatikleştirmek sadece yeni ekipmanlar eklemek değil, aynı zamanda terminal operasyonlarını yönetmek için yeni bir yol anlamına da gelmektedir. Gerçek otomatik sistemin yanı sıra terminalin tüm organizasyonunda kapsamlı değişim yönetimi (Change Management) de vardır, çünkü otomatik terminalin çalıştırılması, terminali iş süreçlerinin (Business Processes) kapsamlı bir şekilde değiştirilmesini ve terminali çalıştıran personellerinin farklı beceri setlerini (skill sets) gerektirmektedir. Aşağıda otomasyona dönüştürme sürecinin esnasında dikkate alınan konular finansal etkisinden terminal altyapı tasarımı ve teknoloji seçeneklerine kadar sıralanmıştır.

1. Dönüştürme zaman dilimleri (Timeframes for Conversion): Manual terminallerin otomasyona dönüştürülmesi için gereken süre büyük ölçüde hedef otomasyon seviyesine, projenin istenen aşamalı uygulamasına ve ekipmanların miktarına ek olarak terminalin özel tasarımına, ihtiyaçlarına, çalışma ortamına ve iş hedeflerine bağlıdır. Ancak, bir otomasyon dönüştürme projesi için tipik bir zaman aralığı 12 ila 18 ay arasındadır. Dönüştürme zaman dilimleri planlarken ya yeni sistemlerin maksimum testi için ya da otomatik işlemlerin gerektirdiği yeni süreçlerin ve organizasyon kültürünün hızlı benimsenmesi için optimize edilip edilmeyeceği önemli bir husustur. Daha yavaş bir dönüştürme süreci personelin daha kapsamlı teknik testini ve eğitimini sağlamaktadır. Ancak organizasyonel nedenlerden dolayı daha hızlı bir dönüştürme tercih edilmektedir. Bununla birlikte, personel hazırlıkları ve eğitiminin önemli bir kısmı eğitim simülatörleri ve emülasyon ile önceden yapılabilmektedir. Herhangi bir otomasyon projesinde terminalin mevcut operasyonlarında minimum kesintiyle dönüştürmenin gerçekleştirilmesi ve en yüksek verimliliği sağlanması anahtar önceliklerden biridir. Terminalin, dönüştürme süreci boyunca gelir elde ederken okyanus taşıyıcı müşterilerine hizmet vermeye devam etmesi hayati önem taşımaktadır. Genellikle, bu dönüştürme adım adım bir yaklaşım gerektirmektedir. Sistem benzetimi ve dikkatli planlama, tesis içi (on-site) gereken

süreyi önemli ölçüde azaltmakta ve yazılım sistemi entegrasyonu (Software System Integration) gibi görevler terminalde herhangi bir faaliyet başlamadan önce tesis dışı (off-site) gerçekleştirilebilmektedir. Otomasyon sistemi satıcısı tarafından ön entegrasyon da otomatik operasyonun geliştirilmesi için gereken süreyi önemli ölçüde azaltmaktadır.

2. Altyapı (Infrastructure): Otomasyon projesi terminalin tüm altyapısında değişiklik yapılmasını gerektirmektedir. Bu değişikliklerin sadece yatay taşıma ekipmanına odaklanmakla kalmayıp geniş bir perspektiften planlanması gerekmektedir. Dikkate alınması gereken alanlar şunlardır:

- Terminal yerleşim değişiklikleri.
- Güvenlik altyapısı ve erişim kontrolü.
- Otomatik ekipmanlar için navigasyon altyapısı.
- Otomatik / manuel değişim noktaları (Rıhtım arayüzü, kamyon ve demiryolu aktarma alanları, bakım alanları, boş konteyner değişimi, reefer konteynerler elleçlemesi)
- IT ve kablosuz ağlar
- Saha aydınlatması

Terminal yerleşim; Dönüştürme süreci büyük olasılıkla terminal yerleşiminde ve çalıştırma prosedürlerinde değişiklik gerektirmektedir. Otomatik terminallerde otomatik alanı pratik bir şekilde tutmak ve diğer operasyonları rahatsız etmeden insanların bölgeye sorunsuz erişimini sağlamak için karışık otomatik / manuel çalışma gerektiren tüm tesislerin otomatik bölgenin çevresine yerleştirilmesi veya yeniden konumlandırılması gerekmektedir.

İnsan ve makineyi Ayırma; Otomatik işlemler ve insanların çalıştığı alanlar arasında sıkı bir ayrım sağlamak ve ikisi arasında güvenli arayüzler tasarlamak otomatik terminallerdeki güvenlik açısından en önemli konulardan biridir. Manuel elleçleme gerektiren standart dışı tüm yükler otomatik çalışma alanından uzak tutulmalıdır. Yatay taşıma ekipmanlarıyla aynı alanda hareket eden insanların dahil olduğu tüm faaliyetler için katı güvenlik protokolleri geliştirilmelidir. Otomasyon dönüştürme projesi planlanırken bu işlevler için karışık otomatik / manuel operasyonlar (bakım, yakıt ikmali, yıkama, resifler, vb.) olan alanlarda erişim kontrolü (Access Control), güvenlik sistemleri (Safety Systems) ve fiziksel engel (Physical fencing) oluşturulmasına özellikle dikkat edilmelidir.

Navigasyon altyapısı; Otomatik terminaller navigasyon altyapısı gerektirmektedir. Navigasyon altyapısı tipik olarak aydınlatma kulelerine ve/veya alanın etrafındaki binalara monte edilen radar işaretleri (Radar Beacons) veya saha kaldırımına gömülü manyetik işaretlerini (Magnetic Markers) içermektedir.

Yazılım entegrasyonu; Otomatik terminallerde yazılımlar ne kadar iyiyse kontrol ettiği otomatik ekipmanlar o kadar iyidir. Otomatik yatay taşıma ekipmanlarından istenen performansı elde etmek için terminalin ERP (Enterprise Resource Planning- kurumsal kaynak planlaması), TOS (Terminal Operating System- terminal işletim sistemi) ve diğer sistemler göreve hazır olmalı ve istisnalarla başa çıkmanın etkili yollarını sunarken gerekli iş süreçlerini sorunsuz bir şekilde yerine getirecek şekilde tasarlanmalıdır. Verimli otomatik terminaller iş süreçlerinin dikkatlice eşlenmesini gerektirmektedir. Yazılım entegrasyonunun depolama alanı ekipmanından süreç otomasyonuna kadar her düzeyde gerçekleşmesi gerekmektedir. Tüm alt sistemler dahil olmak üzere komple sistem tasarımı, alt sistemler arasındaki rollerin ve arayüzlerin açıkça belirtildiği tek bir iş süreci ve istisna senaryosuna göre uygulanmalıdır. Yeni teknolojinin bir otomasyon projesine sorunsuz ve verimli bir şekilde yerleştirilmesi, tüm alt sistemlerin planlanan iş süreçlerine uygun bir çözüm oluşturmasını sağlamak için kapsamlı test ve simülasyon gerektirmektedir. Testler yalnızca birkaç büyük sorun sunan rutin senaryolarına değil, gerçek operasyonda genellikle en önemli olumsuzluklara neden olan istisna durumlarına odaklanmalıdır.

3. Navigasyon (Navigation): Otomatik terminallerde otomatik ekipmanların çalışma alanındaki konumunu ve yönünü güvenilir ve doğru bir şekilde belirleyebilen bir navigasyon sistemi gerekmektedir. Şu anda mevcut olan iki pratik seçenek manyetik ve radar navigasyonudur (Magnet and Radar Navigation). Her iki seçenek de yüksek güvenilirlikle birkaç santimetreden daha az konum doğruluğu sunmakta ve gerçek terminal işlemlerinde kanıtlanmıştır. Genellikle otomatik yatay taşıma ve otomatik istif vinci sistemlerinde manyetik navigasyon ve otomatik straddle taşıyıcı terminallerinde radar teknolojisi kullanılmaktadır. En iyi seçenek her zaman terminalin özel ihtiyaçları tarafından belirlenmektedir. Manyetik navigasyonu ile karşılaştırıldığında radar tabanlı bir sistem daha düşük bir altyapı yatırımı gerektirmektedir. Ayrıca radyo frekansı tanımlama (Radio-frequency Identification_RFID) zaman zaman otomatik yatay taşıma ekipmanları için navigasyon teknolojisi olarak

kullanılmaktadır. Ancak manyetik ve radar navigasyonu ile karşılaştırıldığında RFID önemli bir fayda sağlamamakta ve çeşitli sınırlamaları vardır.

4. Emniyet ve güvenlik (Safety and Security): Herhangi bir otomatik terminaldeki en önemli güvenlik unsuru, otomatik ve manuel operasyonlar alanları arasında sıkı bir ayrım sağlamaktır. Güvenlik açısından bakıldığında RTG terminallerinde olduğu gibi manuel kamyon şeridi işlemleri olmadığından straddle taşıyıcı terminalinin otomatikleştirilmesi nispeten kolaydır. RTG terminallerinde dikkate alınması gereken kilit alan kamyon şerididir. Kamyon şeridi karayolu kamyonlarının yüklenmesi ve boşaltılması için güvenli ve pratik bir arayüzü sağlamak üzere tasarlanması gerekmektedir. Sürücü arayüzüne ve sürücü bekleme alanlarına özellikle dikkat edilmelidir. Kapı tarafından operasyonlarında yeterli verimliliği sağlamak için karayolu kamyonları kamyon şeridinin uzunluğu boyunca belirlenen yerlerde kamyon şeridine güvenli bir şekilde girip çıkabilmelidir. Gerekli güvenlik çözümlerinin, seçilen yatay taşıma çözümünün türüne göre uyarlanması gerekmektedir. Altyapı ve terminal yerleşimi hususlarına ek olarak, işgücü genelinde yeni bir güvenlik zihniyetinin aşılanması gerekmektedir. Otomatik alana erişmek için güvenli çalışma prosedürlerinin benimsenmesi ve çalışanların yerel olarak eğitilmesi gerekmektedir (güvenlik el kitabı yeterli değildir).

5. Bakım (Maintenance): Manuel sistemler mükemmel durumda olmasalar bile çalışmaktadır, çünkü insan operatörler genellikle her bir ekipmanın tuhaflıklarını ve eksikliklerini telafi edebilmektedirler. Otomatik ekipmanlar ve tüm sistemin tam potansiyellerini sağlamak için her zaman %100 çalışma durumunda olması gerekmektedir. Bu bakım işlemleri için büyük bir tutum değişikliği gerektirmektedir. Manuel ekipmanlarda genellikle kabul edilebilir olan %75 ila %80 ekipman ve sistem koşulu artık yeterli değildir. Otomatik terminallerde sık önleyici bakıma vurgulanmalıdır. Bununla birlikte, bu bakım genellikle planlanan aralıklarla yapıldığından operasyonlara etkisi minimum olmalıdır.

6. İnsan kaynakları (Human Resources): Otomasyon, IT'nin mühendislik ile buluştuğu yerdir. Geleneksel manuel terminallerde bunlar genellikle birbirleriyle çok az temas eden iki ayrı ekiptir. Otomasyon projesinde işbirliği yapmaya başlamalı ve insanların beceri ve sorumluluklarının birbiriyle eşleştiği ve karşılıklı sorumlulukların açıkça tanımlandığı ortak bir ekip oluşturmaları gerekmektedir. Otomatik terminaller için farklı bir çalışan profili gerekmektedir. Otomatik ekipmanın daha sıkı bakım standartları için daha ileri düzeyde bakım

mühendisliği becerileri de gereklidir. Ayrıca, otomatik işlemler aşağıdakiler de dahil olmak üzere diğer birçok alanda yeni beceri setleri gerektirmektedir;

- Ekipmandaki hataları rapor etmekle beraber veri kullanımı ve analizi yapmak
- Otomatik ekipman ve sistemlerin çalışma prensiplerini anlamak
- Operasyonlar ve bakım çalışmalarının sistematik olarak planlanması
- Veri madenciliği
- Ölçüm ve sensor teknolojisinde yeterlilik (insan duyularının yerini almaktadır).

Ele alınması gereken yeni görevler arasında otomasyon sistemi uzmanları, sistem optimizasyon mühendisleri, IT sistem servis ve bakım profesyonelleri ve iç personel ve dış partiler için eğitmenlerdir. Öte yandan, temel konteyner operasyonu ve geleneksel bakım görevleri için önemli ölçüde daha az çalışan gerekmektedir. Bu yetkinlikler şirket içinde oluşturulabilmekte veya güvenilir bir harici sağlayıcıdan edinilebilmektedir.

7. Değişim yönetimi (Change Management): Otomasyon uygulaması sadece bir teknoloji projesi değildir, aynı zamanda terminalin tüm alanlarında değişiklik yapılmasını da içermektedir. Otomasyon, terminal işgücünün profilini ve yapısını değiştirmektedir. Genel olarak otomatik terminaller daha az ama daha iyi eğitimli personel gerektirmektedir. Otomasyonun bir terminalin işleyişinde büyük bir kültür değişikliği olduğu sıklıkla gözden kaçan veya hafife alınan bir gerçektir. Bir otomasyon uygulamasının başarılı olması için bu kültür değişikliğinin yönetilmesi teknik uygulamadan daha önemlidir. Bu nedenle, tüm operasyonun ve işgücünün değişim yönetimi en baştan dikkate alınmalıdır. İşgücünün iş profili dönüştürülecek yeni bir bakım yaklaşımı gereklidir, mühendislik operasyonlarının birleşmesi gerekmekte ve iş süreçlerinin eskisinden daha dikkatli bir şekilde planlanması gerekmektedir. Otomatik ekipmanları çalıştıran ve yöneten kişilerin profesyonel profili, manuel terminali çalıştıran personellerden belirgin şekilde farklıdır. Tamamen yeni beceri setlerine ihtiyaç duyulmakta ve bakım standartlarının iyice gözden geçirilmesi gerekmektedir. İyi planlanmış otomasyon projesi, işgücü eğitimini ve simülasyon araçlarını kullanarak ekipman operatörlerinin becerilerini daha da geliştirmeyi kapsamaktadır. İster yeni bir otomatik terminal oluşturma, ister manuel bir terminali otomatik işleme dönüştürme, değişim yönetimi kritiktir. Ekipman kolayca değiştirilebilmekte, ancak insan davranışının adapte olması daha fazla zaman almaktadır. Başarılı değişim yönetimi, ilgili tüm taraflarla açık bir diyalog gerektirmektedir. Yerel iş örgütleri ve diğer paydaşlarla işbirliği içinde çalışarak otomasyonun önemli işgücü

etkisi dikkatle düşünülmeli ve planlanmalıdır. Koşullar, mevzuat ve endüstri çalışma normları coğrafyadan coğrafyaya büyük farklılıklar göstereceğinden bu sorular yalnızca terminallerin kendileri tarafından tamamen cevaplanabilmektedir.

8. Finansal etki (Financial Impact): Otomasyon net finansal avantajlar sağlamaktadır. Terminal operatörünün maliyet yapısı dikkate alınarak kesin rakamlar (İşletme giderleri (OPEX), Sermaye giderleri (CAPEX), geri ödeme süresi, yatırım getirisi) hesaplanmalıdır. Maaş maliyetlerindeki tasarruflar basit ve hemen bariz faydalıdır ve onun otomasyon satıcısıyla birlikte hesaplanması kolaydır. Otomasyon uygulaması mevcut seçeneklerle karşılaştırıldığında tipik olarak beklenen işletme maliyeti analiz sonuçları (OPEX) tarafından yönlendirilmektedir.

İş vakası oluşturma: Otomatik terminallerde ihtiyaç duyulan ekipmanın sermaye maliyetleri şaşırtıcı derecede yüksektir, bu nedenle bu tür yatırımların için net bir iş vakasının yapılması gerekmektedir. Terminalin manuel operasyondan otomatik olana dönüştürülmesi için uygun şekilde bir iş vakası oluşturmak için özel bir plan ve uygulama programı oluşturulmalı ve yerine getirilmesi için gereken dinamik hizmetleri sunabilecek bir ana ekip tarafından gerçekleştirilmelidir. Terminal operatörü, öncelikle okyanus taşıyıcı müşterilerinden gelen pazar talebini hesaba katmalıdır (gemi boyutları, gemi hacimleri, öngörülen terminal hacimleri). İkincisi, ev sahibi liman otoritesi ile kendilerine gerekli iyileştirmeler için ödeme yapacak kadar gelir elde etmelerini sağlayacak ücret yapısı ve sözleşme süresi hakkı veren bir kira sözleşmesi müzakere etmelidir. Üçüncüsü, işletim sistemleri ve terminal işletme kapasitelerinin yanı sıra operasyon ve işçilik bütçeleri hakkında sağlam bir anlayış kazanmak için operasyonlarında ve ekipman planlamasında ince ayar yapabilmelidirler. Dördüncüsü, mevcut operasyonlarının manuel bir sistemden otomatik bir sisteme dönüştürme sürecinde nasıl sürdürülebileceğini anlamalıdırlar.

Ekibin ekonomistleri, mal hareketi analizi, gemi büyüklüğü tahminleri, kargo akış analizi, konteyner hacmi tahminleri ve ağ geçidi rekabet analizi yapmalıdır. Bu hizmetler, bir sonraki aşamaya geçmeyi haklı çıkarmak için piyasa talebinin ve hacimlerinin mevcut olduğunu tespit etmek için gereklidir. Dahası, yapılan çalışmalar otomasyonun hacim yetersizliği nedeniyle garanti edilmediğini belirlerse, terminal ekibi başarılı olamayacağını bilerek peşinden vazgeçebilmektedirler. Ancak, çalışmalar otomasyon için uygun pazar talebini belirlerse, ekibin gelir tahminleri ve proje bütçesi üretmek için birlikte çalışabileceği bir temel hacim de oluşturabilmektedirler.

Geri ödeme süresi; Kar marjları ve yatırım geri dönüşü, terminal operatörlerinin karar alma süreçlerinin çoğunu yönlendirmektedir. Otomasyona dönüştürme projesinde terminalin güvenilir bir kargo kaynağına sahip olup olmadığı en kritik noktadır. Otomasyonu seçen terminaller genellikle büyük bir taşıyıcı veya güçlü bir operatör tarafından düzenlenmektedir. Bu taahhütler olmadan ön yatırımların kredi maliyetlerinin her yıl geri ödenmesi zor olabilmektedir. Ayrıca, otomatik terminallere bir ücret savaşı ile meydan okuyabilecek daha küçük ödenmemiş kredileri olan başka terminaller olabilmektedir. Limanda halihazırda taahhüt edilmiş bir kargo hacmine sahip olan operatörler, açıldığında kargoları yeni tesise aktarabilmede bazı avantajlara sahiptir. Yüksek işçilik maliyeti ortamında temsili bir otomatik terminal çalışması, yatırımın geri dönüşünün olumlu olabilmesi için tesisin ortalama işletme kapasitesinin %65'in üzerinde kalması gerektiği sonucuna varılmıştır (Daniel J. ve diğ., 2013).

Bütünleşme (Integration): Bir yandan terminaller genellikle birden çok tedarikçiden gelen bileşenleri birleştirerek dönüştürme maliyetini en aza indirmeye çalışmaktadır. Öte yandan iki sistem arasındaki her arayüzün entegre edilmesi gerekmektedir. Tek tek alt sistem bileşenlerinin maliyetini optimize etmek dar görüşlü bir yaklaşımdır. Büyük otomasyon projelerinde sadece birkaç haftalık bir gecikme, terminalin kapalı kalma süresinde milyonlara mal olabilmektedir. Otomasyon döküntüler "Bits and Pieces" yaklaşımıyla inşa edilirse terminal çok kısa vadede tasarruf edebilmekte, ancak entegrasyon karmaşıklığı ve daha yavaş verimlilik artışı nedeniyle bu tasarruflar yerleştirme aşamasında zaten kaybedilebilmektedir. Buna karşılık, tamamen entegre bir anahtar teslimi çözüm sunabilen satıcılar, daha hızlı uygulayabilen ve aynı zamanda bir bütün olarak daha uygun maliyetli (daha düşük bakım ve destek maliyetleri) olan bir sistem sağlayabilmektedir. Genel sistem ne kadar basitse ve entegre edilmesi ve test edilmesi gereken arayüzü sayısı ne kadar az olursa uygulama o kadar hızlıdır. Tamamen bir seferlik "One-off" çözüm yerine kanıtlanmış, standartlaştırılmış bir platforma dayalı uygulama seçmek, sistemin proje boyunca desteğini sağlamakta ve otomasyon dönüştürme projesi uzun vadeli riskini en aza indirmektedir.

Erken adaptasyonu (Early Adaptation): Otomasyonun benimsenme oranları coğrafyadan coğrafyaya büyük farklılıklar göstermekte ve terminaller aynı ticaret yollarındaki ve / veya aynı bölgedeki diğer terminallerin otomasyon seviyesine bakmaktadır. Otomasyonu rakiplerinden daha erken benimseyen ilk terminaller için rekabet avantajı mevcuttur. Tersine, otomasyon olmadan terminaller kaçınılmaz olarak aynı bölgedeki otomatik terminallere karşı rekabette

geride kalmaktadır. En kötü durumda terminalin işinin sonu anlamına da gelebilmektedir. Terminal otomasyon konseptinin seçimi, terminalin rekabet gücünü koruyup koruyamayacağı konusunda da önemli bir faktör olabilmektedir. Yeni inşa edilen terminalleri için otomasyondan başka bir seçenek yoktur. Mevcut terminaller için otomasyonun faydaları eşit derecede açıktır ve önümüzdeki birkaç yıl içinde bu avantajlar günümüzün son derece rekabetçi küresel konteyner nakliye endüstrisinde önde olmak isteyen operatörler tarafından uygulanmalıdır.

9. Performans göstergeleri (KPI): Başarılı ve sürdürülebilir otomasyon projesi aynı zamanda operasyonel planlaması için yeni anahtar performans göstergeleri (KPI) gerektirmektedir. Bunlar, sistem ve alt sistem düzeyinde performans ölçümü, normal performans seviyesinden sapmaların izlenmesi ve operasyon doğruluğu ölçümünü içerebilmektedir. KPI ölçümü genellikle otomatik sistem yazılımının bir parçasıdır ve otomatik olarak izlenmekte ve raporlanmaktadır. Çok az sayıda otomatik terminal, ilk yıllarda maksimum performanslarını sağlamıştır. Karşı önlemlerin yüksek kullanım modunda kalmasını sağlamak için otomasyon verimliliğindeki değişikliklerin zamanında tespit edilmesi hayati önem taşımaktadır.

10. Simülasyon ve emülasyon ile otomatik operasyonların test ve optimize edilmesi: İş vakasını oluşturduktan ve terminalin otomasyona dönüştürme için uygunluğundan emin olduktan sonra terminal ekibinin görevleri, terminalin operasyonel yerleşimi, terminal ekipmanının seçimi, terminal işletim sisteminin seçimi ve yazılım destekli simülasyon ve emülasyon yoluyla tüm sistemin test edilmesini ve optimizasyonu içermektedir. Terminalin boyutu ve yönü büyük ölçüde konteyner elleçleme ekipmanının seçimini belirlemektedir. Ayrıca, konteyner hacim tahminleri de benzer şekilde bu kararları desteklemektedir, çünkü daha büyük hacimleri işlemek için daha fazla ekipman gerekmektedir. Ekipman seçimi, belirli ekipmanların belirli TOS yazılımlarına daha iyi uyum sağlaması nedeniyle TOS seçimini desteklemektedir. Bu kararlar verildikten sonra operasyonların modellenmesi ve simülasyonu yoluyla bu kararların test edilmesi, bu tür projelerin başarısı için hayati önem taşımaktadır. Simülasyonun bu kadar önemli olmasının nedeni, otomatik bir sistemin gittikçe sabitlenen doğasıdır. Manuel operasyonlardan farklı olarak otomatik sistem bir kez yerine oturduğunda çok az esnekliğe sahiptir. Başka bir deyişle, otomatik sistem oluşturulduktan ve kurulduktan sonra ayar yapmanın kolay bir yolu yoktur. Bu nedenle, operasyonlardaki herhangi bir kusur veya çeşitli bileşenlerin daha büyük sisteme entegre olma ve aktarma noktalarında birbirleriyle iletişim kurma yeteneklerinde başarısızlık, operasyonlar üzerinde olumsuz bir etkiye sahip

olabilmektedir. Bu nedenlerle, terminalin kapasite ve ekipman performansını analiz eden operasyonlarının kesikli olay simülasyonlarını çalıştırmak için terminalin sanal simülasyon modellemeyi kullanan simülasyon yazılımı kullanılmaktadır. Simülasyon, terminal ekibine, terminal operasyonlarının sınırlarını ve sistemin tamamını oluşturan çeşitli bileşenlerin başarılı entegrasyonunu test etmek için olasıdan olası olmayana kadar binlerce senaryoyu modelleme yeteneği sağlamaktadır. Ayrıca, bu aşamada, herhangi bir şey inşa edilmeden önce, ölümcül kusurlardan kaçınılabilmekte ve sistemin performans parametrelerini optimize etmek için küçük iyileştirmeler yapılabilmektedir.

Simülasyon işlemi tamamlandıktan sonra, otomatik terminalin detaylı tasarımı, aşamalı uygulaması ve inşasına geçmeden önce terminal emülasyonu yapılmalıdır. Simülasyon gibi terminal emülasyonu, sanal bir terminali oluşturmak için bir yazılımı kullanmaktadır; ancak temel fark terminal emülasyonunun, TOS ile doğrudan iletişim yoluyla gerçek zamanlı olarak çalışmasıdır. Bu şekilde, çeşitli kesikli olayların başarılı bir şekilde emülasyonu, terminal ekibinin simülasyon çalışmalarından elde edilen bulgularının kanıtlamasına izin vermekte ve böylece inşaat başlamadan önce terminalin planına ve tasarımına daha fazla güven sağlamaktadır. Emülasyon TOS için son bir testtir ve terminal ekibinin terminalleri için doğru sistemi seçtiğini doğrulamaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. SİMÜLASYON MODELLEME

3.1.1. Giriş

Simülasyon, teknik anlamda gerçek bir sürecin veya sistemin işletilmesinin zaman üzerinden taklit edilmesidir. Simülasyon, gerçek veya teorik bir sistemin davranışını ve performansını incelemek için model kullanma işlemidir.

Model ve sistem terimleri simülasyon tanımının temel bileşenleridir. Sistem ortak bir hedefe doğru birlikte çalışan, birbiriyle ilişkili içinde bulunan bir dizi bileşenlerdir. Sistem mühendisliği standardı (The Standard for Systems Engineering) daha derin bir tanımlama sağlamıştır. Buna göre sistem belirtilen ihtiyaçları karşılama yeteneği sağlayan insan, ürün ve süreç bileşimidir. Eksiksiz sistem tesisler, ekipmanlar (donanım ve yazılım), malzemeler, hizmetler, veriler, kalifiye personel ve sistemin etkinliğini sağlamak ve sürdürmek için gerekli teknikleri içermektedir (Örneğin; gemiler, konteynerler, vinçler ve kara kamyonları dahil olmak üzere bir konteyner terminalidir). Genel olarak sistem bir çevre ile sınırlıdır, tipik olarak girdi gerektirmekte ve dahili bileşenleri kullanarak çıktı üretmektedir.

Modeller sistemin davranışı hakkında bilgi ve içgörü sağlamak için modellenen sistemin analist / modelleyicinin ilgisini çeken bazı davranışsal yönlerini yakalamak için tasarlanmaktadır. Model seçilmiş fiziksel veya somut sistemin ya da sürecin anahtar karakteristik özelliklerini veya davranış/fonksiyonlarını temsil etmektedir. İyi bir model, gerçekçilik ve basitlik arasındaki makul bir takastır. Modelin en önemli özelliği manipüle edilebilirliktir. Modeller tipik olarak gerçek sistemin kullanılmasından kaçınmak ya da mevcut olmayan sistemlerin pahalı, sıkıcı deneysel örneği oluşturmamak için hassas bir şekilde inşa edilmektedir. Modelleme, sistemin ilgilenilen performans ölçümlerinin (metriklerinin) tahminlerini sağlamak amacıyla karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir temsilini tasarlama girişimidir. Belirli bir sistemin modellemesi, modelin kullanım amacına ve sistemin algılanmasına bağlıdır.

Modeller fiziksel (fiziksel mimari ev ölçekli model) ve mantıksal (istatistiksel veya matematiksel model) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel model basitleştirilmiş veya küçültülmüş bir fiziksel nesnedir (örneğin, bir uçağın ölçekli modeli). Matematiksel / mantıksal model, matematiksel değişkenler arasındaki bir denklemler veya ilişkiler takımıdır (örneğin, bir

fabrikadaki iş akışını tanımlayan denklemler setidir). Mantıksal modeller (Logical Models) genellikle modelin davranışıyla ilgili soruları ele almak için bilgisayar programında temsil edilmektedir. Mantıksal modellemede sadece bir bilgisayar programı ile ilgilendiğimiz için programın girişlerini ve formunu değiştirerek model ve sistem hakkındaki birçok soruya cevap vermek genellikle kolay, ucuz ve hızlıdır. Diğer birçok alanda olduğu gibi, bilgisayar gücündeki son dramatik artışlar (ve bilgisayar maliyetlerindeki düşüşler) mantıksal modellerin bilgisayar analizlerini yapma yetenekleri etkileyici bir şekilde artırmıştır. Yaklaşımları yaptıktan ve hedef sistemin geçerli bir mantıksal modeline yönelik varsayımları belirttikten sonra, model davranışı analiz edilmelidir. Model yeterince basitse ihtiyaç duyulan cevapları elde etmek için kuyruk teorisi, diferansiyel denklem yöntemleri veya doğrusal programlama gibi geleneksel matematik araçları kullanılabilmektedir. Ancak, insanların modellediği ve çalıştığı çoğu sistem oldukça karmaşıktır, bu nedenle sistemlerin geçerli modelleri de oldukça karmaşıktır. Bu modellere yönelik tam olarak bir matematiksel çözümler olmayınca simülasyon öne çıkmaktadır.

II. Dünya Savaşı'ndan bu yana, simülasyon sistemle ilgili birçok faaliyette vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Performans metriklerini tahmin etmek, "ne olursa olsun" sorularını yanıtlamak ve daha yakın zamanda yeni sistemleri kullanma konusunda çalışanları eğitmek için simülasyon modelleme uygulanmıştır. Simülasyon, tasarım mühendislerinden tesis operatörlerine ve proje yöneticilerine kadar çeşitli teknoloji çalışanları tarafından kullanılmaktadır. Özellikle, üretimle ilgili faaliyetlerin yanı sıra iş süreçlerini yeniden yapılandırma faaliyetleri, tasarım parametrelerini seçmek, fabrika yerleşimi ve ekipman alımlarını planlamak ve hatta finansal maliyetleri ve yatırım getirisini değerlendirmek için simülasyon kullanılmaktadır.

3.1.2. Simülasyon Avantajları ve Dezavantajları

Son birkaç on yıl içinde simülasyon en popüler araştırma aracı olarak rapor edilmiştir. Simülasyonun popülaritesinin ana nedeni, buna bağlı olarak karmaşık sistemlerin çok karmaşık modelleriyle başa çıkabilmesidir. Simülasyonun popülaritesinin artmasının bir başka nedeni de bilgisayar donanımının performans/fiyat oranlarındaki bariz gelişmelerdir. Simülasyon, sistemleri analiz etmek için analitik veya matematiksel modellere göre birçok avantaja sahiptir.

- Simülasyon modellemenin önemli bir avantajı, tüm sistemi ve sistemin karmaşık ilişkilerini modelleme yeteneğine sahip olmasıdır. Simülasyonun temsil gücü, karmaşık işlemlerin

yakalanması için gereken esnek modellemeyi sağlamaktadır. Sonuç olarak, sistemin farklı bileşenleri arasındaki tüm önemli etkileşimler model içinde dikkate alınmaktadır.

- Çoğu durumlarda sistemin kendisi üzerinde fiziksel çalışmalar yapmak çok zor, maliyetli veya tamamen imkansızdır. Örneğin henüz inşa edilmemiş bir fabrikanın alternatif düzenlerini denemektir. Mevcut bir fabrikada bile, yine de işe yaramayabilecek deneysel bir değişiklik uygulamak çok maliyetli olabilmektedir. Bu gibi durumlarda sistemi incelemek için bir model oluşturulabilmektedir. Simülasyonun en büyük gücü, yeni ve alışılmamış durumları denemeye ve "ne olursa olsun" sorularına cevap vermeye imkan vermesidir.
- Simülasyon modelinin davranışları gerçek sistemin karşılaştırıldığı veya daha az basitleştirici varsayım gerektirdiği ve dolayısıyla incelenen sistemin gerçek özelliklerinin daha fazlasını yakaladığı için daha güvenilir olabilmektedir.
- Uygulamalarına kaynak ayırmadan yeni tasarımlar, yerleşimler vb. test edilebilmektedir.
- Devam eden işlemleri aksatmadan yeni personel politikalarını, çalışma prosedürlerini, karar kurallarını, organizasyon yapılarını, bilgi akışlarını vb. keşfetmek için kullanılabilmektedir.
- Simülasyon bilgi, malzeme ve ürün akışlarındaki darboğazları ve akış hızlarını artırmak için test seçeneklerini belirlemeyi sağlamaktadır.
- Simülasyon zamanın kontrol edilmesini sağlamaktadır. Böylece, sistemi uzun aylar süren ufuklara hızlıca bakmayı sağlayan birkaç saniye veya birkaç yıl boyunca çalıştırılabilmek veya çalışma senaryolar yavaşlatılabilmektedir.
- Modellenen sistemin gerçekte nasıl çalıştığı ve performans için hangi değişkenlerin en önemli olduğu hakkında fikir vermektedir.

Ancak simülasyonun birçok avantajı olmasına rağmen, dezavantajları da vardır; Bunlar arasında:

- Simülasyon modelleme, genellikle oldukça etkili olmakla birlikte ücretsiz değildir. İyi modelleme becerilerinin kazanılması büyük miktarda uygulama ve deneyim gerektirmektedir. Ayrıca simülasyon modelleme bir yazılımı gerektirmektedir. Sonuç olarak, simülasyon modelleme uzun ve maliyetli bir süreç olabilmektedir.
- Simülasyon modelleme, özel eğitim gerektiren bir sanattır ve bu nedenle uygulayıcıların beceri seviyeleri büyük ölçüde değişmektedir. Çalışmanın faydası modelin kalitesine ve modelleyicinin becerisine bağlıdır.

- Herhangi bir modelleme girişiminde olduğu gibi, analist, geçersizliği doğrulama aşamasında kendini gösteremeyen hatalı veya açıkça yanlış bir model varsayma riskini taşımaktadır.
- Doğru ayrıntı düzeyi, hedef probleme bağlıdır. Modelleme sanatı, işi yapabilecek en az detaylı modelin inşasını içermektedir (ilgilenilen sorulara yeterli cevaplar üretmektir).
- Son derece güvenilir girdi verilerinin toplanması zaman alabilmekte ve ortaya çıkan veriler bazen oldukça sorgulanabilmektedir. Simülasyon yetersiz veri veya zayıf yönetim kararlarını telafi etmemektedir.
- Simülasyon modelleri girdi-çıktı modelleridir, yani belirli bir girdiler için sistemin olası çıktısını vermektedir. Optimal bir çözüm vermemekte daha ziyade kullanıcı tarafından belirtilen koşullar altında bir sistemin davranışının analizi için bir araç görevi görülmektedir. Hatalı istatistiksel analize dayanan yanlış tahminler, sistem davranışının yanlış anlaşılması her zaman mevcut bir risktir.

3.1.3. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

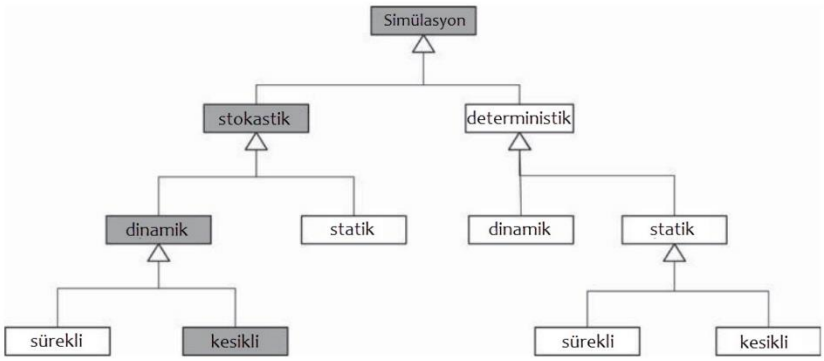
- **Statik ve Dinamik (Static vs. Dynamic):** Statik modeller belirli bir anda sistemin durumuna odaklanmakta ve zamandan bağımsız olarak problemlerin incelenmesi için uygundur. Diğer yandan dinamik modeller zamansal bir boyut içermekte ve bir sistemin zaman içindeki değişikliğine odaklanmaktadır. Konteyner terminal ortamının doğası, bu çalışma için geliştirilen modeli açıkça ikinci kategoriye yerleştirmektedir.

- **Genel ve odaklanmış (Generic and Focused):** Genel modeller geniş operasyon yelpazesine (değişen veya düşük seviyeli uyguluk bile) uyum sağlamak için oluşturulan modellerdir. Odaklanmış modeller sadece çok dar bir operasyon alt kümesini hedefleyen modellerdir. Odaklanmış modeller gemi varışlarıyla (çoğunlukla yanaşma operasyonları ve vinç tahsisi uygulayan modellerle birlikte) veya eğitim simülatörleriyle (yalnızca ilgili makineyi / ekipmanı uygulayan) yapılan çalışmalarda sıklıkla söz konusudur.

- **Sürekli ve Kesikli (Continuous vs. Discrete):** Sürekli modellerde sistemin durumu zaman içinde sürekli değişebilmektedir. Örneğin; su akıp çıktıkça, çökelme veya buharlaşma meydana geldikçe bir su deposu seviyesi olabilmektedir. Sürekli simülasyon modellerde gözlemlerin zamanın her noktasında sürekli olarak toplanmasını gerektirmektedir. Kesikli modellerde ise, değişim zamanın içindeki ayrı noktalarında gerçekleşebilmektedir. Örneğin; bir üretim

sistemine belirli zamanlarda gelen ve çıkan parçalar, belirli zamanlarda bozulan ve yeniden aktif haline gelen makineler ve işçilere yönelik verilen molalar gibidir. Kesikli modellerde belirli değişikliklerin gerçekleştiği zaman seçilen zaman noktalarında gözlemler (Observations) toplanmaktadır. Kesikli simülasyon modelleri iki alt sınıfta gruplandırılmaktadır; kesikli zamanlı ve kesikli olay modellerdir (Discrete Time and Discrete Event). Aynı modelde, karışık sürekli-kesikli modeller olarak adlandırılan hem sürekli hem de kesikli değişim unsurlarına sahip olabilmektedir. Örneğin; bir kap içinde sürekli değişen basınç ve ayrı ayrı zamanlarda kapatıp açılan bir rafineri gibidir.

- **Deterministik – Stokastik (Deterministic vs. Stochastic):** Rastgele girdi içermeyen modeller deterministik olmaktadır; sabit servis süreleri olan katı bir randevu sistemi bir örnektir. Stokastik modeller ise en azından bazı girdilerin rastgele olmasıyla çalışmaktadır. Değişken hizmet süreleri gerektiren rastgele gelen müşterileri olan bir banka gibidir. Bir model, farklı bileşenlerde hem deterministik hem de rastgele girdilere sahip olabilmektedir. Hangi unsurların deterministik olarak modelleneceği ve hangilerinin rastgele olarak modelleneceği realizmin bir meselesidir. Stokastik modeller belirsiz çıktılar üretmekte ve projedeki çalışmaları tasarlarken ve yorumlarken dikkatle göz önünde bulundurmak gereken bir gerçektir.



Şekil 3.1: Simülasyon sınıflandırılması (D. Rossetti, 2016)

3.1.4. Simülasyon Modelinin Parçaları

- **Varlıklar (Entities):** Simülasyon modellerinde hareket eden, durumu değiştiren, diğer varlıklar ve sistemin durumundan etkilenen, çıktı ve performans göstergelerini etkileyen ve sisteme girip bir dizi işlemden geçen ve daha sonra sistemden ayrılan herhangi bir nesne olabilmektedir. Varlıklar müşteri, iş emri, parçalar, bilgi paketleri vb. olabilmektedir. Tüm varlıkların kullanıcı tarafından veya yazılım tarafından otomatik olarak oluşturulması gerekmektedir. Çoğu varlık bir simülasyonda "gerçek" şeyleri temsil etmektedir. Modelde bir

anda birçok farklı varlık türü ve her bir varlık türünün birçok kopyası (Realizations) olabilmektedir. Örneğin; modelde farklı işlem ve yönlendirme gerektiren ve farklı önceliklere sahip birkaç farklı türde parçalar olabilmektedir. Bununla birlikte, belirli modelleme işlemlerinin üstesinden gelmek için "sahte" (mantık) maddi bir şeye karşılık gelmeyen varlıkların yönlendirilebildiği durumlar vardır.

- **Öznitelikler (Attributes):** Varlıkları ayır tutmak için öznitelikler onlara eklenmektedir. Bir öznitelik, tüm varlıkların ortak bir özelliğidir, ancak bir varlıktan diğerine farklılık gösterebilen belirli bir değere sahiptir. Öznitelikler ad, öncelik, son tüketim tarihi, hesap numarası gibi olabilmektedir.

- **Değişkenler (Variables):** Bir değişken (veya global bir değişken), etrafta kaç tane veya ne tür varlık olabileceğinden bağımsız olarak, sistemin bazı özelliklerini yansıtan bir bilgi parçasıdır. Bir modelde birçok farklı değişken olabilmekte, ancak her biri benzersizdir. Özniteliklerin aksine, değişkenler belirli bir varlığa bağlı değil, sisteme büyük ölçüde bağlıdır. Tüm varlıklar tarafından erişilebilir durumdalar ve çoğu herhangi bir varlık tarafından değiştirilebilmektedir.

- **Kaynaklar (Resources):** Varlık sistemden geçerken bir dizi kaynak tarafından işlenmektedir. Kaynaklar, varlıkların işlenmesi için ihtiyaç duyduğu her şeydir. Örneğin; kaynaklar işçiler, malzeme taşıma ekipmanları, özel aletler, hastane yatağı, makine, bekleme veya depolama alanı vb. olabilmektedir. Kaynaklar tek bir yerde sabitlenebilmekte (ağır makine, banka memuru, hastane yatağı) veya sistemde hareket ettirilmektedir (forklift, tamirci, doktor). Varlıklar, personel, ekipman veya sınırlı büyüklükteki bir depolama alanı gibi temsil eden kaynaklardan hizmet almak için sıklıkla birbirleriyle rekabet etmektedir. Varlık bir kaynağı müsait olduğunda ele geçirmekte (ya da birimlerinin bir tanesidir) ve bittiğinde serbest bırakmaktadır (veya onları). Bir kaynak birkaç ayrı hizmet birimlerini temsil edebilmekte, her birine kaynağın birimi denmektedir. Bir varlığın (bir parça gibi) birden fazla kaynaktan (bir makine ve bir kişi gibi) aynı anda hizmete gereksinim duyması gerektiğinden varlık kaynağa tahsis edilmek yerine, kaynağın varlığa tahsis edildiğini düşünmek daha iyidir.

- **Kuyruklar (Queues):** Bir varlık hareket edemediğinde (başka bir varlık tarafından bağlanmış bir kaynak birimini ele geçirmesi gerektiğinden) bekleyeceği bir yere ihtiyacı vardır. Bu yer kuyruk olarak adlandırılmaktadır.

- **İstatistiksel Akümülatörler (Statistical Accumulators):** Çıktı performansı ölçütlerini toplamak için simülasyon ilerledikçe çeşitli ara istatistiksel-akümülatör değişkenleri takip edilmelidir. Tüm bu akümülatörler sıfır olarak başlatılmalıdır. Simülasyonda bir şey olduğunda, etkilenen akümülatörlerinin uygun şekilde güncellenmesi gerekmektedir.

- **Olaylar (Events):** Olay anında gerçekleşen ve öznitelikleri, değişkenleri veya istatistiksel akümülatörleri değiştirebilecek bir şeydir.

- **Simülasyon Saati (Simulation Clock):** Simülasyondaki zamanın mevcut değeri, basitçe simülasyon saati adı verilen bir değişkende tutulmaktadır. Gerçek zamanın aksine simülasyon saati tüm değerleri almamakta ve sürekli ilerlememektedir; bunun yerine, bir olayın zamanından bir sonraki olayın zamanına kadar ilerlemektedir. Olaylar arasında hiçbir şey değişmediğinden, önemli olmayan (simüle edilmiş) zamanlara bakarak (gerçek) zaman kaybetmesine gerek yoktur.

3.1.5. Simülasyon Çalışmalarının Metodolojisi

Metodoloji basitçe izlenmesi gereken bir dizi adımlardır. Simülasyon çalışmalarında takip edilecek adımlar dizisi detaylı olarak aşağıda incelenmiştir.

1. Problem tanımı (Problem Definition): Bu adım, doğru problemi çözmeye yardımcı olmaktadır. Herhangi bir problem çözme görevindeki ilk adım problemi tanımlamak ve formüle etmektir. Problem tanımı çalışmanın amaçlarını, modelden istenen çıktılarını ve incelenecek senaryo türlerini veya alınacak kararlarını net bir şekilde tanımlamayı hedeflemektedir. Bu noktada istemci ile bir diyaloğa girmek ve nihayetinde problemi tamamen tanımlamak izin verecek bir dizi soru sormaya başlamak gerekmektedir. Çalışmanın başında cevaplanacak sorular arasında;

- Çalışmanın amacı nedir, yani cevaplanacak soru veya verilecek karar nedir?
- Karar vermek için hangi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır?
- Karar vermek için kullanılacak kriterler nelerdir?
- Kararı kim verecek?
- Karardan kimler etkilenecek?
- Ne zaman cevap verilmelidir?

Proje genellikle istemcinin durumu analiste "maliyetler çok yüksek" veya "çok fazla iş gecikmeler" gibi belirsiz ve kesin olmayan terimlerle açıklayarak başlamaktadır. Genelde ele alınan son problem başlangıçta sunulan problemden oldukça farklıdır. Bunu simülasyonun geliştirilmesinin yarısında koşulların aniden değiştiğine, yeni bilgilerin elde edildiğine ya da yeni fikirlerin ortaya çıkmasına atıfta bulunmaktadır. Bu, problem oluşturma aşamasını tekrar gözden geçirmeye veya modelin tasarımını büyük ölçüde değiştirmeye neden olabilmektedir.

Problem tanımı aktivitesinin temel çıktısı problem tanımı açıklamasıdır (Problem Definition Statement). Problem tanımı açıklaması, analist ve problemin ilgili tarafları için problemi doğru ve kesin olarak temsil etmek için gereklidir. Bu, modelleme sürecinde gerekli tüm varsayımları içermelidir. Varsayımları belgelemek önemlidir; böylece varsayımların simülasyon çalışmanın geçerliliği, doğrulanması ve deneysel analiz adımları sırasında model üzerindeki etkileri incelenebilmektedir.

2. Sistem tanımı (System Definition): Bu adımda sistemin sınırları ve kısıtlamaları doğru ve kesin bir şekilde tanımlanmalıdır. Sistem tanımı, genellikle sistemin ana unsurlarının resimsel temsilini içeren bir anlatımdır. Bu, simülasyon çalışmasının paydaşların uygun ilgi alanlarına odaklanmasını ve projenin kapsamının iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Çalışmanın belirli amaçlarına hizmet etmek için yeterli olan sistem özelliklerinin küçük bir alt kümesini belirlemeye çalışılmaktadır. Ne modelin önemsiz (veya daha kötüsü, yanıltıcı) hale geldiği noktaya kadar basit olmayan, ne de inşa etmesi ve çalıştırması çok pahalı olacak kadar fazla ayrıntı taşıyan bir model tasarlamak arzu edilmektedir. Gerçek sistemin taklidini tam oluşturmak yerine model her zaman cevaplanacak soruların etrafına dolaşmalıdır. Sistemi tanımlarken yapılması gereken bazı görevler vardır. Bunlar arasında;

- Sistemi mantıksal alt sistemlere bölmek,
- Sistemden geçecek varlıkları tanımlamak,
- Her alt sistemin istasyonlarını tanımlamak (varlıklar için bir şeylerin yapıldığı yerler),
- Akış diyagramlarını kullanarak istasyonların temel akış modellerini tanımlamak,
- Dikkate alınması gereken sistemin alternatif tasarımlarını tanımlamak,
- Esnek yolların yönlendirme mantığını göstermek için akış şemaları geliştirmektir.

3. Performans ölçütlerini belirlenmesi (Establishing Performance Metrics): Bu adım, problemi doğru sebeplerden dolayı çözmemizi sağlamaya yardımcı olmaktadır, yani ölçütler

problemle tutarlı olmalıdır. Problemi ve sistemi tanımladıktan sonra doğal olarak sistem performansının nasıl ölçüleceğine dair bir anlayış geliştirilmeye başlanmalıdır. Alternatif senaryoları anlamlı bir şekilde karşılaştırmak için sistemin performansını tanımlayan objektif ve ölçülebilir ölçümler gereklidir. Performans ölçütleri analizde kullanılan herhangi bir modelden (Örneğin simülasyon modelleri) nicel istatistiksel ölçümleri, sistem analizinden (Örneğin maliyet / fayda) nicel ölçümleri ve nitel ölçümleri (Örneğin, teknik fizibilite, insan, operasyonel fizibilite) içermelidir. Karar vericileri için en önemli olduğu düşünülen ve doğrudan simülasyon çalışmasının amaçlarına bağlı olan performans ölçütlerine odaklanılmalıdır. İlgilenmesi gereken iki tür ölçüm vardır. Bunlardan ilki ve en açık olanı, incelenen sistemin kalitesini ölçmek için kullanılacak performans ölçütleridir. İkincisi ve belki de en önemlisi, çalışmanın başarısını ölçmek için kullanılacak performans ölçütleridir. Sistemin performansının nasıl ölçüleceğini belirledikten sonra, bu ölçümler için mevcut temel değerlerin olup olmadığını öğrenmelidir. Sistem şu anda mevcutsa bu değerler mevcut olmalıdır. Aksi takdirde tahminlerde benzer bir sistemin değerleri kullanılabilmektedir. En kötü durumda en azından tasarım değerleri mevcut olmalıdır.

4. Kavramsal model formülasyonu (Conceptual Model Formulation): Problemi ve incelenmekte olan sistemi iyi anlayarak ayrıntılı model formülasyonuna başlanmaya hazır olunmalıdır. Model formülasyonu bir bilgisayar programı anlamına gelmemekte olup bunun yerine model uygulamak için herhangi bir yazılım kullanmadan önce kavramsal modelleme araçlarının (kavramsal diyagramlar, akış şemaları vb.) kullanmasını gerekmektedir. Modellemede, sistemin temel yönlerini ve davranışlarını yakalayan basit bir kavramsal modelle başlanması gerekmektedir. Ardından, ek işlevler dikkate alınarak ayrıntılar eklemeye başlanmalıdır. Son olarak, modelin karmaşıklığının mevcut verilerin kalitesi ve çalışmanın hedeflerine ulaşmak için gerekli geçerlilik derecesi ile orantılı kalması gerektiğini daima hatırlanmalıdır.

5. Proje planlama (Project Planning): Sağlam bir kavramsal modeli geliştirdikten sonra simülasyon modeli oluşturma başlanabilmektedir. Simülasyon modeli oluşturma aşamasında, daha önce geliştirilen kavramsal modellere dayalı olarak alternatif sistem tasarım konfigürasyonları geliştirilmektedir. Simülasyon modellerinin geliştirilmesi için gerekli ekipman, kaynaklar, zamanlama ve donanımı sağlamak için ek proje planlaması yapılmaktadır.

6. Giriş verileri hazırlama (Input Data Preparation): Simülasyon modellerini yönlendirmek için verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Her simülasyon çalışması girdi verilerinin toplanmasını ve analizini içermektedir. Stokastik sistemler çok sayıda rastgelelik kaynakları içermektedir. Bu nedenle analist, varlıkların sisteme varış oranı, çeşitli istasyonlarda gereken işlem süreleri, ekipmanın arızaları arasındaki süreler, istasyonlar arası seyahat süreleri gibi modele hangi verilerin kullanılacağı konusunda endişe duymalıdır. Bir model oluşturmada iyi girdi verilerine sahip olmak, modelin güvenilir mantığına ve yapısına sahip olmak kadar önemlidir. Eski klişe "çöp içeri- çöp dışarı" simülasyon modelleri ve diğer tüm bilgisayar programları için geçerlidir. Analist ayrıca hangi verilerin gerekli olduğuna, hangi verilerin mevcut olduğuna ve mevcut olup olmadığına, mevcut verilerin gerekli amaç için geçerli olup olmadığına ve verilerin nasıl toplanacağına karar vermelidir. Gerçek dünya simülasyon çalışmalarında (sınıf egzersizlerinin aksine), girdi verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi çok zaman alıcı ve zordur. Çalışmada kullanılan toplam sürenin üçte biri genellikle bu görev tarafından tüketilmektedir. Duruma bağlı olarak, birkaç potansiyel veri kaynağı vardır, Bunlar; tarihsel kayıtlar, gözlemsel veriler, benzer sistemler, operatör tahminleri, satıcının iddiaları, tasarımcı tahminleri ve teorik hususlardır. Geçmiş veriler mevcut olmadığında (sistem oluşturulmadığı veya toplanması mümkün olmadığından), problem daha da zordur. Bu gibi durumlarda hem olasılık dağılımını hem de parametreleri teorik hususlara dayalı olarak tahmin edilmelidir.

7. Model aktarma (Model Translation): Zamanlama ve genel prosedürler dahil olmak üzere modelin kodlanması için prosedürün tanımı ve kavramsal modellerin bilgisayar simülasyon programına çevrilmesidir. Başka bir deyişle modeli uygun bir simülasyon dilinde formüle etmeyi temsil etmektir. Yüzden fazla farklı simülasyon dili ticari olarak mevcuttur. Simülasyon paketleri iki kategoriye ayrılmaktadır;

- Genel amaçlı simülasyon dilleri.
- Özel amaçlı simülasyon dilleri.

Genel veya özel amaçlı simülasyon paketlerinden birini kullanmanın kolaylık, verimlilik ve kullanım etkinliği açısından belirgin avantajları vardır. İlk kategoride hemen hemen her kesikli simülasyon problemini çözebilecek olanlar vardır. Bunlar arasında Arena®, AweSim®, GPSS/H™, Simscript II.5®, Extend ™ vb. bulunmaktadır.

8. Doğrulama ve geçerlilik (Verification and Validation): Bilgisayar simülasyon modelinin doğrulanması, programın istendiği gibi performans gösterip göstermediğini belirlemek için yapılmaktadır. Model doğrulamasına yönelik simülasyon kodundaki hataları bulmak için model hata ayıklama yapılmaktadır. Özel önem taşıyan hatalar arasında uygunsuz akış kontrolü veya varlık oluşturma, kaynakların serbest bırakılmaması ve mantıksal / aritmetik hatalar veya yanlış gözlenen istatistikler bulunmaktadır. Modelin sayıları derlemesi, yürütmesi ve üretmesi ile doğru olduğunu veya üretilen sayıların modellenen sistemi temsil ettiğini garanti etmemektedir. Doğrulama, modelin parçalarının doğru zamanda doğru verileri kullanarak bağımsız ve birlikte çalıştığını göstermeyi amaçlayan güçlü bir hata ayıklamadır. Doğrulama işlemi boyunca, modelin mantığındaki kasıtsız hataları bulmaya ve kaldırmaya çalışılmaktadır.

Simülasyon modelinin geçerliliği ise, simülasyon modelinin gerçek sistemi yeterince temsil edip etmediğini belirlemek için yapılmaktadır. Modelin gerçekçiliğiyle ilgili girdileri, simülasyonun geçerliliğini belirlemede kritik öneme sahiptir. Ek olarak, gerçek sistem performansına göre model geçerliliğini sağlamak için sistemin daha fazla gözlemi yapılmaktadır. Basit bir teknik, simülasyon modelinin çıktısını gerçek sistemden elde edilen çıktıyla istatistiksel olarak karşılaştırmak ve ikisi arasında önemli (ve pratik) bir fark olup olmadığını analiz etmektir. Geçerliliğin yoluyla, modelde bilerek ve kasten yapıldığı basitleştirmelerin ve ayrıntı eksikliklerinin sonuçlarda kabul edilemeyecek kadar büyük hatalar getirip getirmediğini belirlemeye çalışılmaktadır.

Kısaca, geçerliliği, doğru modeli oluşturduğumuzu belirleme sürecidir, oysa doğrulama, modeli doğru oluşturup oluşturmadığımızı görmek için tasarlanmaktadır. Doğrulama ve geçerleme genellikle zor ve zaman alıcı bir iştir, ancak başarı için son derece önemlidir.

9. Deneysel tasarım ve analiz (Experimental Design and Analysis): Modelin amaçlarına uygun olarak doğrulandığından ve geçerliliğinden emin olduktan sonra projenin amaçlarını ve hedeflerini araştıran deneyler yapmak için modeli kullanmaya başlanabilmektedir. Ana deneysel çalışma ile ilişkili istatistiksel parametreleri ayarlamak için ön simülasyon deneyleri yapılmalıdır. Deneysel yöntem, mevcut sistem işlemlerinin karşılaştırmalı istatistiklerini oluşturmak için simülasyon modelini kullanmalıdır. Simülasyon modeli daha sonra potansiyel bir senaryoya uyacak şekilde değiştirilmekte ve karşılaştırılacak istatistikler üretmek için tekrar çalıştırılmaktadır. Bu süreç alternatif çözümlerin değerlendirilmesi için önerilen senaryolar

arasında geçiş yaparak ve karşılaştırılacak istatistikler üreterek devam etmektedir. Bu şekilde, alternatif senaryoların objektif değerlendirmeleri yapılabilmektedir.

10. Analiz ve yorumlama (Analysis and Interpretation): Sistem karar vericileri tarafından belirtilen kriterleri ve simülasyon modelinin istatistiksel sonuçlarını kullanarak alternatif senaryolar analiz edilmeli ve sıralanmalıdır. Birbirine takas eden birden fazla performans ölçümüne sahip senaryoların karşılaştırılmasına olanağı tanımak için bir metodoloji kullanılmalıdır.

11. Uygulama ve dokümantasyon (Implementation and Documentation): Herhangi bir simülasyon çalışmasına dahil edilmesi gereken son iki unsur uygulama ve dokümantasyondur. Simülasyon modelinin sürekli ve gelecekteki kullanımını sağlamaya çalışırken dokümantasyon esastır. Uygulamada önerilen çözümlerin takip edilmemesi durumunda simülasyon projelerinin sıklıkla başarısız olduğu kabul edilmektedir. Bu adım sonuçların raporlanması, sonuçların kullanılması, bulguların kaydedilmesi, modelin belgelenmesini içermektedir. Bu noktada modelin tasarımı, programlanması ve çalıştırılması ile birlikte sonuçların analizine yönelik tüm adımlar tamamlanmaktadır. Çalışmanın sonuçlarının sunumu çalışmanın kritik ve önemli bir parçasıdır ve projenin diğer bölümleri kadar dikkatli bir şekilde planlanmalıdır. İyi dokümantasyon en az iki bölümden oluşmalıdır. Bunlar, aynı analist veya diğer analistler tarafından kullanılabilecek teknik bir el kitabı ve bir kullanım kılavuzudur. İyi bir teknik el kitabı, projenin değiştirilmesi gerektiğinde çok faydalıdır ve yazılımın yeniden kullanılabilirliğine ve taşınabilirliğine çok önemli bir katkı olabilmektedir. İyi model geliştirme dokümantasyonuna ek olarak, çoğu zaman simülasyon modeli analistler tarafından kullanılmamaktadır. Bu durumda modelin nasıl kullanılacağı ve kullanılacağı konusunda iyi bir kullanım kılavuzu şarttır. Kullanım kılavuzu, programlama veya simülasyon konularında uzman olmayan kullanıcı için bir üründür; bu nedenle açıklık ve basitlik temel özellikleri olmalıdır. Modelin ve çalışmanın belgelerinde ele alınacak konular arasında:

- Uygun bir kelime dağarcığı seçme (Anlaşılmaz dil yoktur).
- Yazılı ve sözlü raporların uzunluğu ve biçimi (kısa ve özlü).
- Vakitlilik
- Destekleyicinin veya kullanıcının önemli gördüğü sorunları ele alınmalıdır.

3.1.6. Konteyner Terminalinde Simülasyon Modelleme

Konteyner terminallerinde zamanla, daha yeni, daha hızlı ve daha verimli ekipmanlar devreye alınmıştır ve konteyner terminallerinin operasyonları tasarım ve işletme açısından daha karmaşık hale gelmiştir. İlgili yatırımların büyüklüğü göz önüne alındığında önerilen çözümlerin kalitesini garanti eden ve uygulandıktan sonra terminalin operasyonlarını etkileyecek tasarım problemleri riskini en aza indiren bir yaklaşımın oluşturulması şarttır. Bir sistem yalnızca en zayıf halkası kadar güçlü olduğundan dolayı konteyner terminalinin sadece ekipmanlarının toplamından ziyade büyük bir karmaşık sistem olarak incelenmesi gerekmektedir. Kapalı form analitik modeller (Closed-form Analytical Models) yoluyla sonuç sağlayabilecek metodolojilerin yokluğunda bilgisayar simülasyonu kullanılmaktadır. Endüstriyel kullanımlara ek olarak simülasyon, kontrol algoritmaları, ortaya çıkan ekipman teknolojileri ve terminal tasarımları üzerine araştırma çalışmaları kapsamında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Simülasyon, çeşitli operasyonel seçeneklerini, planlama çözümlerini ve TOS'teki işletim yapılandırmalarını hassas bir şekilde doğrulamak ve geçerlilik incelemek için kullanılmaktadır. Simülasyon ayrıca rıhtım, saha ve kapı operasyonlarını canlandırmak ve görselleştirmek için de kullanılmaktadır. Simülasyon özellikle gemi varışlarındaki belirsizliklerin saha kapasitesine etkilerini, terminale ekstra hizmet ekleyebilme yeteneği, kamyonların kapılardaki ve terminal içindeki hareketindeki sevk kuralları, tren ve gemi programları senkronizasyonu, depolama alanında konteyner istifleme sorunu ve genel olarak terminal işlem hacmindeki operasyonel değişikliklerini incelerken faydalıdır. Ayrıca yeni terminaller tasarlamak veya mevcut terminal operasyonlarının verimliliğini artırmak için ayrıntılı simülasyon modelleri geliştirilmektedir. Simülasyon genellikle farklı senaryoları birbirleriyle karşılaştırmak için değerli bilgiler sağlamaktadır. Simülasyon, neredeyse tüm otomatik konteyner terminal projelerinde kullanılmıştır. Simülasyon, konteyner terminallerinde aşağıdaki konuları incelemek için kullanılmıştır;

- Tasarım aşamasında simülasyon, taşıma ekipmanları türünü, ekipman sayısını, saha yerleşimini ve blokların özelliklerini belirlemek,
- Taşıyıcıların ve saha vinçlerin çalışmasının kuralları, konteynerleri yerleştirme kuralları ve ekipmana görev atama kuralları gibi operasyonel kuralları belirlemek,
- Araçlar arasında çarpışma ve kilitlenme olasılığını değerlendirmek ve araçların detaylı hareketleri temsil etmektir.

3.2. ARENA SİMÜLASYON PROGRAMI

3.2.1. Tanıtım

İş süreci simülasyon yazılımı (Business Process Simulation Software) iş kararlarının uygulamaya konmadan önce tüm etkilerini değerlendirmek için etkili bir yoldur. Belirli bir iş sürecinin simülasyonu bu sürecin nasıl iyileştirileceği konusunda analiz etme ve karar verme yeteneği sağlamaktadır. İş süreci simülasyonu aşağıdakileri yapma olanağı sağlamaktadır;

- En karmaşık iş süreçleri için süreç akışlarını grafik olarak sunmak,
- Süreç davranışını ve iş akışlarını izlemek, analiz etmek ve daha iyi anlamak,
- Yeni bir tasarımın veya sistemin performansını, yanıt sürelerini ve darboğazları gibi tahmin etmek,
- Başarısızlık oranlarının etkisini değerlendirmek,
- Sistemlerin yapılandırılma ve görevlerin gerçekleştirilme şeklini değiştirmek veya iyileştirmek,
- Belirli süreçleri gerçekleştirmenin daha iyi bir yolunu gösteren modeller oluşturmak,
- Alternatiflerin hangisi daha iyi olduğunu belirlemek,
- Kararların kabul edilmesini ve anlaşılmasını artırmak için sonuçları hem görsel hem de nicel olarak göstermektir.

Arena bir iş süreci simülasyon yazılımıdır, maliyetleri düşürmek, performansı ölçmek ve iş süreçlerini optimize etmek için iş süreci modellerini oluşturmaya olanak tanımaktadır. Simülasyon modelleri oluşturmak, anime etmek, doğrulamak ve analiz etmek için tamamen entegre bir ortam sağlamaktadır.

Arena simülasyon programı ile iş süreci kararlarının verilmeden önceki potansiyel etkisi herhangi bir finansal yansıma ortaya çıkmadan analiz edilmektedir. Kullanım kolaylığı, esnekliği ve ölçeklenebilirliğinden dolayı bir işletmenin veya sistemin herhangi bir davranışının modellenmesine yardımcı olmaktadır. Arena aşağıdaki konularda yardımcı olabilmektedir:

- İşletme kararların uygulanmadan önce etkisini görmek,
- Performansı optimize yönelik en iyi yaklaşımı belirlemek için potansiyel alternatifleri değerlendirmek,

- Maliyet, verimlilik, dönüş süreleri, ekipman kullanımı ve kaynak kullanılabilirliği gibi önemli metriklere dayalı sistem performansını anlayarak sistem performansını artırmak,
- Kuyruk oluşturma ve kaynakların aşırı kullanımı gibi süreç darboğazlarını belirlemek,
- Önemli sermaye veya kaynak harcamaları yapmadan önce simülasyon ve süreç değişikliklerinin test edilmesi yoluyla riski azaltmak,
- Belirsizlik ve değişkenliğin sistem performansı üzerindeki etkisini belirlemek,
- Önerilen işlem değişikliklerini değerlendirmek için "ne olursa olsun" senaryolarını çalıştırmak,
- Sonuçları 2D ve 3D animasyon ile görselleştirmektir.

Arena çeşitli endüstrilerdeki şirketler tarafından dünya çapında kullanılmaktadır. Şirketlerin karşılaştığı özel zorlukları ve iş sorunlarını hızlı ve uygun maliyetli bir şekilde çözmelerini sağlamaktadır. Program modelleme ve simülasyonun gücünü kullanarak işletmelerin geliştirilmesinde katkıda bulunmaktadır. Tedarik zinciri, imalat, lojistik, dağıtım ve depolama ve hizmet sistemleri ile ilişkili önemli ve karmaşık yeniden tasarımları içeren değişikliklerin etkisini analiz etmek için tasarlanmıştır. İstenen her ayrıntı ve karmaşıklık düzeyini modellemek için maksimum esneklik ve uygulama kapsamı genişliği sağlamaktadır.
Arena konteyner terminal simülasyon modellerini geliştirmek için yıllar boyunca en sık kullanılan simülasyon programıdır. Limanlar ve terminaller ile ilgili çalışmalarda Panama Kanalı'nın genişletilmesi gibi büyük projelerden tek bir rıhtım operasyonu küçük projelere kadar kanıtlanmıştır. Terminaller operasyonların planlanırken aşağıdaki konularda kullanılmıştır;

- Yükleme ve boşaltma yöntemlerini değerlendirmek,
- Operasyonlardaki darboğazları tespit etmek,
- Tesis büyüklüğü gereksinimlerini belirlemek,
- Alternatif kapasiteleri ve programları değerlendirmek,
- Depolama veya diğer tesisler için en iyi yeri belirlemek,
- Depolama kapasitesi gereksinimlerini belirlemek,
- İşçilik gereksinimlerini belirlemektir.

3.2.2. Arena'da Modelleme Metodolojisi

1. Sistem Bileşenleri Yerleştirme ve Bağlama: İlk olarak, sistemin adım adım sırasını temsil eden akış şeması (Flowchart) kâğıt üzerinde oluşturulmaktadır. Akış şemasını oluşturduktan sonra programa transfer edilmektedir. Program ortamında sistemleri modellemek için program penceresinin (Model Window) iki ana bölgesinde çalışılmaktadır (Proje Çubuğu ve Model penceresidir). Proje Çubuğu Arena modelinde kullanılan tüm modülleri (modules) göstermektedir. Model penceresi ise iki ana bölge içermektedir; akış şeması görünümü (Flowchart View) ve elektronik tablo görünümüdür (Spreadsheet View). Akış şeması görünümü işlem akış şeması, animasyon ve diğer çizim elemanları dahil olmak üzere tüm model grafiklerini içermektedir. Elektronik tablo görünümü, modelin kaynaklar, varlıklar ve kuyruklar gibi unsurlarıyla ilişkili süreler, maliyetler ve diğer parametreler tanımlamaktadır. Modülleri model penceresine aktarmak için paneldeki simgeyi sürükleyip bırakılması yeterlidir.

Modülleri Arena'nın model penceresine yerleştirildikten sonra modüller arasından varlıklar akışını belirlemek gerekmektedir. Varlıkların modüller arasındaki akışını tanımlamak için doğrudan bağlantılar veya istasyon aktarımları kullanılabilmektedir. Modül çıkış noktasından diğer modül giriş noktasına bir bağlantı yerleştirilerek doğrudan bağlantı oluşturulmaktadır. Bu durumda modülü çıkış noktasından terk eden varlıklar bağlantı üzerinden zaman gecikmesi olmadan diğer modülün giriş noktasına aktarılmaktadır. Bir istasyon transferi, Arena'daki ADVANCED TRANSFER PANELI'nin LEAVE veya ROUTE modülleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir; bu durumlarda, bir hedef istasyonu belirtilmekte ve varlık istasyonu tanımlayan ENTER veya STATION modülüne (ADVANCED TRANSFER PANELİ) gibi gönderilmektedir. Bu istasyon transferleri genellikle zaman gecikmelerini içermekte ve varlığı hedef istasyonuna taşımak için bir transfer aracı (Örneğin, kişi, shuttle taşıyıcıları, AGV) gerektirebilmektedir.

2. Sistem Bileşenlerinin Davranışını Tanımlaması: Bir sonraki adım, sistemin bileşenleri ile ilgili temel çalıştırma parametrelerini (Örneğin, çalışma hızları ve süresi), karakteristikleri (Örneğin, başarısızlık dönemi) ve boyutları (Örneğin, uzunluk, genişlik veya kapasite) belirtmektir. Tüm modül iletişim kutuları bağımsızdır ve yüksek hacimli uygulamalar için terminoloji ile tasarlanmıştır. Grafik işaretleme ve tıklama arayüzü, herhangi bir kod yazmadan karmaşık sistem modellerin geliştirmesini sağlamaktadır. Sadece iletişim kutularındaki sorular cevaplanmaktadır.

Modülün temel animasyonu ve istatistiklerini tanımlamak da kolaydır. Modüllere eklenen Animasyon Çubuğu (Animation Toolbar) kullanılarak modüllerin animasyonunun ve istatistiklerinin otomatik olarak (Örneğin, maliyet veya durum istatistikleri) oluşturulmasına izin verilmektedir. Animasyon, Arena'nın Picture Libraries'deki, Arena Symbol Factory'deki veya AutoCAD gibi diğer grafik dosyalarındaki semboller kullanılarak geliştirilebilmektedir.

3. Modeli Çalıştırma: Modüller Arena'nın model penceresine yerleştirildikten ve işlenenlerin değerlerini sağlandıktan sonra bir simülasyon çalışması gerçekleştirilebilmektedir. Bu aşamada, muhtemelen model ile ilgili önemli sonuçlara varmaya hazır olmasa da projenin ilerledikçe geliştirebileceği ve üzerine inşa edebileceği eksiksiz bir araç vardır. Modelin temel mantığı doğru olup olmadığı emin olmak için bu ilk modeli çalıştırmaktan yararlanmaktadır. Animasyon, model mantığını doğrulamak için harika bir araçtır. Simülasyon çalıştırmasına başlamadan önce, tekrarlama sayısı (Number of Replications), çalıştırma süresi (Run Length) ve temel zaman birimleri (Base Time Units) gibi simülasyon projesi parametrelerini belirtmek istenmektedir. Simülasyon çalışması başladığında, program öncelikle modeldeki modüller tarafından tanımlanan sistemin verilerini ve mantığını işlemektedir. Simülasyon başladığında, varlık akışı sistemlerin başında başlamakta ve aşağı doğru hareket etmektedir. Simülasyon daha sonra otomatik olarak simülasyon çalıştırma süresi boyunca değişkenler ile ilgili istatistikleri izlemek, güncellemek ve toplamaktadır. Arena'nın animasyon yapıları kullanılarak sayısal değerler, grafikler ve değişkenlerin seviyeleri görüntülenebilmektedir.

4. Otomatik İstatistikleri Görüntüleme: Çoğu simülasyon çalışmasının temel amacı sistemin performansı hakkında istatistikler oluşturmaktır. Arena modeli çalıştırıldığında simülasyon sonuçları aynı adla bir Microsoft Access veri tabanı (.mdb) dosyasında kayıt edilmektedir. (Örneğin, Konteyner Limani.doe için simülasyon sonuçları Konteyner Limani.mdb'da depolanmaktadır). Arena daha sonra rapor veri tabanında depolanan istatistikleri görüntülemek için SAP® Crystal Reports'u kullanmaktadır.

5. Farklı Senaryolarla Deneme: Metodolojinin ilk dört adımında, sistemin sürecinin temel modeli oluşturulmakta; çalışma hızları, bakım süreleri ve verimlilik temel ekipman davranışları gibi tanımlanmakta ve bir ilk simülasyon çalıştırması gerçekleştirilmektedir. Temel model tamamlandıktan sonra, sistemdeki daha karmaşık stratejileri ve sorunları denemek için Arena Visual Designer, Arena OptQuest gibi ek özellikleri kullanılabilmektedir.

3.3. MALİYET MODELİ

Önerilen sistemlerin etkinliğini ölçmek ve mevcut uygulamalarla karşılaştırmak için bir maliyet modeli sunulmuştur. Limanda elleçlenen konteyner başına ortalama maliyet (Average Cost Per Container_ACC), liman yetkilileri tarafından dikkate alınan en önemli maliyet ölçümleri arasındadır. ACC, fiyatlandırma, gelir ya da terminal karlarını ifade etmese de konteyner terminal operasyonlarının ekonomik değerlendirmesi için bir temel sağlamaktadır. Terminal içindeki konteyner elleçleme ve depolama operasyonlarıyla ilgili maliyetler aşağıdaki üç kategoriye ayrılabilmektedir:

- Faaliyetler maliyeti: Bu, faaliyetlerin (operasyonların) gerçekleştiği yerlerin maliyetidir, yani kapılar, gümrükler vb. binalar ve tesislerdir.
- Arazi maliyeti: Farklı alanlarda arazi için sermaye yatırımı, örneğin; rıhtım alanı, depolama alanıdır.
- Ekipman maliyeti: Saha ekipmanları maliyeti, örneğin; saha vinçleri, rıhtım vinçleri, AGV'ler.
- İşgücü maliyeti.

ACC, faaliyetler, arazi, ekipman ve işçilik için toplam yıllık maliyetin toplamının terminal tarafından elleçlenen toplam yıllık konteyner sayısına bölünmesine eşittir. ACC parametresi şöyle hesaplanmaktadır (Ioannou ve Dougherty, 2000):

$$ACC = \frac{C_{act} + C_{lnd} + C_{eqp} + C_{lbr}}{V} \tag{3.1}$$

Burada;

V	: Terminal tarafından işlenen toplam yıllık konteyner sayısıdır
C_{act}	: Faaliyetler maliyetleri
C_{lnd}	: Arazi maliyetleri
C_{eqp}	: Ekipman maliyetleri
C_{lbr}	: İşçilik maliyetleri

Faaliyetler ve ekipmanların toplam yıllık maliyetleri ayrıca sabit ve değişken maliyet olarak sınıflandırılabilmektedir. Sabit maliyetler, faaliyetlerin (operasyonların) seviyesine göre değişmez. Örneğin; ekipmanı satın almak için yatırılan sermaye çalışma saatlerinden etkilenmez. Faaliyetlerin seviyesi değişken maliyetleri etkilemektedir. Örneğin yakıt ve elektrik gibi enerji tüketimi çalışma saatleri ile artmaktadır.

1. Faaliyetler maliyeti: Bu, faaliyetlerin gerçekleştiği yerlerin maliyetidir. Bu, kapılar, rıhtım, depolama alanı, gümrük, bakım alanı, binalar ve diğer tesisleri içermektedir. Faaliyetler toplam yıllık maliyeti sabit ve değişken maliyetlere ayrılabilmektedir. Değişken maliyet esas olarak elektrik tüketim maliyetinden, sabit maliyet ise esas olarak sermaye yatırımlarından kaynaklanmaktadır. Dayanım ömrü 10 yıl olan binalar dışında sermaye yatırımının dayanım ömrü 25 yıl olarak kabul edilmektedir. Bir konumun toplam yatırımı bu süre içinde amortismana tabi tutulmakta ve doğrusal amortisman yöntemine göre hesaplanmaktadır. Diğer sabit maliyetlerin onarım için %3, sigorta için %1 ve yıllık faiz için %10 olduğu varsayılmaktadır. Böylece, konumun yıllık sabit maliyeti;

$$Sabit\ Maliyet = \frac{Yatırım}{Yaşam\ Süresi} + Yatırım\ \times (Bakım + Sigorta + Faiz) \tag{3.2}$$

2. Arazi maliyeti: Bu, rıhtım alanı, depolama alanı gibi farklı alanlardaki arsalar için sermaye yatırımını içermektedir. Arazi maliyeti sadece yatırım olarak kabul edilmektedir. Her bir bölümün alanı (hektar olarak) hektar başına arazi maliyeti ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Enflasyon oranı yıllık %5, faiz oranı ise yıllık %10 olarak kabul edilmektedir. Yukarıdaki varsayımlara dayanarak, yıllık arazi maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir;

$$A = P \times R \times \left(\frac{(1+R)^n}{(1+R)^n - 1}\right) \tag{3.3}$$

Burada;

A : Yıllık arazi maliyeti

P : İlk arazi yatırımı

R : Enflasyon oranı

n : Hesaplama süresi

Toplam yıllık arazi maliyeti aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$Toplam\,Yıllık\,Arazi\,Maliyeti = P \times IR + A \quad (3.4)$$

IR, kaybedilen yatırım fırsatını temsil eden ortalama (25 yıldan fazla) yıllık faiz oranıdır.

3. Ekipmanlar maliyeti: Saha ekipmanları, rıhtım vinçler ve taşıma araçları sayısı, yönetim altyapısı (yazılım / donanım sistemi) gibi içirmektedir. Ekipmanların maliyeti, incelenmekte olan otomatik terminal sisteminin tipine bağlıdır. Yerlerin maliyetine benzer şekilde, bu maliyet sabit ve değişken maliyetler olarak sınıflandırılabilmektedir. Her ekipmanın enerji tüketimi ile ilişkili maliyeti değişken maliyet olarak kabul edilirken, her ekipman parçasını satın almak için yapılan sermaye yatırımı sabit maliyettir. Ekipman başına saatlik enerji fiyatı ile bir yılda ekipman başına çalışma saati çarpılarak ekipman başına yıllık enerji fiyatını verilmektedir. Sahadaki ekipman her zaman kullanılmayabilmektedir. Kullanım faktörü, belirli bir ekipmanın kullanıldığı sürenin yüzdesini göstermektedir. Ekipman sayısının ekipman başına yıllık enerji fiyatıyla kullanım faktörüyle çarpılması ekipman değişken maliyetini oluşturmaktadır.

$$Ekipman\,Değişken\,Maliyeti = Çalışma\,saatleri\,x\,Saat\,başına\,enerji\,fiyatı\,x\,Ekipman\,sayısı\,x\,Kullanım\,faktörü \quad (3.5)$$

Ekipman için toplam yatırım, 15 yıllık bir süre içinde amortismana tabi tutulmakta ve doğrusal amortisman yöntemine göre hesaplanmaktadır. Diğer sabit maliyetler onarım %10, sigorta %1 ve ekipman başına yıllık faiz %10 olarak varsayılmaktadır. Ekipmanların yıllık sabit maliyeti, tüm yıllık amortisman, sigorta, bakım ve faiz maliyetlerinin toplanmasıyla hesaplanmaktadır.

$$Ekipmanların\,Sabit\,Maliyeti = yatırım/\,(hesaplama\,ömrü)\; + yatırım\;x\,(onarım + sigorta\; + faiz) \quad (3.6)$$

Son olarak ekipmanların toplam maliyet değeri, tüm ekipmanların toplam sabit maliyetlerine toplam değişken maliyetleri eklenerek hesaplanmaktadır.

4. İşgücü Maliyeti: Toplam işgücü maliyeti, terminali işleten kişilerin tüm maaşlarının toplamı olarak hesaplanmaktadır.

3.4. SİMÜLASYON MODELLEMENİN AKTİF BİR KONTEYNER LİMANINA UYGULANMASI

3.4.1. Problem Tanımı

Liman operasyonlarını analiz etmek, yerleşimin gelecekteki gelişimini ve operasyonel kontrol sistemini belirlemek için simülasyon modeli geliştirilmiştir. İncelenen limanın genel performansını ve verimliliği iyileştirmek için otomatik sistemleri (AGV-ACT) ve (SC-ACT) benimsenmiştir. Simülasyon modelinin kullanılmasıyla, liman operasyonları farklı senaryolar altında değerlendirilmiştir.

3.4.2. Sistem Tanımı

İncelenen konteyner terminali nitelikli insan kaynağı, yenilenen ekipmanlar gurubu ve yüksek iş hacmini destekleyen otomatik sistem yatırımları ile Türkiye'nin en büyük ve en modern limanlarından biridir. Türkiye'nin dış ticaretinin önemli bir kısmının gerçekleştiği Marmara bölgesinde yer alan liman, ülkedeki ithalat ve ihracat faaliyetleri için önemli bir kapıdır.



Şekil 3.2: Marmara Bölgesi

Söz konusu liman, yıllık yatırımlarıyla iş hacmini sürekli artıran bir liman işletmecisidir. Saha kapasitesinin artırılması, liman sahalarına yeni ekipmanların eklenmesi ve devam eden altyapı yatırımları yoluyla operasyonel faaliyetler iyileştirilmiştir. Konteyner terminali 22 sıraya kadar konteyner gemilerini elleçleme kapasitesine sahiptir. Şekil 3.3, incelenen limanın genel yerleşim düzenini göstermektedir.



Şekil 3.3: Limanın yerleşim düzeni.

Uygulama yapılan liman esas olarak aşağıdaki nedenlerden dolayı araştırma konusu olarak seçilmiştir: Liman hizmetlerinin yönetimi, altyapısı ve teknolojilerinde sürekli iyileştirme ve geliştirme limanın temel prensibidir. Müşteri sayısında son zamanlarda yaşanan artış ile iş hacminde ve limana yaklaşan gemi sayısında da artışa yol açılmıştır. Liman, iş güvenliği risklerinin azaltılması, müşterilere yenilikçi çözümler sunulması, operasyonel maliyetlerin düşürülmesi gibi konulara odaklanarak yeni projeler hayata geçirmeye devam etmektedir. Liman, saha, depo ve rıhtımların yüksek ve ölçeklenebilir kapasitesi sayesinde operasyonel olarak çevik bir liman olmasının yanı sıra, verimli saha yerleşimi, yüksek teknik kapasitesi, ekipman güvenilirliği ve gemilerinin operasyonel verimliliği ile potansiyel büyüme ihtiyaçlarını karşılayabilecek operasyonel avantajlara sahiptir. Son olarak liman, otomasyonun ilk seviyesini uygulayıp tüm süreçler ve işlemler liman otomasyon sistemi ile desteklenmektedir. Bütün bu özellikleri göz önüne alınarak incelenen liman Türkiye liman pazarında otomasyonun geçerliliği incelemek için uygun bir örnek olarak bulunmuştur. Vaka çalışmasından elde edilen sonuçlar, dünyanın diğer bölgelerinde özellikle orta ve büyük ölçekli konteyner terminallerinin geliştirilmesi için de geçerlidir.

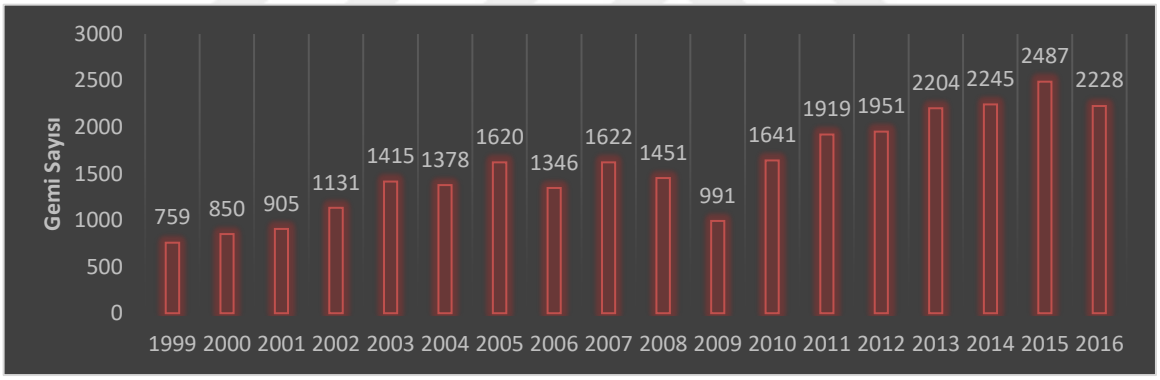
Liman altı rıhtımdan oluşmakta olup toplam rıhtım uzunluğu 2.180 metredir. Rıhtımların özellikleri tablo 3.1'de özetlenmiştir. Rıhtım 1 ve 2'nin her biri sırasıyla 4 ve 3 adet rıhtım vinci ile donatılırken, altı mobil liman vinci 4. ve 5. rıhtımı servis etmektedir. Rıhtım 6 küçük konteyner gemileri ve genel kargo gemileri için kullanılmaktadır. Depolama alanı, yirmi iki bloktan oluşmaktadır. 22 bloğun her birine bir lastik tekerlekli istif vinci (RTG) atanmıştır.

Limanda toplam 28 RTG bulunmakta, ancak 22 RTG kullanımda ve 6 RTG yedek olarak kullanılmaktadır. Terminalin içinde konteyner yatay taşıma operasyonu 59 manuel terminal traktörü ile gerçekleştirilmektedir. Tablo 3.2, limanda kullanılan elleçleme ekipmanlarını göstermektedir.

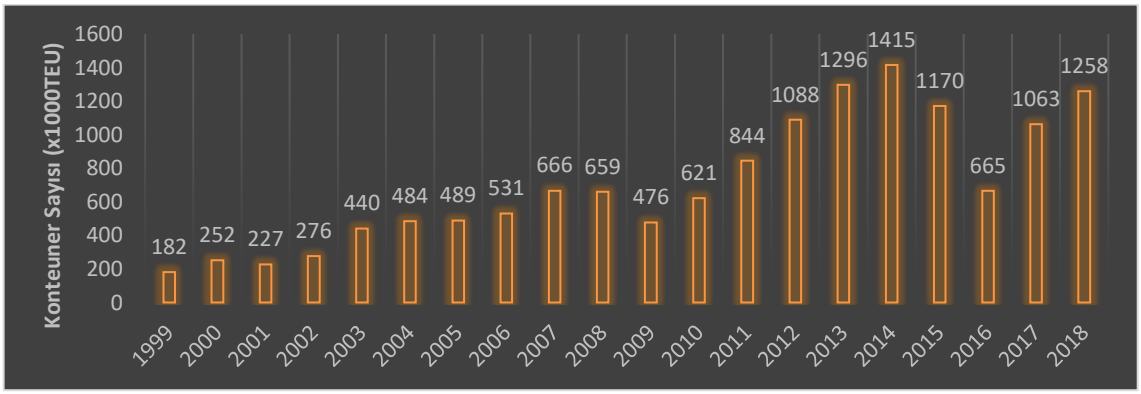
Tablo 3.1: Limanın rıhtımlarının özellikleri.

Rıhtım No	Uzunluk	Genişlik	Derinlik	Servis Türü
1	500 m	40 m	16,5 m	Konteyner
2	420 m	35 m	16,5 m	Konteyner
3	370 m	35 m	14,0 m	Konteyner
4	370 m	35 m	15,0 m	Konteyner/Genel Kargo
5	370 m	35 m	12,0 m	Konteyner/Genel Kargo
6	150 m	40 m	9,0 m	Genel Kargo

Limanın 3 kapısı vardır, her kapı iki şeritten oluşmaktadır. Liman 620 adet teknik personel ve 227 enformasyon personeli olmak üzere 847 personel istihdam etmektedir. Limana uğrayan yıllık gemilerin sayısı ve limanın yıllık elleçleme kapasitesi şekil 3.4'te ve şekil 3.5'te sırasıyla gösterilmiştir. Liman, her gün 8 saatlik üç vardiya ile 24 saat çalışmaktadır.



Şekil 3.4: Limana uğrayan yıllık gemilerin sayısı.



Şekil 3.5: Limanın yıllık elleçleme kapasitesi.

Tablo 3.2: Limanda kullanılan elleçleme ekipmanları.

Ekipman	Adet	Erişim	Kapasite
SSG Crane	4	22 Row Outreach Twinlift	55 ton
	3	20 Row Outreach Twinlift	55 ton
	2	24 Row Outreach Twinlift	65 ton
Mobile Harbour Crane	1	12 Row Outreach	104 ton
	2	18 Row Outreach Twinlift	104 ton
	2	17 Row Outreach	104 ton
	1	18 Row Outreach	104 ton
Reach Stackers	14	5+1 High	45 ton
Empty Stacker	2	5+1 High	8 ton
	3	5+1 High	9 ton
	2	5+1 High	7 ton
Terminal Traktörü	59	-	65 ton
RTG	4	7+1 genişlik, 5+1 yükseklik	45 ton
	24	7+1 genişlik, 6+1 yükseklik	40 ton

3.4.3. Kavramsal Model Formülasyonu

Simülasyon çalışmaları için ilk olarak limanın kavramsal modeli oluşturulmuştur. Konteyner limanının operasyonları şu şekilde sınıflandırılmıştır;

- Demirleme alanları ve rıhtımlar arasında gemilerin manevraları;
- Gemilerin yanaşması ve ayrılması;
- Vinçlerin gemilere atanması;
- Konteynerlerin yüklenmesi ve boşaltılması;
- Rıhtım ve depolama sahası arasında konteynerlerin taşınması;
- Depolama sahasının yapılandırılması ve işletilmesi;
- Konteynerlerin depolama sahası ile kapı arasında taşınmasıdır.

Konteyner terminallerinde bir geminin boşaltılması ve yüklenmesi süreci şu şekilde tanımlanabilmektedir; manuel rıhtım vinçleri, konteynerleri geminin ambarından ve güvertesinden boşaltmaktadır. Bu konteynerler rıhtım ile depolama alanı arasında seyahat eden taşıma araçları (örneğin, TT veya AGV) üzerine yerleştirilmektedir. Depolama sahası birkaç konteyner bloğu içermektedir. Straddle taşıyıcısı veya otomatik istif vinci gibi depolama ekipmanı, konteynerleri depolamak ve geri almak için kullanılmaktadır. Bir taşıma aracı depolama istifine ulaştığında, saha vinci aracılığıyla konteyner araçtan alınmakta ve depolanmaktadır. Belirli bir depolama süresinden sonra, konteynerler istiften alınmakta ve gemi, kamyon veya tren gibi diğer taşıma modlarına aktarılmaktadır. Bir gemiye konteyner yüklemek için, bu işlemlerin ters sırada yürütülmesi gerekmektedir.

Terminal süreçleri çok karmaşıktır. Bu karmaşıklığı, operasyonlar arasındaki çeşitli etkileşimlerden ve çeşitli stokastik süreçlerden kaynaklanmaktadır (örneğin, gemi geliş oranları, konteynerleri elleçlemek için gereken süreler, ekipman arıza süreleri, ekipman onarım süreleri, yüklenen veya tahliye edilen konteyner sayısıdır). Şekil 3.6, gemilerin boşaltılması ve yüklenmesi süreci kavramsal modelini göstermektedir.

Bu çalışmada, bir simülasyon çalışması aracılığıyla manuel terminallerin ve otomatik terminallerin performansı karşılaştırılmıştır. Gemi dönüş süresi, ana performans ölçüsü olarak alınmıştır. Açıktır ki, gemilerin kısa yanaşma sürelerini sağlamak için terminaldeki tüm süreçlerin operasyonel sürelerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu süre, esas olarak, ekipmanların konteynerleri depolamak ve geri almak için terminal boyunca yönlendirilme şekline bağlıdır. Bir konteynerin boşaltılması veya yüklenmesi için gerekli zaman döngüsü aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

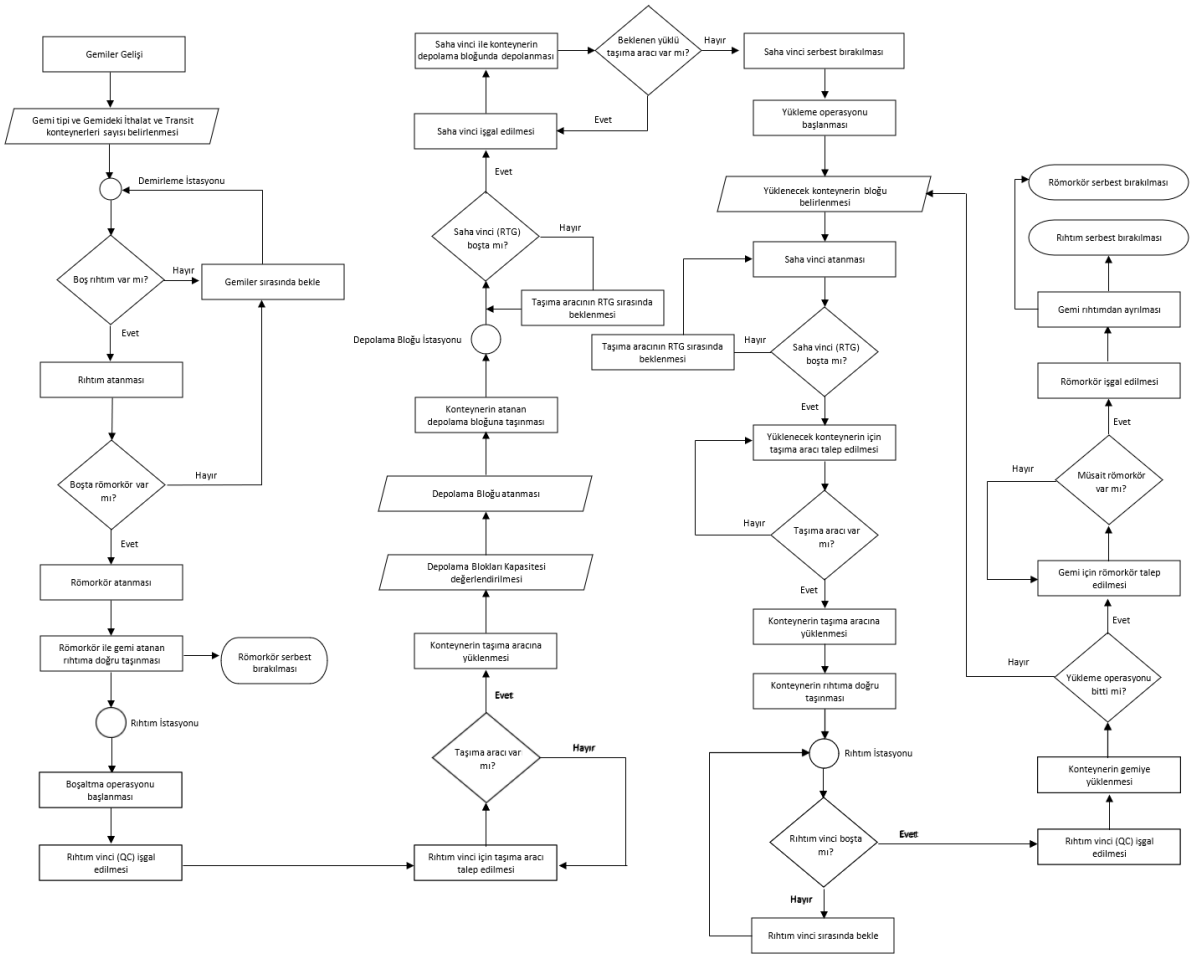
$$T_c = T_{QC} + T_{YC} + T_{TT} \tag{3.7}$$

Burada;

T_{QC} : Rıhtım vincinin çalışma süresini ve rıhtım vincinin taşıma aracı için beklediği zamanı temsil etmektedir.

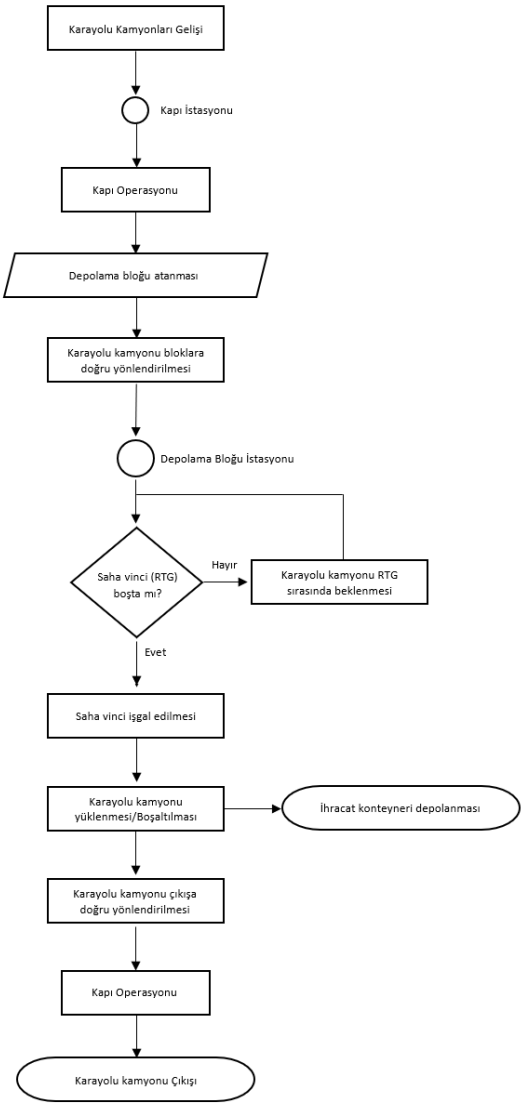
T_{YC} : Saha vincinin çalışma süresini ve saha vincinin taşıma aracı için beklediği zamanı temsil etmektedir.

T_{TT} : Bir elleçleme döngüsünü tamamlamak için taşıma aracının seyahat süresini ifade etmektedir.



Şekil 3.6: Gemilerin boşaltılması ve yüklenmesi süreci kavramsal modeli.

Aynı şekilde karayolu kamyonları kara tarafındaki kapılardan limana girmektedir. Alınacak konteyner ile ilgili bilgi kapıda sağlanmaktadır, eş zamanlı ihracat konteynerinin depolanması için depolama bloklarında bir yer ayrılmaktadır. Karayolu kamyonları depolama bloklarına yönlendirilir ve ardından boşaltma veya yükleme işlemleri saha vinçleri ile yapılmaktadır. Ardından karayolu kamyonları kapıdan tekrar limandan ayrılmaktadır. Şekil 3.7'de karayolu kamyonların boşaltılması ve yüklenmesi süreci kavramsal modeli sunulmuştur.



Şekil 3.7: Karayolu kamyonların boşaltılması ve yüklenmesi süreci kavramsal modeli.

3.4.4. Performans Kriterleri

Terminalde elleçlenen konteyner başına ortalama maliyete doğrudan etkisi olan performans kriterlerini bulmaya çalışılmıştır. Rıhtım vinçleri tarafından yılda elleçlenen ithalat, ihracat ve transit konteynerlerinin toplam sayısı önemli bir referanstır.

Gemi dönüş süresi, bir geminin bir limanda varışından ayrılışına kadar geçirdiği toplam süre olarak tanımlanmaktadır. Geminin geri dönüş süresi, konteynerlerin toplam taşıma maliyetinde önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Gemi geri dönüş süresinin en aza indirilmesi, nakliyeciler ve terminal operatörleri için ana önceliklerden biridir. Uygulamada, gerçek gemi geri dönüş süresinin, ekipmanın performans özelliklerine bağlı olarak değişebileceğinden dolayı önerilen otomatik sistemlerin performansını değerlendirmek için iyi bir ölçüdür.

Terminalin kısa sürede kamyonlara hizmet edebilme yeteneği, kamyoncular için maliyet düşürmeye yol açmakta ve terminali daha cazip hale getirmektedir. Bu nedenle, bir başka yararlı performans ölçüsü, kamyonun terminalde yükleme / boşaltma işlemi için harcadığı ortalama süredir. Bu süre, karayolu kamyonları geri dönüş süresi olarak adlandırılmaktadır.

Uygun maliyetli terminaller, beklenen talebi karşılamak için gerekli olan ekipmanlar miktarını mümkün olan en düşük seviyede tutmaktadır. Dolayısıyla kullanılan ekipman sayısı önemli bir performans kriteri olarak kabul edilmiştir. Ayrıca performans ölçütleri arasında ekipmanların (rıhtım vinçlerinin, istif vinçlerinin, yatay taşıma araçları) kullanım oranı ve bu ekipmanların ortalama bekleme süreleri yer almaktadır. Talep zamanla değişebildiğinden dolayı ekipmanın ne kadar etkili kullanıldığına dair iyi bir ölçü ekipmanın boşta kaldığı süresidir. Bu, ekipmanın boşta kaldığı zamanın yüzdesi olarak ölçülmektedir. Düşük boş kalma süresi ekipmanın verimli bir şekilde kullanıldığını gösterirken, yüksek boş kalma süresi ekipmanların yeterince kullanılmadığını göstermektedir. Tablo 3.3'te sunulan performans kriterleri, konteyner terminallerinin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Tablo 3.3: Simülasyon modeli değerlendirmede kullanılan performans kriterleri

Performans kriteri	**Açılama**
Limanın yıllık Verimliliği	Rıhtım vinçleri tarafından yılda elleçlenen ithalat, ihracat ve transit konteynerlerinin toplam sayısıdır.
Gemi geri dönüş süresi	Geminin limanda varışından ayrılışına kadar geçirdiği toplam süredir
Karayolu kamyonları geri dönüş süresi	Kamyon kapıya girmesi, hizmet edilmesi ve kapıdan çıkması için geçen ortalama süredir (kapıdaki işlem süresi dahil edilmemektedir).
Ekipmanlar kullanım oranı	Ekipmanların boşta kalma süresidir.
Ekipman sayısı	Kullanılan ekipmanların sayısıdır.

3.4.5. Giriş Verileri

Simülasyon modelinde kullanılan veriler mümkün olduğunca mevcut terminalin günlük belgesel kayıtlarından elde edilmiş ve tüm eksik veriler, vakamıza benzer şekilde önceki çalışmalara bağlı olarak varsayılmıştır. Ana giriş verileri, gemilerin arası varış zamanı, karayolu kamyonlarının arası varış zamanı, rıhtım sayısını, rıhtım vinçlerinin sayısını, saha vinçleri sayısını, sahadaki istifler sayısını, konteyner taşıma araçlarının sayısını ve kat ettiği mesafelerini ve bütün ekipmanlar için çalışma sürelerini içirmektedir. Diğer giriş verileri, gemilerin tipi ve boşaltılacağı ve yükleneceği konteyner sayısıdır. Hem konteyner gemilerinin

varış süresinin hem de kaynakların hizmet sürelerinin çeşitliliği, gerçek işlem sürelerini yansıtan istatistiksel dağılımlar kullanılarak modellenmiştir. Simülasyon modelinde kullanılan başlıca dağılımlar ve parametreler tablo 3.4'te özetlenmiştir. Gerçek sistemden elde edilen aktivite kayıtları kronolojik sırayla simülasyon modeline aktarılmıştır. Böylece, uygun istatistiksel testler gerçekleştirerek simülasyon sonuçlarını karşılık gelen gerçek yanıt ölçülerine göre doğrulamak mümkün hale gelmektedir.

Tablo 3.4: Simülasyon modelinde kullanılan girdi veriler.

Giriş Verileri	**Değer**	**Birim**
İş günü sayısı	365	gün
Çalışma vardiya sayısı	3	adet
Gemiler arası varış zamanı	4	saat
Yükleme veya boşaltma için gemi başına konteyner sayısı	Tablo 3.5	TEU
Konteynerin ortalama bekleme süreleri (İthalat-İhracat)	15/7	gün
Transit Oranı	70	%
TEU faktörü	50	%
Rıhtım uzunluğu	2.180	m
Yanaşma yeri sayısı	6	adet
Terminal sahası	402.115	m^2
Saha slot sayısı	8.994	adet
Terminal kapasitesi	2.100.000	TEU
Depolama bloklarının sayısı	22	adet
Konteynerin istifleme yüksekliği	6 + 1	TEU
Karayolu kamyonlarının varış arası süreleri (Yüklü- Boş)	EXPO (2)	dk.
Karayolu kamyonlarının servis süresi	TRAN (2.3.5)	dk.
Ekipmanlar sayısı	Tablo 3.2	ad.
Römorkör sayısı	5	ad.
Ekipmanların seyahat mesafeleri *	-	dk.
Ekipmanların seyahat süreleri **	-	m
Ekipmanların seyahat hızları (RTG – TT)	130 – 660	m/dk.
Rıhtım vinçlerinin (STS) döngü süresi	144	saniye
Rıhtım vinçlerinin (MHC) döngü süresi	240	saniye
İstif vinçlerinin (RTG) döngü süreleri	UNIF (2,5.3,5)	dk.
Römorkör hızı	420	m/dk.
Römorkör bağlama ve çözme zamanı	10	dk.
Kapı sayısı	3	ad.
Kapı hizmet süresi	TRAN (2.3.5)	dk.
Kapı şeritlerinin sayısı	2	ad.

* Ekipman seyahat mesafeleri limanın gerçek planından alınmış ve simüle edilmiştir.
** Ekipman seyahat süreleri, gerçek seyahat mesafelerine ve ekipman hızlarına bağlı olarak program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.

3.4.6. Model Varsayımları

Araştırma gerçek bir konteyner terminalinin performans değerlendirmesiyle ilgili olduğundan simülasyon modeli gerçek operasyonel koşulları ve lojistik süreçleri olabildiğince yakından taklit etmelidir. Bununla birlikte, küçük ilişki düzeyine sahip unsurları çıkarmak ve önemli olan yönlere odaklanmak için varsayımlar yapılmalıdır. Simülasyon modelinin ana varsayımları şunlardır:

- Terminal saha vinçleri teknik özelliklerinde biraz farklılık gösterse de tüm vinçlerin aynı tipte olduğu varsayılmıştır.
- Terminalin çalışma koşullarının hava koşullarından etkilenmediği ve çalışma vardiyaları arasında farklılık göstermediği varsayılmıştır. Dahası, model deneyimsiz operatörler nedeniyle ve saha zemininin kötü yüzey koşullarından kaynaklanan nadir olayları işlememektir.
- Ekipmanların arızaları hakkında istatistik bulunmadığından dolayı modele eklenmemiştir. Vinçler her zaman iyi çalışmakta ve her zaman 24/7 gemilere hizmet verebilecekleri varsayılmıştır.
- Gemi su çekimi ve su derinliği üzerinde hiçbir kısıtlama yoktur.
- Her rıhtıma aynı anda sadece bir gemi yanaşabilmektedir.
- Rıhtım vinçlerinin yatay hareket süresi ihmal edilmekte ve vinçler birbirini geçmemektedir.
- Vinçlerin operasyonel verimliliği sabit olarak alınmaktadır. Aslında operasyonel verimlilik, yanaşma pozisyonundan, konteyner kamyonlarının sayısından vb. etkilenebilmektedir.
- Tüm konteynerlerin 20'lik konteynerler olduğu varsayılmıştır.
- Karayolu kamyonları ve rıhtım vinçleri arasında doğrudan işlem yoktur. Başka bir deyişle tüm konteynerler gemiye yüklenmeden veya karayolu kamyonları ile limandan ayrılmadan önce depolama sahasında depolanmaktadır.
- İstiflerin kendisi simüle edilmemiştir. Dolayısıyla yeniden sıralama (Marshaling) veya yeniden karıştırma dikkate alınmamıştır.
- Reefer konteynerleri sayılmamıştır.
- CFS operasyonları dahil edilmemiştir
- Ro/Ro ve genel kargo gemileri dahil edilmemiştir.

3.4.7. Modelin Simülasyon Programına Aktarılması

Eksiksiz bir liman simülasyon modelini oluşturmak için konteyner terminalinin römorkör, rıhtım, rıhtım vinçleri, istifleme blokları, istifleme vinçleri, yatay taşıma araçları gibi ana nesneleri, karayolu kamyonları ve terminalin yerleşimi bir bütün olarak simüle edilmiştir. Simülasyon modeli dört ana bölüme ayrılmıştır: gemilerin varışları ve römorkör operasyonu, karayolu kamyonların varışları, rıhtımda gemi yükleme / boşaltma operasyonları ve konteynerleri depolama / geri alma operasyonlarıdır.

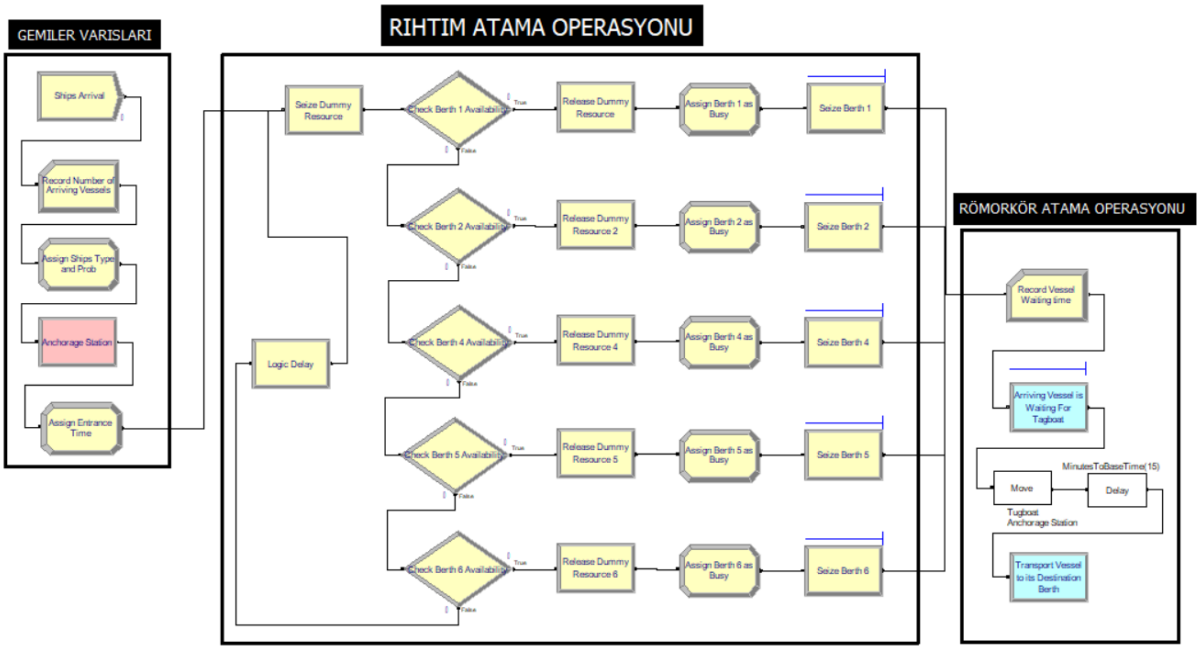
3.4.7.1. Gemilerin Varışları ve Römorkör Operasyonları

Gemilerin limana sabit oranla geldiği varsayılmıştır (4 saatte bir gemi). Daha sonra, her bir gemiye doldurulacak ve tahliye edilecek konteyner sayısı belirlenmekle birlikte gemilerin küçük, orta veya büyük üç gemi tipine ayrılması varsayılmıştır. Gemilerin bilgileri tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Simülasyon modelinde kullanılan gemi verileri.

Gemi Tipi	**G1**	**G2**	**G3**
Gemi özellikleri (TEU)	8000	4000	1500
Gemi varış olasılıkları (%)	40	40	20
Boşaltılan konteyner sayısı (TEU)	600	400	200
Yüklenen konteyner sayısı (TEU)	100	80	50

Ardından gemi bir rıhtımı ele geçirmeye çalışmaktadır. Rıhtım varsa geminin tek bir römorkörle limana çekildiği varsayılmıştır. Limanda toplam 5 römorkör mevcuttur. Açık deniz demirleme sahası römorkörler istasyonundan (3. rıhtımı römorkör istasyonu olarak kullanmaktadır) 12.600 metre uzaklıkta bulunduğu varsayılmıştır. 14 knot (420 metre / dakika) standart römorkör hızı göz önüne alındığında açık denizdeki demirleme sahası ile rıhtımlar arasındaki yolculuk tam olarak 30 dakika sürmektedir. Gerçek operasyonlardan elde edilen bilgilere göre römorkör bağlama sürecinin 10 dakika olduğu kabul edilmiştir. Herhangi bir rıhtım müsait değilse gemi demirleme alanında beklemekte ve yanaşmayı bekleyen gemiler kuyruğunun FIFO (ilk gelen ilk giden) kuralına göre sonuna atanmaktadır. Arena simülasyon programında oluşturulan gemiler varışı ve römorkör atanma sürecinin lojiği şekil 3.8'de gösterilmiştir.

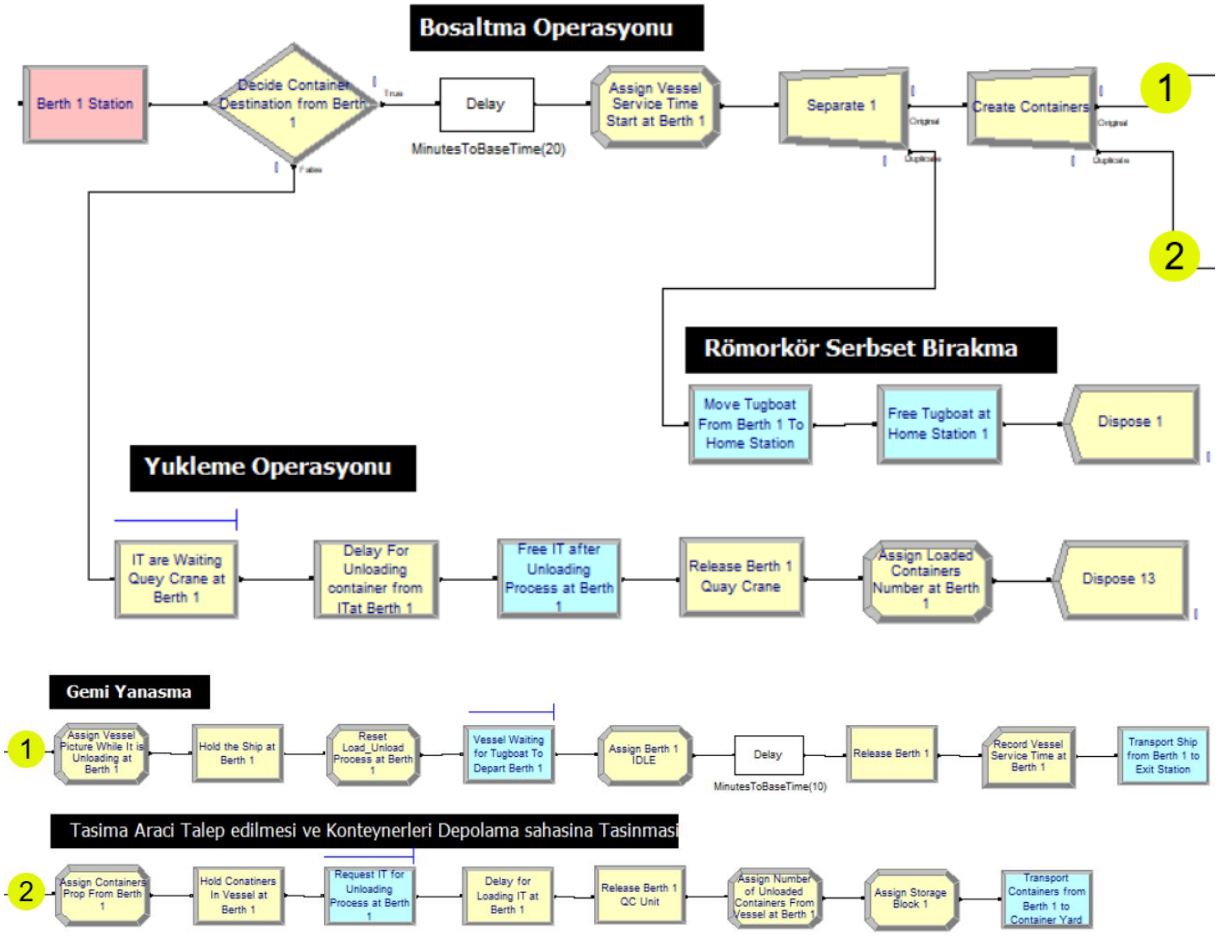


Şekil 3.8: Gemi varışı ve römorkör atanma Arena modeli.

3.4.7.2. Gemi Boşaltıma ve Yükleme Operasyonları

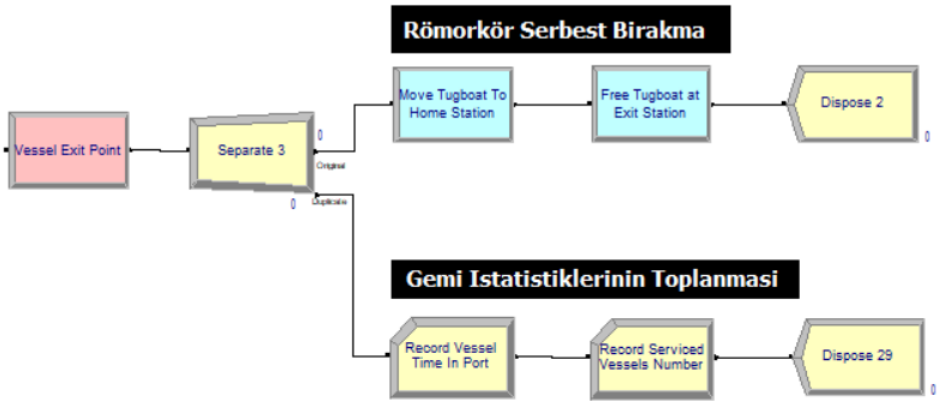
Gemi hemen yanaştıktan sonra römorkör serbest bırakılmakta ve boşaltma operasyonu başlamaktadır. Bu arada römorkörün halatların çözülmesi ve geminin rıhtıma yanaşması ve bağlanması için 20 dakikalık bir süre dikkate alınmıştır. Gerçek terminallerde olduğu gibi rıhtım vinci operasyonları, geminin istif planına göre önceden sıralanmaktadır. Dolayısıyla, simülasyon modelinde, her rıhtım vinci, önceden tanımlanmış iş sırasını takip ederek, atanan yükleme ve boşaltma işlemlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca gemi elleçleme sırasında tek döngü operasyon kullanılmaktadır. Bu, yükleme işleminin boşaltma işlemi tamamlandıktan sonra başladığı anlamına gelmektedir. Rıhtım vinçlerinin rıhtım boyunca hareketi simüle edilmemiş ve rıhtım üzerinde sabit konumlarda durdukları kabul edilmiştir. Terminal traktörlerini rıhtım vinçleri ile yükleme ve boşaltma süresi kullanıcı tanımlı olasılık dağılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Bu çalışmada limandaki fiili operasyonda ölçülen rıhtım vinçleri döngü süreleri kullanılmıştır. SSG rıhtım vinçlerinin ortalama döngü süresi 144 saniye iken mobil liman vinçlerinin ortalama döngü süresi 240 saniye olarak simüle edilmiştir. Her bir yükleme veya boşaltma işleminin gerçekleştirilebilmesi için bir terminal traktörü istenmektedir. Bu şekilde, konteynerlerin rıhtım vinçlerin ve konteyner taşıma aracı arasında transferi gerçekçi bir şekilde modellenmiştir. Geminin boşaltılması sırasında rıhtım vinçleri konteynerlerin tarafından işgal edilmekte ve gerekli terminal traktörünün gelişini beklemektedir. Konteyner taşıma aracının ulaştığında transfer işlemi gerçekleştirmekte ve rıhtım vinci serbest

bırakılmaktadır. Belirtilen sayıda ithalat veya transit konteyner boşaltıldıktan sonra ihracat konteynerlerinin yüklenmesi başlanmaktadır. Depolama sahasından gelen yatay taşıma araçları rıhtım vinçleri tarafından elleçlenerek ihracat konteynerleri direkt olarak gemiye yüklenmektedir. Şekil 3.9, simülasyon programı tarafından oluşturulan gemi boşaltma/ yükleme ve konteyner yatay taşıma modellerini göstermektedir.



Şekil 3.9: Gemi boşaltma ve yükleme operasyonlarının Arena modeli.

Gemi yükleme ve boşaltma sırasında rıhtıma tutulmaktadır. Planlanan tüm konteynerler elleçlendikten sonra gemi bir römorkör yardımıyla rıhtımdan ayrılmaktadır. Mevcut römorkörü kullanmak isteyen herhangi bir gelen gemi varsa ayrılan gemiye yüksek öncelik verilmektedir. Gemilerin varışlarına, ayrılmasına, limanda geçirdikleri sürelerine ve bekledikleri sürelerine ilişkin tüm istatistikler simülasyon modeli oluşturma süresince toplanmıştır.



Şekil 3.10: Gemiler ayrılma Arena Modeli.

Konteynerler, rıhtımlar ile depolama sahası arasında terminalde bulunan 59 manuel terminal traktörü ile taşınmakta olup her birinin bir seferde yalnızca bir konteyner taşımasına izin verilmektedir. Terminaldeki konumlar arasındaki seyahat süreleri, gerçekçi seyahat hızı değerleri ve gerçek geometrik mesafeler dikkate alınarak simüle edilmiştir. Teknik özelliklerde belirtilen ve gerçek operasyonlardan elde edilen değerler dikkate alınarak terminal traktörlerinin hızı 660 metre / dakika olarak kabul edilmiştir. Terminal traktörünün taşıma işlerine atanması için en yakın araç (Nearest Vehicle _NV) kuralı kullanılmıştır. En yakın araç kuralına göre, taşıma işine, ilgili rıhtıma veya saha vincine en yakın konumda bulunan serbest terminal traktörü atanmaktadır. Terminal traktörleri rıhtım vinci tarafından yüklendikten sonra minimum iş yüküne sahip en yakın depolama bloğuna yönlendirilmiştir.

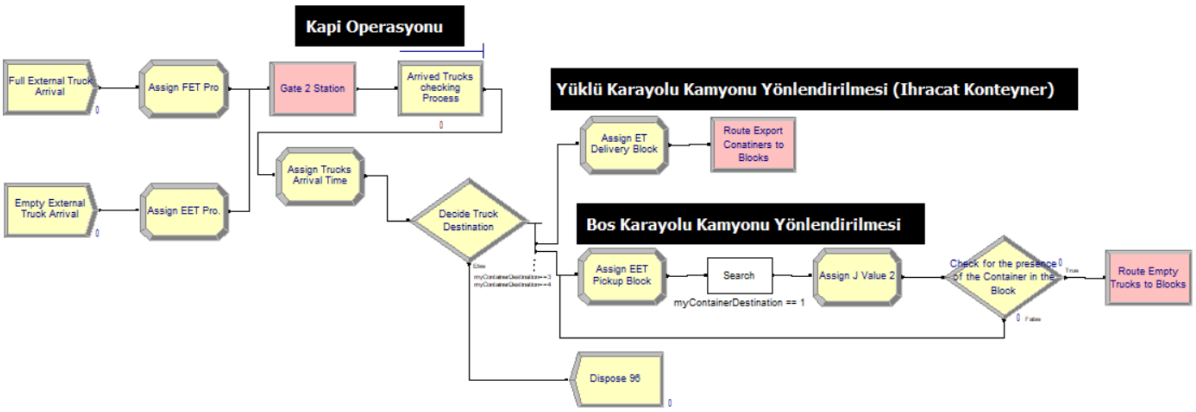
3.4.7.3. Karayolu kamyonlarının varışları ve ayrılmaları

Simülasyon modelinde limana gelen karayolu kamyonları iki gruba ayrılmıştır;

1) İhracat konteynerleri teslim eden kamyonlar,
2) İthalat konteynerleri almaya gelen boş kamyonlar.

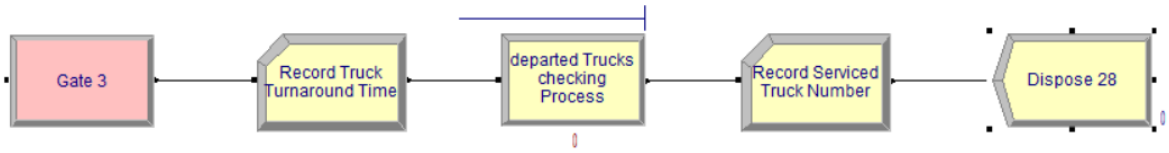
Karayolu kamyonlarının varışlar arası üstel dağılımı (Exponential Distribution) olarak simüle edilmiştir (EXPO (2) dakika). Liman kapılarına gelen ve giden kamyonların dokümantasyon ve denetim amacıyla 2 ila 5 dakika bekletildiği varsayılmıştır. Bu da üçgen dağılım (Triangular Distribution) olarak (TRIA (2,3,5) dakika) simüle edilmiştir. Kapı operasyonu sırasında, ihracat konteynerlerinin nereye yerleştirileceği veya ithalat konteynerlerinin hangi bloktan alınacağı belirtilmektedir. Liman kapısı ile depolama sahası arasındaki mesafeler ve limanda karayolu kamyonlarının hızı dikkate alınarak, her kamyonun depolama sahasına veya konteyner yerine ulaşmasının 5 ila 15 dakika sürdüğü tespit edilmiştir. Bunu simüle etmek için üçgen dağılım

kullanılmıştır (TRIA (5,10,15)). Şekil 3.11'de ve 3.12'de simülasyon programında oluşturulan karayolu kamyonlarının modelleri sunulmuştur.



Şekil 3.11: Karayolu kamyonlarının varışlarının Arena modeli.

Karayolu kamyonlarının varışlarına, ayrılmasına, limanda geçirdikleri sürelerine ve bekledikleri sürelerine ilişkin tüm istatistikler simülasyon modeli oluşturulma süresince toplanmıştır.



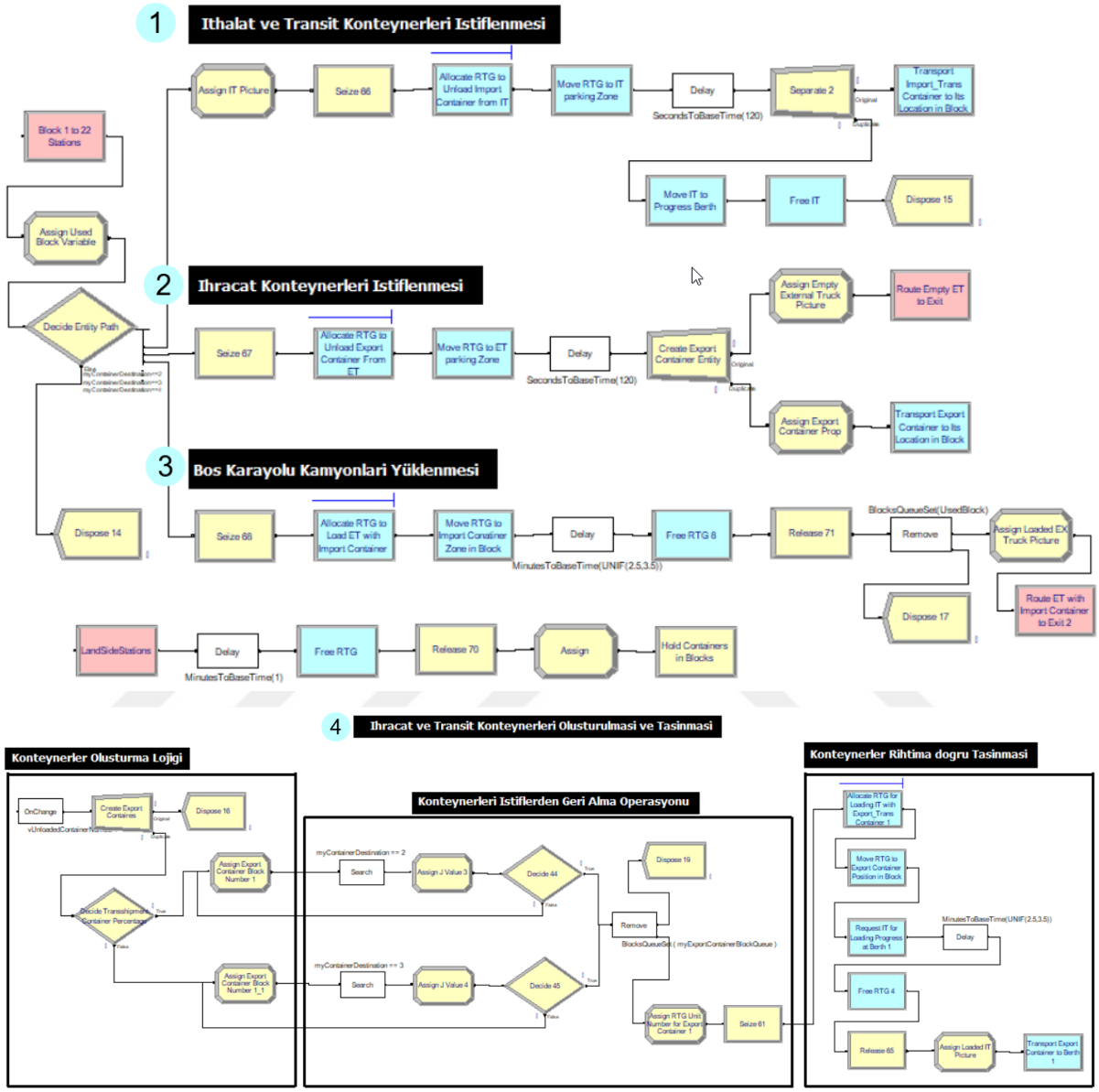
Şekil 3.12: Karayolu kamyonlarının ayrılmasının Arena modeli.

3.4.7.4. Saha Operasyonları (depolama / geri alma operasyonları)

Depolama sahası gerçek sistemle birebir benzer bir şekilde simüle edilmiştir. Depolama sahası 22 depolama bloğu, boş konteyner ve CFS (Container Freight Station) sahaları ve konteyneri yatay taşıma araçlarının kullandıkları yollardan oluşmaktadır. Her bloğa bir saha vinci atanmıştır ancak saha vinçlerinin farklı depolama blokları arasında transferine izin verilmemiştir. Bu politika "kısıtlayıcı saha vinci konuşlandırması" olarak adlandırılmaktadır. Depolama sahasında dört farklı operasyon gerçekleştirilmekte;

1) Rıhtım tarafından gelen ithalat ve transit konteynerlerinin elleçlenmesi ve depolanması,
2) Karayolu kamyonları ile gelen ihracat konteynerlerinin elleçlenmesi ve depolanması,
3) İthalat konteynerini istiflerden alıp gelen boş karayolu kamyonlarının yüklenmesi,
4) Transit veya ihracat konteynerlerini istiflerden alıp yatay taşıma araçlarının yüklenmesidir.

Şekil 3.13, depolama sahası operasyonlarının simülasyon modellerini göstermektedir. Bütün bu operasyonlar mevcut RTG vinçler ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.13: Depolama sahası operasyonlarının Arena modelleri.

Depolama sahası operasyonlarında operasyonlar arasında öncelik tanımak önemli bir husustur. Öncelik, ilk olarak rıhtım tarafı boşaltmaya, ikincisi rıhtım tarafı yüklemeye, üçüncüsü karayolu kamyonları boşaltmaya ve son olarak karayolu kamyonları yükleme işlemlerine verilmiştir. RTG vinçleri kılavuzlu taşıyıcı olarak (Guided Transporter) simüle edilmiştir. RTG vinçlerinin standart özelliklerine göre portal hızı (130 m/dakika) ve bir hamle döngü süresi 2,5 ila 3,5 dakika olarak belirtilmiştir. RTG portal hareketleri belirtilen hız ve depolama bloğunun uzunluğuna dikkate alınarak Arena tarafından otomatik olarak gerçekleşmektedir.

3.4.8. Modeli Başlatma ve Durdurma

Uygun başlatma koşullarını, çalıştırma süresinin ne kadar sürmesi gerektiği ve belirli bir zamanda mı durması gerektiği veya belirli bir şey olduğunda durması mı gerektiği belirlenmelidir. Bunu düşünmek varsayımlar+ın model ile uyumlu olması önemlidir. Bu kararların sonuçlar üzerinde büyük etkisi vardır.

Birçok simülasyon modelleme sonlandırma (Terminating) veya kararlı durum (Steady-State) olarak sınıflandırılabilmektedir. Bu, iç model mantığı veya inşası ile çok fazla ilgisi olmaktan ziyade, öncelikle bir amaç meselesidir veya çalışmanın amacıdır. Sonlandırma simülasyonunda model, incelenen sistemin gerçekte nasıl çalıştığının doğal bir yansıması olarak belirli başlatma ve durdurma koşullarını dikte etmektedir. Adından da anlaşılacağı gibi simülasyon, modele özgü bazı kural veya koşula göre sona ermektedir. Örneğin, bir mağaza sabah 9'da müşteri olmadan açılmakta, saat 21:00'de kapılarını kapatmakta ve ardından tüm müşteriler "temizlenene" kadar çalışmaya devam etmektedir. Temel olarak simülasyonun zaman çerçevesinin iyi tanımlanmış doğal bir sona ve başlangıca sahip olmasıdır. Öte yandan kararlı durum simülasyonu, tahmin edilecek miktarların uzun vadede tanımlandığı bir simülasyondur; yani teorik olarak sonsuz bir zaman çerçevesindedir. Elbette, sabit durum simülasyonunun bir noktada durması gerekmekte ve bu çalışmalar oldukça uzun sürebilmektedir.

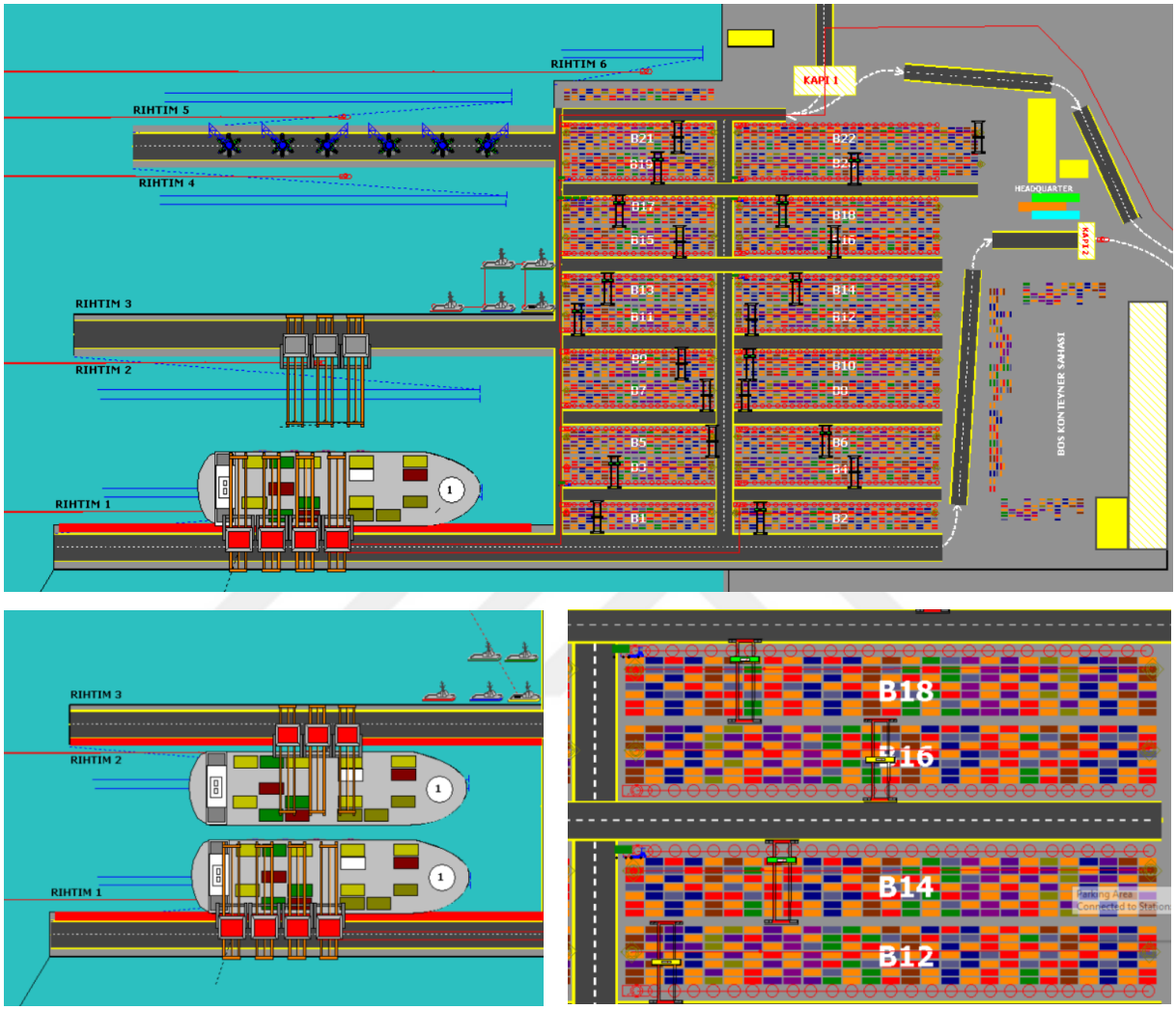
Çalışmada simüle edilen modelin başlatma koşulları ve çalıştırma süresinin ne kadar "uzun" olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. İncelenen Liman 7/24 çalıştığı ve asla durmadığı veya yeniden başlamadığı için sabit durum simülasyonu olarak simüle edilmiştir. Ayrıca, simülasyon modeli 1 yıl boyunca çalıştırılmıştır.

3.4.9. Model Doğrulama ve Geçerlilik

Doğru modeli oluşturulduğu belirlenmek için ve modeli doğru oluşturulup oluşturulmadığı görmek için model doğrulama ve geçerleme yapılmıştır. İlk olarak simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar, gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon modelinin doğrulama testleri özellikle toplam elleçlenen konteyner sayısına dayanmıştır çünkü bu ölçü, terminalin genel performansını etkileyen tüm parametreleri içermektedir.

İkinci olarak, model geçerliliğine yönelik Arena yazılımında oldukça kullanışlı ve etkili olan izleme yaklaşımından iyi bir şekilde yararlanmıştır. İzleme yoluyla, bir varlığın tüm yaşam döngüsünü takip edilmiştir ve gerçek durumlarla bir karşılaştırma yapılmıştır. Son olarak

animasyon, simülasyon modelini mantıksal olarak doğrulamanın etkili bir yolu olarak kabul edilmiştir. Şekil 3.14, Arena programı sayesinde oluşturulan modelin 2D animasyon görüntülerini göstermektedir.



Şekil 3.14: Arena 2D Animasyon modelinden anlık durum görüntüleri.

4. BULGULAR

Terminalin performansının iyileştirilmesi ve yeni stratejilerin geliştirilmesi amacıyla, ilk olarak mevcut konfigürasyonu analiz etmek ve terminalin modeli geçerliliğini incelemek için ilk deney yapılmıştır (Bölüm 4.1). Daha sonra, mevcut manuel (terminal traktörleri & RTG vinçleri) sistemi otomatik terminal traktörleri (AGV) ve otomatik istif vinçleri (ASC) otomatik sistem ile değiştirilerek ve saha yerleşiminin yeni sistem ile tamamen uyumlu olacak şekilde tasarlanarak ikinci deney yapılmıştır (Bölüm 4.2). Ondan sonra, AGV'leri straddle taşıyıcıları ile değiştirerek alternatif otomatik yatay taşıma sistemi değerlendirilmiştir (Bölüm 4.3). Son olarak taşıma araçları atama kuralı ve depolama bloğu atama kuralı gibi bazı tasarım varsayımlarının sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmiştir (Bölüm 4.4).

4.1. MEVCUT TERMİNAL SİSTEMİNİN ANALİZİ

İlk deneyde simülasyon modeli, mevcut terminal yerleşiminin performansını değerlendirmek ve modelin gerçek sistemi temsil ettiğinden emin olmak için kullanılmıştır. Simülasyon çalışmalarının sonuçları, gerçek sistemin ölçülen performans kriterleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

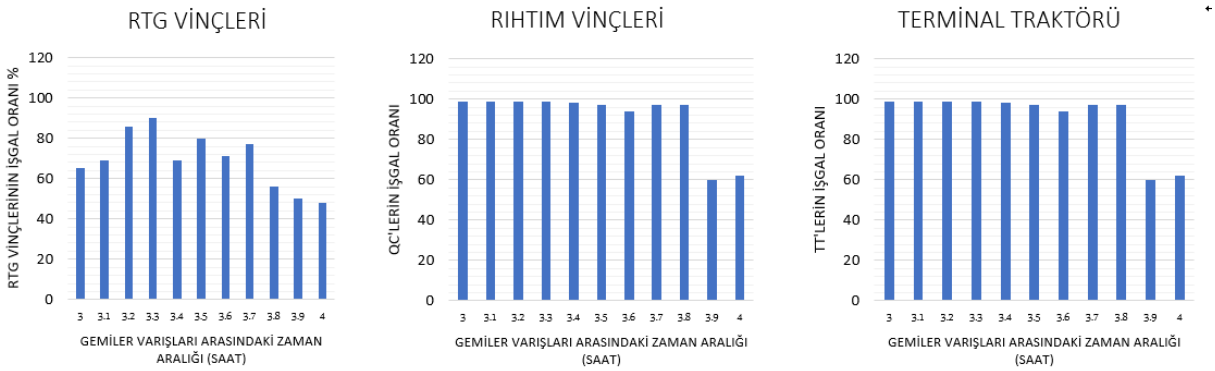
Tablo 4.1: Mevcut limanın simülasyon modelinden elde edilen performans kriterleri.

Performans kriteri	Değer	Birim
Yıllık Verimliliği	1.171.131	TEU
Yıllık elleçlenen ortalama gemi sayısı	2.199	ad
Gemilerin ortalama dönüş süresi (servis zamanı)	9,52	sa
Yıllık elleçlenen ortalama karayolu kamyonlarının sayısı	315.849	ad
Karayolu kamyonları ortalama dönüş süresi (kapıdaki süreyi içermez)	0,46	sa
Rıhtım 1 işgal oranı	82	%
Rıhtım 2 işgal oranı	75	%
Rıhtım 1'de QC'lerin kullanım oranı	60	%
Rıhtım 2'de QC'lerin kullanım oranı	59	%
Terminal traktörlerinin kullanım oranı	46	%
RTG vinçlerinin kullanım oranı	50	%
QC'lerin boş terminal traktörleri beklediği ortalama süresi (rıhtım 1 / rıhtım 2)	0,00/0,00	dk
Yüklü terminal traktörlerinin QC'leri beklediği ortalama süresi (rıhtım 1 / rıhtım 2)	11,40/15,60	dk
RTG'lerin boş terminal traktörleri beklediği ortalama süresi	1,80	dk
Yüklü Terminal traktörlerinin RTG vinçlerinde ortalama bekleme süresi	3,60	dk
Yüklü karayolu kamyonları RTG vinçlerinde ortalama bekleme süresi	4,20	dk
Boş karayolu kamyonları RTG vinçlerinde ortalama bekleme süresi	4,80	dk

Simülasyon sonuçlarından limanın verimliliğinin (1.144.542 TEU) ve elleçlenen gemi sayısının (2199 ad.) son yılların gerçek rakamlara (şekil 3.4 ve şekil 3.5) çok yakın olduğu görünmektedir. Dolayısıyla modelin geçerliliğinin modeli geliştirme stratejilerinde kullanmak için yeterli olduğu kabul edilmektedir.

Tablo 4.1'de ekipmanların kullanım oranı ve rıhtım işgal oranı gibi diğer performans kriterleri de gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarından terminal traktörlerinin ve saha vinçlerinin yaklaşık olarak yarı kapasitede çalıştığı anlaşılabilmektedir. Bunun nedeni, terminal traktörlerinin ve saha vinçlerinin çalışma döngülerinin yakından bağlantılı olmasıdır. Bir konteyneri bir terminal traktörüne yüklemek veya bir konteyneri terminal traktöründen boşaltmak için bir saha vinci gereklidir. Diğer bir deyişle, saha vinçleri ve terminal traktörleri çalışma döngüsünü tamamlamak için birbirlerini beklemek zorundadır. Rıhtım vinçlerinin verimliliğine bakıldığında toplam kapasitenin %60'ında çalıştıkları görülebilmektedir. Bu durum, rıhtımın boşta kalma süresinden kaynaklanmaktadır.

Modelin geçerliliğinden emin olduktan sonra mevcut sistemin maksimum kapasitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaca yönelik modeli farklı iş yükü altında çalıştırılmıştır (gemiler varışları arasındaki zaman aralığı kısaltılarak). Şekil 4.1, gemiler varışları arasındaki zaman aralığının 3 saate indirilmesinin konteyner elleçleme ekipmanlarının işgal oranı üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 4.1: Gemilerin gelişleri ile ekipman işgal oranı arasındaki ilişki.

Konteyner hacimlerindeki artışın sistemde darboğaza neden olacağı fark edilmiştir. Sistemde meydana gelen darboğazın sebebinin konteyner yatay taşıma araçlarının yetersiz olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. QC'ler konteyneri gemiden kaldırırken, konteyner taşıma araçlarının varışını beklemesi gerekmektedir. Oluşturan sistem, tüm yatay taşıma araçları

konteynerlerle meşgul olduğunda ve QC'ler bu araçların gelişini beklemekle meşgul olduğunda bir noktada duracaktır. Sonuç olarak incelenen sistemin mevcut durum ile maksimum kapasitede çalıştığı söylenebilmektedir.

Ayrıca yatay taşıma sistemi ile saha vinçlerinin arasında güçlü bir ilişki olduğu vurgulanmalı, bu nedenle yatay taşıma sisteminin yeterli olacağı belirli bir noktada depolama sistemi darboğaz haline gelebilmektedir. Bu durumda iki sistem arasında maksimum entegrasyona ulaşmak için bir optimizasyon çalışması yapılmalıdır.

4.2. AGV-ACT SİSTEMİNİN ANALİZİ

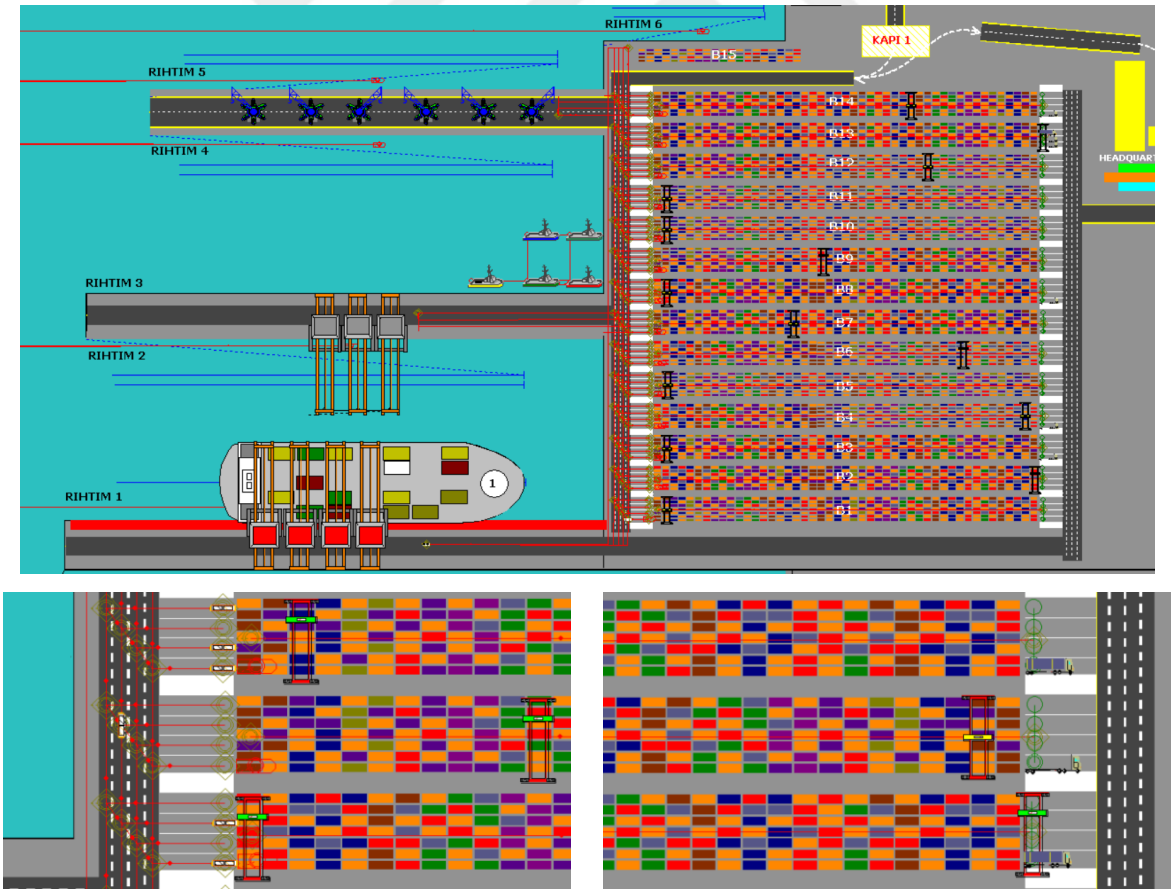
Bu bölümde manuel konteyner elleçleme sistemi değiştirilerek ve otomatik sistemler benimsenerek limanın verimliliğinin arttırma olasılığı incelenmiştir. Bu simülasyon deneylerde AGV ve ASC dayalı otomatik konteyner elleçleme sistemi (AGV-ACT) incelenmiştir ve değerlendirilmiştir. Bu konseptte, manuel limanın yerleşimi yeni sistem ile tamamen uyumlu olacak şekilde değiştirilmiştir. Ayrıca manuel olarak çalıştırılan ekipman (manuel terminal traktörleri ve manuel RTG vinçleri) kullanmak yerine, konteyner yatay taşıma operasyonlarını gerçekleştirmek için otomatik terminal traktörleri (AGV'ler) ve karayolu kamyonlarının ve AGV araçlarının yüklenmesi/boşaltılması ve konteynerlerin depolanması için otomatik istif vinçleri (ASC) kullanılmıştır.

İncelenen limanın mevcut yerleşim planına ve literatürde belirtilen otomatik konteyner terminallerinin ve ekipmanlarının özelliklerine bağlı olarak önerilen otomatik sistemin özellikleri tanımlanmıştır. AGV-ACT sisteminin temel özellikleri tablo 4.2'de özetlenmiştir. Yeni tasarımda 22 depolama bloğu yerine 14 depolama bloğu kullanılmıştır (her bloğa bir ASC atanmıştır). Maksimum istifleme yüksekliği altı konteynere eşittir. ASC genişliği 7 TEU ve sıra uzunluğu 47 TEU olarak varsayılmıştır. Buna göre bir depolama bloğunun kapasitesi 1.974 TEU olarak belirtilmiştir. Önerilen otomatik limanın depolama saha kapasitesi 27.636 TEU'ya ulaşabilmektedir. Otomasyonunun ilk faydası, artan depolama kapasitesidir. 21.714 TEU depolama kapasitesine sahip mevcut yerleşim planına göre yeni tasarımda depolama kapasitesinde %27,27 artış görülebilmektedir. Bu, depolama blokları arasındaki yolların ortadan kaldırılmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.2, simülasyon ortamında önerilen otomatik terminalin genel yerleşimini göstermektedir.

Tablo 4.2: AGV-ACT Terminalin fiziksel özelliklerinin özeti

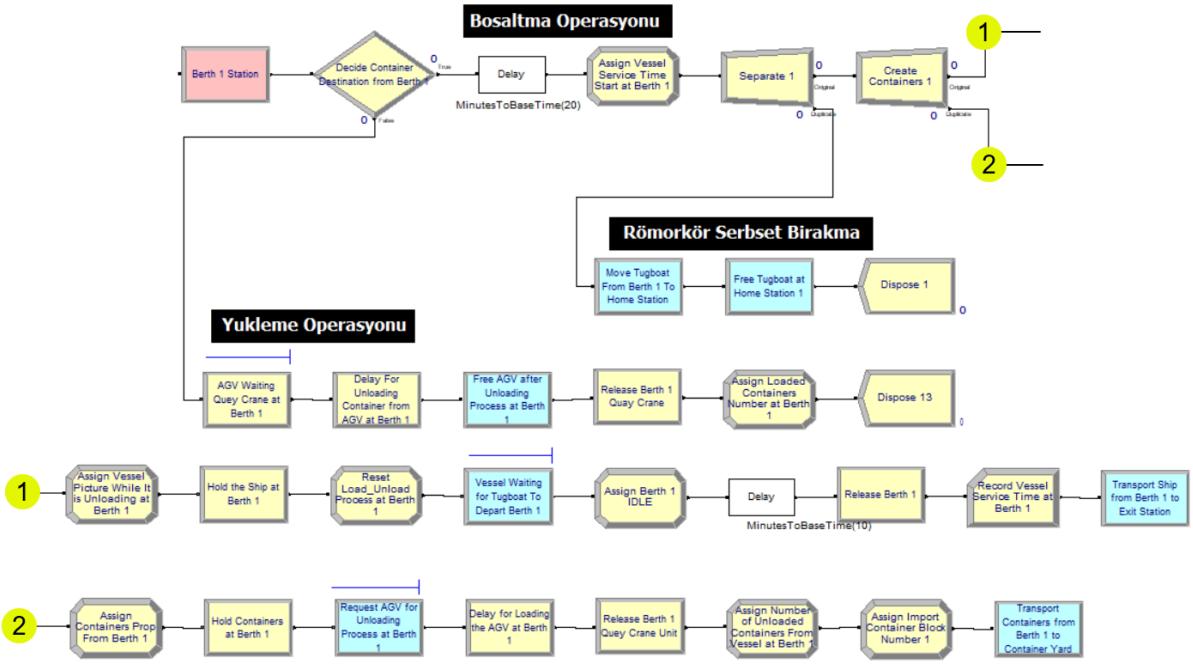
Açıklama	Değer
Rıhtım sayısı	6
Rıhtım vinçlerinin kapasitesi	Saatte 25 hareket (birleşik yükleme ve boşaltma)
Rıhtım vinci sayısı	7
Otomatik istif vinçlerinin döngü süresi	60 saniye (Seyahat süresi hariç)
Otomatik istif vinçlerinin sayısı	14
Otomatik istif vinçlerinin hızı	240 m/dk.
Saha vinçlerinin hızlanması ve yavaşlaması	± 4 m/s^2
AGV sayısı	80
AGV'lerin hızı	7 m/s
AGV'lerin hızlanması ve yavaşlaması	± 4 m/s^2

Konteyner yatay taşıma operasyonlarını gerçekleştirmek için otomatik terminal traktörleri kullanılırken hem yüklü hem de yüksüz AGV'lerin hareket hızı 7 m/s'dir, ancak bu kullanıcı tarafından da ayarlanabilmektedir. Ayrıca, varsayılan hızlanma 0,4 m/s^2 ve yavaşlama -0,4 m/s^2'dir. Araçların hareketi, sabit bir seyir hızı ile modellenmiştir. Bir yol boyunca hareket sırasında hızlanma veya frenleme yoktur. AGV'ler dönerken hızlarını yarı yarıya düşüreceği varsayılmıştır.

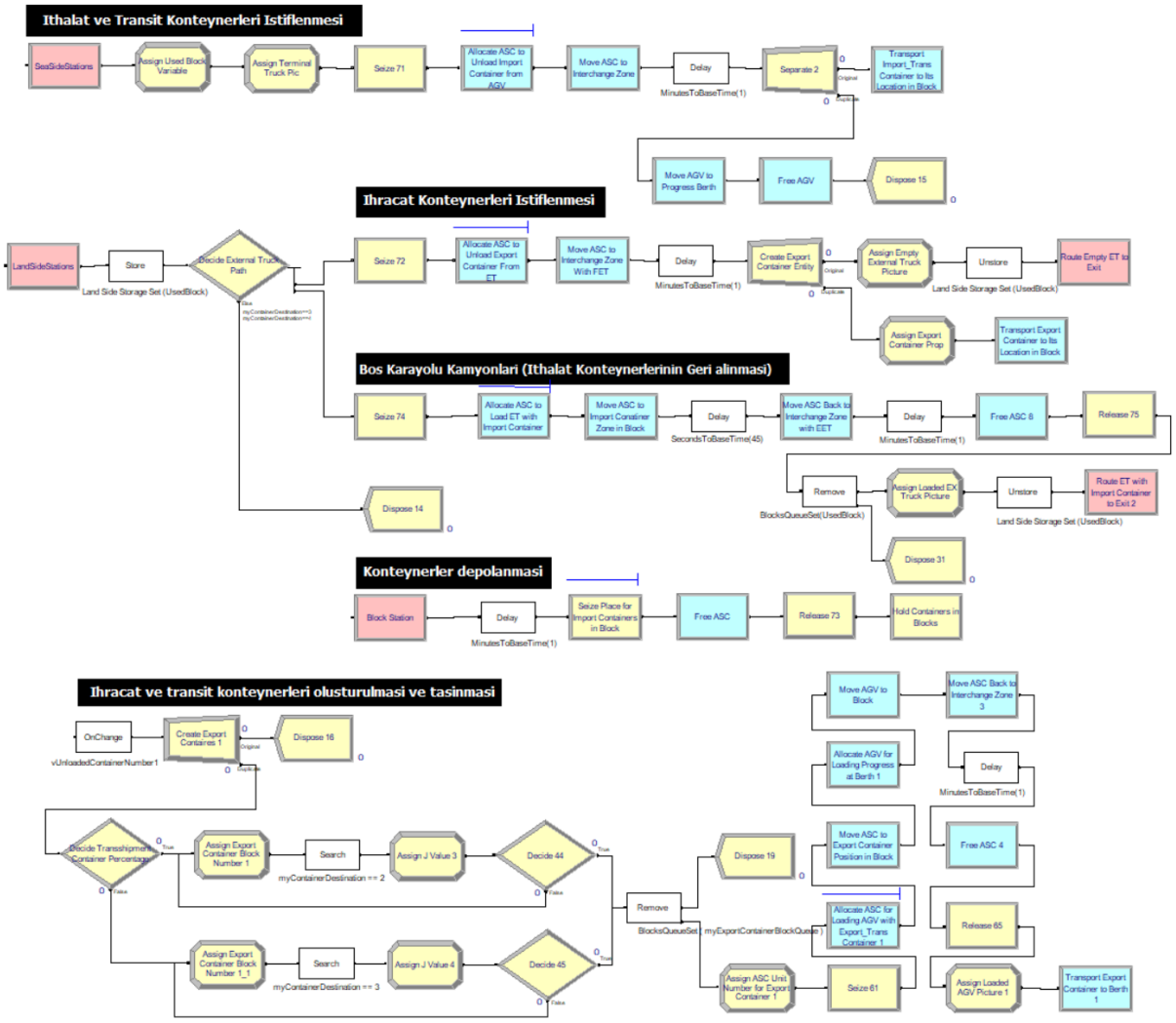


Şekil 4.2: Otomatik terminalin Arena 2D Animasyon modeli

AGV'lerin ve karayolu kamyonlarının yüklenmesi ve boşaltılması artık otomatik istif vinçlerinin ucundaki tamponlarda yapılmaktadır. Her ASC'nin ucunda dört transfer noktası vardır. Bu transfer noktaları, boş AGV'ler tarafından park için de kullanılabilmektedir. Hem ASC hem de AGV, kılavuzlu taşıyıcı (Guided Transporter) olarak simüle edilmiştir ve gerçek hareket mantığı ve mesafeleri temel alınarak, yolları da simüle edilmiştir. Otomatik liman simülasyon modeli oluşturulurken, gemi varışı ve römorkör atama, gemi ayrılma ve karayolu kamyonları varış / ayrılma modelleri manuel sistemde olduğu gibi simüle edilmiştir. Bununla birlikte, konteyner taşıma ve depolama sahası operasyon modelleri sırasıyla şekil 4.3'te ve 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Otomatik limanda gemi boşaltma / yükleme ve konteyner taşıma operasyonlarının Arena modeli.



Şekil 4.4: Otomatik limanın depolama sahası operasyonlarının Arena modeli.

Maksimum AGV sayısı kullanıcı tanımlıdır. Ancak, AGV'lerin sayısı optimizasyon çalışmaları ile hesaplanmıştır (OptQuest for Arena). Optimizasyon çalışmaları, gerekli AGV sayısının büyük ölçüde ASC'lerin performansına bağlı olduğunu göstermiştir. AGV sayısı 80 olarak belirtilmiştir. Ayrıca optimizasyon çalışmaları, AGV filo boyutunun azaltılmasının tüm limanın performansını bozduğunu göstermiştir. Sözde otomatik konteyner terminali (AGV-ACT), belirtilen sistemin özellikleri dikkate alınarak ve manuel sistemde üstlendiğimiz diğer veriler (Bölüm 3.4.5) kullanılarak simüle edilmiş ve değerlendirilmiştir. Tablo 4.3, AGV-ACT simülasyon sisteminin sonuçlarını özetlemektedir.

Tablo 4.3: Otomatik AGV-ACT sisteminin simülasyon modelinin sonuçları.

Performans kriteri	Değer	Birim
Yıllık Verimliliği	1.192.080	TEU
Yıllık elleçlenen ortalama gemi sayısı	2.208	ad
Gemilerin ortalama dönüş süresi (servis zamanı)	7,81	sa
Yıllık elleçlenen ortalama karayolu kamyonlarının sayısı	314.496	ad
Karayolu kamyonları ortalama dönüş süresi (kapıdaki süreyi içermez)	1,03	sa
Rıhtım 1 işgal oranı	81	%
Rıhtım 2 işgal oranı	78	%
Rıhtım 1'de QC'lerin kullanım oranı	68	%
Rıhtım 2'de QC'lerin kullanım oranı	69	%
AGV kullanım oranı	41	%
ASC'lerin kullanım oranı	72	%
QC'lerin boş terminal traktörleri beklediği ortalama süresi (rıhtım 1 / rıhtım 2)	0,00/0,00	dk
Yüklü AGV'lerin QC'leri beklediği ortalama süresi (rıhtım 1 / rıhtım 2)	6,00/10,80	dk
ASC'lerin boş AGV'leri beklediği ortalama süresi (geri alma operasyonu)	0,00	dk
Yüklü AGV'lerin ASC vinçlerinde ortalama bekleme süresi	6,60	dk
Yüklü karayolu kamyonları ASC vinçlerinde ortalama bekleme süresi	26,40	dk
Boş karayolu kamyonları ASC vinçlerinde ortalama bekleme süresi	46,80	dk

Simülasyon modellerinin başlangıç koşulları iki deneyde aynı tutulduğundan, limanın yıllık kapasitesi küçük bir fark göstermektedir. Bununla birlikte, gemi dönüş süresi, otomatik sistemin uygulanmasına ilişkin limandaki gelişmeyi ölçmek için en önemli performans faktörü olmaya devam etmektedir. Tablo 4.4, manuel sistemin sonuçları ile otomatik sistemin sonuçları arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir.

Otomatik sistemin simülasyon modelinin sonuçları, gemi dönüş süresinin 9,52 saatten 7,81 saate düştüğünü (%18) göstermektedir. Gemi dönüş süresindeki bu düşüş, rıhtım operasyonunun kara tarafı operasyonlarına göre öncelik tanımlanması ve rıhtım vinçleri için konteyner taşıma araçlarının bekleme sürelerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Konteyner taşıma araçlarının rıhtım vinçleri bekleme sürelerindeki azalma rıhtım 1 ve 2'de sırasıyla %47 ve %30'ye ulaşmıştır. Bu, limanın aynı zaman penceresinde daha fazla gemiyi elleçlemesine yardımcı olabilmekte ve limanı müşteriler için daha çekici hale getirmektedir. Karayolu kamyonlarının dönüş süresinin %124 çıkması önemlidir. Bunun nedeni, konteyner hareketinin rıhtım tarafından öncelik tanımlanması ve blok başına yalnızca bir ASC'nin kapı ve rıhtım operasyonlarının yürütülmesinden sorumlu olmasıdır. ASC'nin yüksek kullanım oranı (%72) göz önüne alındığında ASC'nin gelecekte darboğaz oluşturacağı önemli bir tespittir. Kullanılan ASC sayısının limanın performansı için kritik olduğu açıktır. ASC'den kaynaklanan herhangi bir darboğaz, blok başına 2 vinç uygulanarak aşılabilmektedir (Bu çalışmanın kapsamı dışındadır).

Tablo 4.4: Manuel ve otomatik sistem arasında karşılaştırma.

Performans kriteri	Manual	Otomatik	Birim	Artış/azalış Yüzdesi
Yıllık Verimliliği	1.171.131	1.192.080	TEU	+1.79
Yıllık elleçlenen ortalama gemi sayısı	2.199	2.208	ad	+0.41
Gemilerin ortalama dönüş süresi (servis zamanı)	9,52	7,81	sa	-17.96
Yıllık elleçlenen ortalama karayolu kamyonlarının sayısı	315.849	314.496	ad	-0.43
Karayolu kamyonları ortalama dönüş süresi	0,46	1,03	sa	+123.91
Rıhtım 1 işgal oranı	82	81	%	-1.22
Rıhtım 2 işgal oranı	75	78	%	+4.00
Rıhtım 1'de QC'lerin kullanım oranı	60	68	%	+13.33
Rıhtım 2'de QC'lerin kullanım oranı	59	69	%	+16.95
Taşıma aracı kullanım oranı	46	41	%	-10.87
İstif vinci kullanım oranı	50	72	%	+44.00
QC'lerin boş taşıma aracı beklediği ortalama süresi (rıhtım 1 / rıhtım 2)	0,00/0,00	0,00/0,00	dk	0.00
Yüklü taşıma aracının QC'leri beklediği ortalama süresi (rıhtım 1 / rıhtım 2)	11,40/15,60	6,00/10,80	dk	-47.37/-30.77
Saha vinçlerin boş taşıma aracı beklediği ortalama süresi (geri alma)	1,80	0,00	dk	
Yüklü taşıma aracının saha vinçlerinde ortalama bekleme süresi	3,60	6,60	dk	
Yüklü karayolu kamyonları saha vinçlerinde ortalama bekleme süresi	4,20	26,40	dk	
Boş karayolu kamyonları saha vinçlerinde ortalama bekleme süresi	4,80	46,80	dk	

- **Eksi işareti, düşüş anlamına gelmektedir**

Diğer simülasyon sonuçlarına bakıldığında, rıhtımların verimliliği ve rıhtım vinçlerinin kullanım oranı da artmıştır. Liman maksimum kapasitesi ile çalıştığı için iki sistemde de rıhtımların kullanım oranlarının hemen hemen aynı olduğu görülebilmektedir. Rıhtım vinçlerinin verimliliğindeki artış da fark edilebilmektedir. 1. ve 2. rıhtımdaki QC'lerin verimliliği sırasıyla %13,33 ve %16,95 artmıştır.

4.3. SC-ACT SİSTEMİNİN ANALİZİ

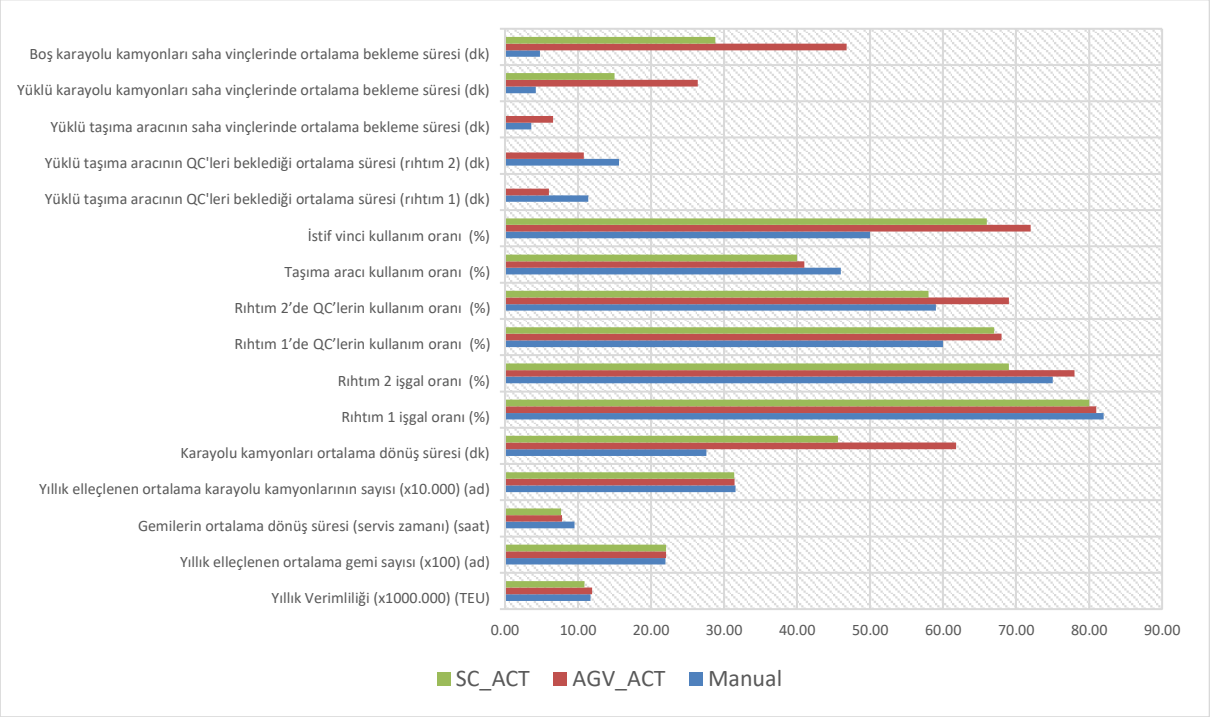
Bu simülasyon deneylerinde straddle taşıyıcıları (SC), sahadaki bloklar ile rıhtımlar arasında taşıma aracı olarak kullanılmıştır. Bu nedenle, simülasyon deneylerinde bunları, esas olarak kendinden yüklemeli bir aracın terminalin verimliliği üzerindeki etkisini analiz etmek için mevcut manuel terminal traktörleri taşıma sistemine bir alternatif olarak görülmüştür. Deneylerde, depolama bloklarında çalışan otomatik saha vinçlerini hala dikkate alırken, straddle taşıyıcılar yalnızca saha ile rıhtımlar arasında taşıma görevi görmektedir. Otomatik saha vinçlerinin, vinç ve araç operasyonlarının ayrıştırılması için küçük boyutlu bir tampon alan aracılığıyla konteynerleri straddle taşıyıcılarına aktardıkları varsayılmıştır. Benzer şekilde, rıhtım vinçlerine tamponlar ayrılmıştır, böylelikle rıhtım vinçleri, bir aracın konteynerleri yüklemesini veya boşaltmasını beklemek zorunda kalmamakta, bunları doğrudan yere bırakabilmektedir. Deneylerde blok başına dört konteynerlik ve rıhtım vinci başına on konteynerlik bir tampon boyutu varsayılmıştır. SC, AGV ile aynı hıza sahiptir. Uygun SC sayısını belirlemek için aynı optimizasyon çalışması yapılmıştır.

SC-ACT sistemi, belirtilen sistemin özellikleri dikkate alınarak ve manuel sistemde üstlendiğimiz diğer veriler (Bölüm 3.4.5) kullanılarak simüle edilmiş ve değerlendirilmiştir. Tablo 4.5, SC-ACT simülasyon sisteminin sonuçlarını özetlemektedir.

Tablo 4.5: Otomatik SC-ACT sisteminin simülasyon sonuçları.

Açıklama	SC-ACT	Birim
Yıllık Verimliliği	1.087.296	TEU
Yıllık elleçlenen ortalama gemi sayısı	2208	ad
Gemilerin ortalama dönüş süresi (servis zamanı)	7,68	sa
Yıllık elleçlenen ortalama karayolu kamyonlarının sayısı	313.896	ad
Karayolu kamyonları ortalama dönüş süresi	0,76	sa
Rıhtım 1 işgal oranı	80	%
Rıhtım 2 işgal oranı	69	%
Rıhtım 1'de QC'lerin kullanım oranı	67	%
Rıhtım 2'de QC'lerin kullanım oranı	58	%
SC kullanım oranı	40	%
ASC'lerin kullanım oranı	66	%
QC'lerin boş taşıma aracı beklediği ortalama süresi (rıhtım 1 / rıhtım 2)	0,00/0,00	dk
Yüklü SC'lerin QC'leri beklediği ortalama süresi (rıhtım 1 / rıhtım 2)	0,00/0,00	dk
ASC vinçlerin boş SC aracı beklediği ortalama süresi (geri alma operasyonu)	0,00	dk
Taşıma aracının saha vinçlerinde ortalama bekleme süresi	0,00	dk
Yüklü karayolu kamyonları saha vinçlerinde ortalama bekleme süresi	15,00	dk
Boş karayolu kamyonları saha vinçlerinde ortalama bekleme süresi	28,80	dk

SC otomatik sisteminin manuel sisteme göre AGV ile aynı avantajlara sahip olduğu açıktır. SC'nin konteynerleri yerden kaldırma yeteneği, konteyner taşıma operasyonunu rıhtım ve saha vinçlerinden ayrı olarak yapmalarına yardımcı olmaktadır. Dolaysıyla taşıma aracıyla ilgili bekleme süreleri ortadan kaldırılmıştır. Bu ayrımın, limanın genel performansı üzerinde de faydaları olduğu fark edilebilmektedir. Gemi geri dönüş süresinin manuel sisteme göre mükemmel bir şekilde geliştiği kanıtlanmıştır. SC sisteminin gemi geri dönüş süresini AGV sistemindekinden daha fazla azaltabileceği belirtilmelidir. Ayrıca, Karayolu kamyonlarının geri dönüş süresi AGV sistemine kıyasla %26 azalmıştır, bunun nedeni ASC'nin daha fazla sayıda karayolu kamyonu elleçleme zamanına sahip olmasıdır. SC-ACT sistemin aynı performansı vermesi için gerekli ekipman sayısı açısından AGV sistemine göre avantajlı olduğu teyit edilebilmektedir. Optimizasyon çalışmalarının sonuçları, (AGV-ACT) sisteminin performansı yakalamak için sadece 30 adet SC taşıyıcı ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Diğer sistemiyle ilgili gözlemler, ASC'nin yüksek kullanım oranı göz önüne alındığında ASC'nin gelecekte darboğaz oluşturacağını belirtmelidir. İncelenen tüm sistemlerden elde edilen sonuçlar arasında bir karşılaştırma Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



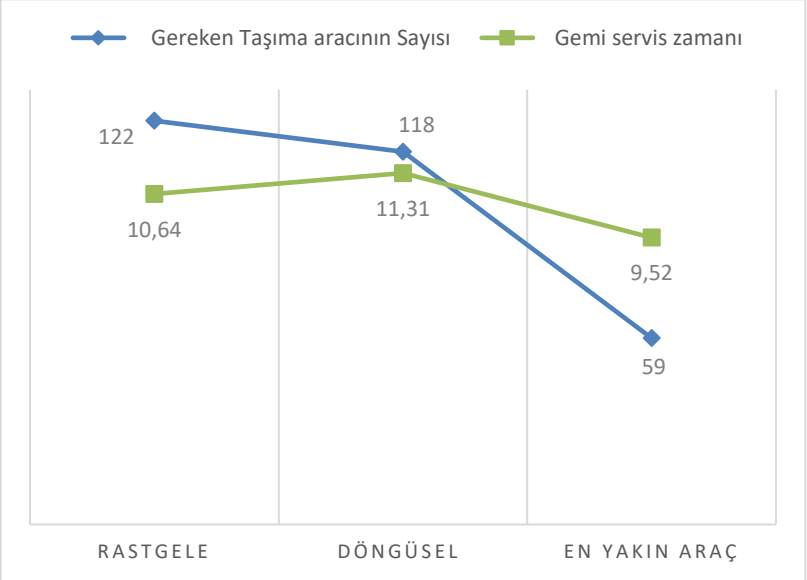
Şekil 4.5: Sistemlerin sonuçlarının karşılaştırılması.

4.4. DUYARLILIK ANALİZİ

Belirli bir sistem türü seçimi konusunda daha genel bir tavsiye sağlamak için, bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon modelleme genellikle aynı anda çeşitli karar problemlerini ele alan eksiksiz bir konteyner terminalini modellemek için kullanılmaktadır. Oluşturulan simülasyon modelleri çok dikkatli planlanmış detaylarla tüm konteyner liman operasyonlarını kapsamaktadır. Modelin genelliği, bir konteyner limanının tüm tasarım problemlerinin çözümünde kullanılmasına izin vermektedir. Bu bağlamda simülasyon modeli kullanılarak bazı liman operasyonel problemlerini çözmeye çalışılmıştır. Konteyner taşıma araçlarının atanması ve istifleme bloklarının atanması gibi operasyonel problemlerinin sistemin genel performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmalar manuel sistem üzerinde yapılmıştır.

İlk olarak ana çalışmalarda konteyner taşıma araçlarının atanmasında en yakın araç kuralı (NV) kullanılmıştır. En yakın araç kuralı (NV), herhangi bir rıhtım vinci ya da saha vinci bir taşıma aracı talep ettiğinde en yakın taşıma aracının atanması anlamına gelmektedir. Burada en yakın araç kuralı yerine rastgele atama kuralı (Random) ve döngüsel atama kuralı (Cyclical) kullanılmıştır. Döngüsel atama kuralında, tahsis edilen son taşıma aracının ardılından

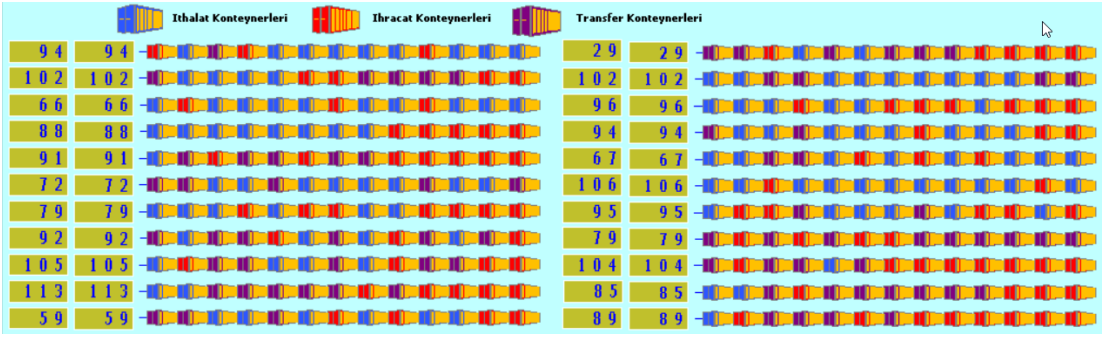
başlayarak ilk kullanılabilir taşıyıcıyı seçilmektedir (taşıyıcılar arasında döngüler). Rastgele atama kuralı kullanıldığında mevcut taşıma aracı birimlerden rastgele seçilmektedir. Şekil 4.6, konteyner taşıma aracı atama yaklaşımının terminalin genel performansı ve iş hacmine yakalamak için ihtiyaç duyulan taşıma aracı sayısı üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 4.6: Taşıma aracı atanmasının yaklaşımları değerlendirilmesi.

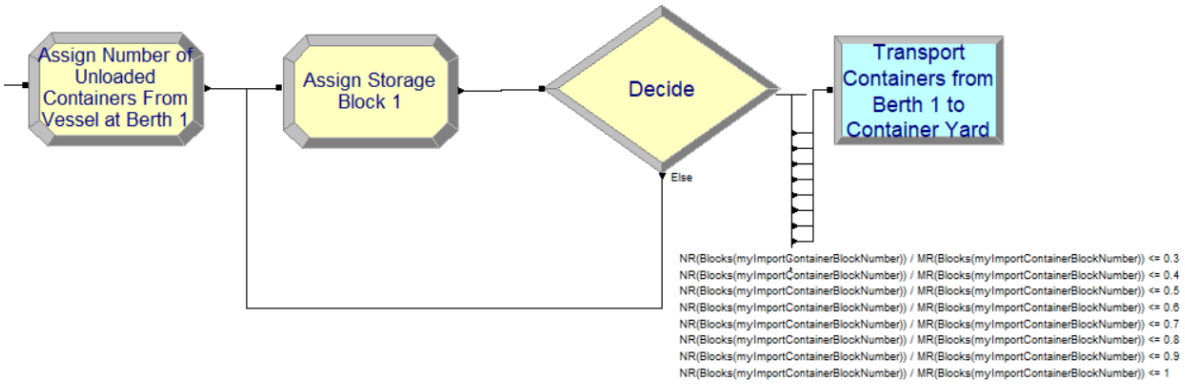
İki yaklaşımın sonuçlar üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu açıktı. Bu yaklaşımlar kullanıldığında, ana çalışmada aynı performansı elde etmek için iki kat taşıma aracına ihtiyaç duyulduğu kaydedilmiştir. İki kat sayıda taşıma aracı kullanıldığında bile limanın genel performansı, en yakın araç yaklaşımı ile onaylanan maksimum verimliliğin gerisinde kalmıştır. Rastgele veya döngüsel araç atama yaklaşımı kullanıldığında gemilerin geri dönüş süresi sırasıyla (%14 ve %22,5) artmıştır. En yakın araç atama yaklaşımının en iyi tasarım düşüncesi olduğu açıktır.

İkici olarak ana çalışmalarda konteynerler depolama bloklarına eşit olarak dağlatılmıştır (Tekdüze Dağılım kullanılmıştır). Şekil 4.7, bir iş gününden sonra her bloktaki konteyner sayısını göstermektedir. Bu rakamlar, konteynerlerin bloklara eşit olarak dağıtılmasının ve limanın başlangıç koşulunun (boş) olduğu önerildiği ilk simülasyon çalışmasından alınmıştır.



Şekil 4.7: Bir günlük çalışmadan sonra her bloktaki konteyner sayısı.

Depolama bloğu atama probleminin genel sistem performansı üzerindeki etkisini incelemek için bir daha çalışma yapılmıştır. Bu amaca yönelik depolama bloklarının doluluk oranına (kapasitesine) göre konteynerlerin dağıtılması varsayılmıştır. Bu yaklaşımda taşıma araçları, konteynerleri belirli bir yüzdeden daha az doluluk oranına sahip depolama bloğuna taşımaktadır. Manuel sistemde ebat olarak iki tip depolama bloğu bulunmaktadır. Manuel sistemde depolama blokları (7x20x6 TEU) ve (7x6x27 TEU) ebatlarında bulunmaktadır. Depolama bloklarının ilk bölümünün kapasitesi 840 TEU, ikinci bölümünün kapasitesi 1.134 TEU'dur. Bu çalışmada depolama bloğunun doluluk oranı değerlendirilmiş ve ona göre taşıma araçları yönlendirilmiştir. Başlangıçta konteyner taşıma araçları %30'un altında doluluk oranına sahip depolama bloklarına dağıtılmıştır. Birinci aşama bittiğinde ve blok kapasitesinin %30'u konteynerlerle dolu olduğunda ikinci aşama başlatılmıştır ve depolama bloklarının doluluk oranı %40 ulaşana kadar konteynerler yeniden dağıtılmıştır. İşlem, doluluk oranının kademeli olarak %10 artarak %90 ulaşana kadar tekrar edilmiştir. Şekil 4.8, simülasyon modelinde kullanılan depolama bloğu atama lojiğini göstermektedir.



Şekil 4.8: Doluluk oranına dayalı depolama bloğu atama lojiği.

Simülasyon modelinden elde edilen sonuçlar, ana çalışmadaki ile tamamen aynıdır (tablo 4.1). Bu, depolama bloğu atama yaklaşımının, incelenen liman yerleşiminin genel performansı üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı anlamına gelmektedir. Sonuçların benzerliği, bloklar arasındaki mesafelerin çok kısa olması ve ihmal edilebilmesi nedeniyle açıklanabilmektedir. Yani bir depolama bloğu belirtilen doluluk oranına ulaştığında, bir sonraki blok, taşıma aracının mevcut konumu ile hedefi arasındaki mesafe her durumda aynı olabileceği kadar yakındır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Mevcut konteyner limanlarının otomatik liman yapısına dönüştürülme karar yaklaşımları, o limanın uzun yıllar elleçleme istatistiğine, liman içerisindeki araçların sayısına ve kapasitesine, depolama alanlarının yeterliliğine, geçiş süresindeki kar kayıplarına ve en önemlisi yatırım maliyetlerinin geri dönüş sürelerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle bu süreç uzun dönemli bir yatırım olarak düşünülmeli ve her yönüyle ele alınmalıdır. Özellikle konteyner limanlarında kullanılan elleçleme araçları ve diğer sistemler yüksek maliyetli yatırımlar olduğundan yatırımın geri dönüş zamanı ve başabaş noktasının çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Otomatik liman yapısına geçiş hem gemi tarafını hem de liman tarafını memnun edecek bir değişiklik olduğundan tercih edilen bir durumdur.

Konteyner gemilerinin limanlarda kalış sürelerini azaltmak için liman operasyonları faaliyetlerinin verimliliğini artırmak önemlidir. Terminal yönetiminin en problemlerinden biri, gemilerine hızlı servis talep eden gemi sahipleri ve tahsis edilen kaynakların ekonomik kullanımını arasındaki dengeyi optimize etmektir. Hem konteyner gemileri hem de konteyner liman tesisleri yatırım maliyetleri yüksek olduğundan, bunların olabildiğince yoğun bir şekilde kullanılması beklenmektedir. Bu çalışmada otomatik terminal sistemlerinin (AGV-ACT ve SC-ACT) konteyner elleçleme operasyonları üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve konteyner limanlarında otomatik sistem uygulama olasılığı incelenmiştir.

Bir konteyner limanında elleçleme sistemi seçerken, manuel veya otomatik ekipman lehine karar verilmelidir. Otomatik elleçleme ekipmanları yüksek yatırım maliyeti gerektirmesine rağmen, daha düşük işçilik ve zaman maliyeti oluşturmaktadır. Manuel ekipmanlar kullanılırken işçilik maliyetleri, toplam maliyetlerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Genel olarak liman yatırımlarında bir elleçleme sistemini seçmek için iyi bir fizibilite çalışması ve ekonomik analiz yapılmalıdır.

Konteyner limanları gibi karmaşık sistemler simülasyon modelleri ile daha kolay analiz edilebilir. Konteyner terminalleri simülasyon modelleri, kapasite problemleri, ekipmanların senkronizasyonu, yükleme/boşaltma teknikleri, araç ve gemilerin planlaması (kalkış ve varış oranları) ve operasyonel verimliliği (depolama sahası, kapı ve rıhtım) analiz etmek için kullanılmaktadır. İyi bir liman simülasyon modelini oluşturmak için konteyner terminalinin

römorkör, rıhtım, rıhtım vinçleri, istifleme blokları, istifleme vinçleri, yatay taşıma araçları, karayolu kamyonları ve terminalin yerleşimi bir bütün olarak simüle edilmiştir.

Daha önceden yapılmış birçok çalışmada, otomasyonun limanların performansını iyileştirebileceği kanıtlanmıştır. Otomasyon uygulamaları, gemilerin geri dönüş süresinin azaltılmasına ve limanların daha az zaman aralığında daha çok gemiye hizmet vermesini sağlamaktadır. Bu, limanın müşteriler tarafından daha talep edilmesine ve pazarda rekabetçi kalmasına yardımcı olmaktadır. Otomatik sistemin simülasyon modelinin (AGV_ACT) sonuçları, gemi dönüş süresinin yaklaşık %18 düştüğünü göstermiştir. Gemi dönüş süresindeki bu düşüş, rıhtım operasyonunun kara tarafı operasyonlarına göre öncelik tanımlanması ve rıhtım vinçleri için konteyner taşıma araçlarının bekleme sürelerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Otomatik sistemlerin faydalarından birisi de konteyner limanlarının en önemli problemlerinden olan depolama kapasitesini artırmasıdır. Yeni önerilen tasarımda depolama kapasitesinde %27,27 artış görülmüştür. Bu, depolama blokları arasındaki yolların ortadan kaldırılmasından kaynaklanmaktadır.

Bununla birlikte, otomasyonun önündeki engel genellikle algılanan büyük risk ve yatırımdır. Bu durumda kar marjları ve yatırım geri dönüşü, terminal operatörlerinin karar alma süreçlerinin çoğunu yönlendirmektedir. Bir konteyner limanın otomasyona geçebilmesi için limanın iyi bir hinterland ve foreland pazarına sahip olması önemlidir. Gerçek bir maliyet-fayda analizi yapabilmek için incelenen terminalde hizmet tarifeleri, sabit ve değişken maliyetlerin bilinmesi gerekmektedir.

Son yıllarda yapılan çok sayıda benzer çalışma, otomasyonun yılda 1 milyon TEU'dan az elleçlenen limanlar için de uygun bir alternatif olduğunu tespit edilmiştir (PEMA_ Port Equipment Manufacturers Association). Buna göre, incelenen liman yıllık 1 milyon TEU'nun üzerindeki kapasitesi ve kritik konumu ile otomasyona geçmek için gerekli özelliklere sahiptir.

Türkiye'de otomatik sistemlerin uygulanması birkaç nedenden dolayı yavaş ilerlemektedir. Yeni müşteriler ve büyüyen iş hacmi, Türk limanlarında otomasyonun arkasındaki en büyük itici güç olarak görülmektedir. Mevcut terminallerin otomasyon uygulamalarına geçmesi, önümüzdeki birkaç yıl içinde rekabetçi küresel konteyner taşıma endüstrisinde önde olmak isteyen operatörler için oldukça önemli olacaktır. Otomasyonu rakiplerinden daha erken uygulayan terminaller için rekabet avantajı mevcuttur. Tersine, otomasyon sistemi olmayan

terminaller, kaçınılmaz olarak aynı bölgedeki otomatik terminallere karşı rekabette geride kalmaktadır. Sonuç olarak, artan talebi karşılamak için ileri teknolojilerin kullanılması kaçınılmazdır ve bu tür teknolojilerin aşamalı olarak uygulanması zaman gerektirmektedir.

İleride yapılacak çalışmalarda talebi, konteyner gemisi trafiğini, otomatik terminal piyasasını, işgücü piyasasını, terminal yerleşimini ve operasyonel özellikleri dikkate alan bir maliyet modeli geliştirmek önem arz etmektedir. Bu yönüyle bu çalışma, otomatik limana dönüşmek isteyen limanların gerçekleştirecekleri projenin alt yapısına destek olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Alho, T., Hickson, M., Kokko, T. and Pettersson T., 2016, *Conversion to Automated Straddle Carrier Terminal: Converting a Manual Straddle Carrier Terminal to Automation*, Kalmar White Paper, Finland.

Alho, T., Pettersson, T. and Haapa-Aho, M., 2018, *The Path to Automation in an RTG terminal: Converting to AutoRTG – The Next Step Towards Improving Performance*, Kalmar White Paper, Finland.

Altiok, T. and Melamed, B., 2007, *Simulation Modeling and Analysis With Arena*, Elsevier Inc., USA, ISBN 10: 0-12-370523-1.

Angeloudis, P. and Bell, G.H.M., 2011, A Review of Container Terminal Simulation Models, *MARIT. POL. MGMT*., 38 (5), 523-540 .

Annala, I. and Pettersson, T., 2018, *Sustainable Terminal Automation: Successful Automation Conversion is About Culture Change as Well as Technology*, Kalmar White Paper, Finland.

Ballis, A., Golias, J. and Abakoumkin, C., 1997, A Comparison Between Conventional and Advanced Handling Systems for Low Volume Container Maritime Terminals, *MARIT. POL. MGMT*., 24 (1), 73-92.

Böse, W.J., 2011, *Handbook of Terminal Planning*. Springer Science and Business Media, LLC New York, ISBN: 978-1-4419-8407-4.

Carlo, J.H., Vis, F.A.I. and Roodbergen, K., 2014, Storage yard Operations in Container Terminals: Literature Overview, Trends, and Research Directions, *European Journal of Operational Research*, 235 (2014), 412-430.

Carlo, J.H., Vis, F.A.I. and Roodbergen, K., 2014, Transport Operations in Container Terminals: Literature Overview, Trends, Research Directions and Classification Scheme, *European Journal of Operational Research*, 236 (2014), 1-13.

Chu, F., Gailus, S., Liu, L. and Ni, L., 2018, *The Future of Automated Ports*, McKinsey & Company.

Cortes, P., Munuzuri, J., Ibanez, N.J. and Guadix, J., 2007, Simulation of Freight Traffic in The Seville Inland Port, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15 (2007), 256-271.

D. Rossetti M., 2016, *Simulation Modeling and Arena, 2nd ed*., John Wiley and Sons Inc., Publication, New Jersey and Canada, ISBN 13: 978-0-12-370523-5.

Demirci, E., 2003, Simulation Modelling and Analysis of a Port Investment, *The Society for Modeling and Simulation International*, 79 (2), 94-105.

Deniz Ticaret Odası, 2015, Ticari Limanlarımız, *İMEAK* Deniz Ticaret Odası'nın resmi yayınıdır.

Deniz Ticaret Odası, 2019, Denizcilik Sektör Raporu, *İMEAK* Deniz Ticaret Odası'nın resmi yayınıdır.

Derse, O. and Göçmen, E., 2018, A Simulation Modeling Approach for Analysing The Transportation of Containers in a Container Terminal System, *ISVOS Journal*, 2(1), 19-28

Duinkerken, B.M., Dekker, R., Kurstjens, T.G.L.S., Ottjes, A. and Dellaert, P.N., 2008, Comparing Transportation Systems for Inter-Terminal Transport at The Maasvlakte Container Terminals, *OR Spectrum*, 28(2006), 469–493.

Duinkerken, M.B. and Ottjes, J.A., 2000, *A Simulation Model for Automated Container Terminals, The Business and Industry Simulation Symposium*, April 2000. Washington D.C. ISBN 1-56555-199-0.

Esmer, S., 2016, *Konteyner Terminallerinde Lojistik Süreçlerin Optimizasyonu ve Bir Simülasyon Modeli*, D.E.Ü. Matbaası, Türkiye, ISBN: 978-975-441-272-7.

Grunow, M., Günther, H. and Lehmann, M., 2004, Dispatching Multi-Load AGVs in Highly Automated Seaport Container Terminals, *OR Spectrum*, 26(2004), 211–235.

Guenther, H., Grunow, M., Lehmann, M., Neuhaus, U. and Yilmaz, I.O., 2006, Simulation of Transportation Activities in Automated Seaport Container Terminals, *The Second International Intelligent Logistics Systems Conference*, 2006 Port of Brisbane, Australia.

Günay, G., 2012, *Kapı Otomasyon Sistemlerinin Konteyner Terminallerinde Kapı Operasyonlarının Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Günther, H. and Kim, K.H., 2007, *Container Terminals and Automated Transport Systems*, Springer-Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-540-49549-9.

Günther, H.O. and Kim, K.H., 2006, Container Terminals and Terminal Operations, *OR Spectrum*, 28(4), 437–445.

İcontainers., 2018, *The Future of Automation at Terminals and Ports*, https://www.icontainers.com/us/2018/10/09/the-future-of-automation-at-terminals-and-ports/, [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2020].

Ioannou, P., 2008, *Intelligent Freight Transportation*, CRC Press: Taylor & Francis Group LLC, USA, ISBN: 13: 978-0-8493-0770-6.

J. Johnson, D. and Kats, J., 2013, Comparison of Approaches to Automated Terminals: USA vs. Europe, Ports 2013, *ASCE*, 361-370.

Johansen, R. and Olsen, D., 2010, A Better Move- Automated Container Terminals in North America. Ports 2010: Building on The Past, Respecting The Future, 2010, *ASCE*, 1243-1253.

Jole, J.A.V., 2014, *Control of Automated Container Terminals: A Literature Review on Automated Container Handling Equipment*, Thesis (Master), Delft University of Technology.

Kelton, D., Sadowski, R. and Swets, N., 2010, *Simulation With Arena, 5th ed*., McGraw-Hill Publications, Singapore, ISBN: 978-007-126771-7.

Kemme, N., 2012, Effects of Storage Block Layout and Automated Yard Crane Systems on The Performance of Seaport Container Terminals, *OR Spectrum*, 34, 563-591.

Kemme, N., 2013, *Design and Operation of Automated Container Storage Systems*, Springer-Verlag, Berlin, ISBN 978-3-7908-2884-9.

Khoshnevis, B. and Asef-Vaziri, A., 2000, 3D Virtual and Physical Simulation of Automated Container Terminal and Analysis of Impact on Inland Transportation, *METRANS Transportation Center*.

Kim, K.H., Thi Phan, M. and Woo, Y.J., 2012, New Conceptual Handling Systems in Container Terminals, *Industrial Engineering & Management Systems*, 11 (4), 299-309.

Kotachia, M., Rabadib, G. and Obeid, M., 2013, Simulation Modeling and Analysis of Complex Port Operations With Multimodal Transportation, *Procedia Computer Science*, 20 (2013), 229-234.

Kulak, O., Polat, O., Gujjula, R. and Günther, H., 2013, Strategies for Improving a Long-Established Terminal's Performance: A Simulation Study of a Turkish Container Terminal, *Flex Serv Manuf*, 25, 503-527.

Lau, Y.K.H. and Zhao, Y., 2008, Integrated Scheduling of Handling Equipment at Automated Container Terminals, *Int. J. Production Economics*, 112 (2008), 665–682.

Le-Anh, T. and De Koster, M.B.M., 2006, A Review of Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems, *European Journal of Operational Research*, 171 (2006), 1-23.

Leskinen, J. and Häggblom, H., 2018, *Energy Management and Battery Powered Horizontal Transportation at Container Terminals*, Kalmar White Paper, Finland.

Li, W., Wu, Y. and Goh, M., 2015, *Planning and Scheduling for Maritime Container Yards: Supporting and Facilitating the Global Supply Network*, Springer International Publishing, Switzerland, ISBN: 978-3-319-17024-4.

Lin, J., Gao, B. and Zhang, C., 2014, Simulation-based Investment Planning for Humen Port, *Elsevier Simulation Modelling Practice and Theory*, 40, 161-175.

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

Lu, B. and Wang, S., 2017, *Critical Factors for Berth Productivity in Container Terminal*, Science Press and Springer Science, Singapore, ISBN: 978-981-10-2430-6.

Luo, J. and Wu, Y., 2015, Modelling of Dual-Cycle Strategy for Container Storage and Vehicle Scheduling Problems at Automated Container Terminals, *Transportation Research Part E*, 79 (2015), 49–64.

Luo, J., Wu, Y. and Mendes, A.B., 2016, Modelling of Integrated Vehicle Scheduling and Container Storage Problems in Unloading Process at an Automated Container Terminal, *Computers & Industrial Engineering*, 94 (2016), 32–44.

Martín-Soberón, A.M., Monfort, A., Sapiña, R., Monterde, N. and Calduch, D., 2014, Automation in Port Container Terminals, *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 160 (2014), 195-204.

Meersmans, P.J.M. and Dekker, R., 2001, *Operations Research Supports Container Handling*, Working Paper EI 2001–22, Econmetric Institute, Erasmus University Rotterdam.

Meisel, F., 2009, *Seaside Operations Planning in Container Terminals*, Physica-Verlag, London and New York, ISBN: 978-3-7908-2190-1.

Moghadam, K.M., 2006, *The Impact of Automation on The Efficiency and Cost Effectiveness of The Quayside and Container Yard Cranes and The Selection Decision for The Yard Operating Systems*, Thesis (PhD), School of Engineering, Liverpool John Moores University.

Mohseni, N.S., 2011, *Developing a Tool for Designing a Container Terminal Yard*, Thesis (Master), Delft University of Technology.

Murray, R., Kavakeb, S., Nguyen, T.T., McGinley, K., Yang, Z. and Jenkinson, I., 2015, Green Vehicle Technology to Enhance The Performance of A European Port: A Simulation Model With a Cost-Benefit Approach, *Transportation Research Part C*, 60 (2015), 169-188.

Nam, K., and Ha, W., 2001, Evaluation of Handling Systems for Container Terminals, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng*, 127 (3), 171-175.

Nichol, J., *The Automation Market for North American, Container Terminals California Maritime Academy.*

Park, N. and Dragović, B., 2009, A Study of Container Terminal Planning, *FME Transactions*, 37 (2009), 203-209.

Pietrobon, N., 2014, *Simulation Analysis for Integrated Container Terminal Activities*, Thesis (Master), University of Padua.

Rademaker, W.C.A., 2007, *Container Terminal Automation Feasibility of Terminal Automation for mid-sized Terminals*, Thesis (Master), Delft University of Technology.

Ramos, L. and Shah, M., 2015, *Challenges and Lessons for Terminal Automation*, Navis LLC, USA.

Rashidi, H. and Tsang, E., 2016, *Vehicle Scheduling in Port Automation: Advanced Algorithms for Minimum Cost Flow Problems*, CRC Press: Taylor & Francis Group LLC, USA, ISBN:13: 978-1-4987-3254-3.

Rintanen, K. and Thomas, A., 2016, *Container Terminal Automation, Port Equipment Manufacturers Association*, PEMA Information Paper Series.

Rockwell Automation, 2014, *User's Guide: Getting Started With Arena*, Rockwell Automation, Inc., USA.

Rockwell Automation, 2014, *User's Guide: OptQuest for Arena*, Rockwell Automation, Inc., USA.

Rockwell Automation, 2014, *User's Guide: Variables Guide*, Rockwell Automation, Inc., USA.

Saanen, A.Y., 2004, *An Approach for Designing Robotized Marine Container Terminals*, Thesis (PhD), Delft University of Technology.

Saanen, Y., 2003, *The Design and Assessment of Next Generation Automated Container Terminals*, 15th European Simulation Symposium, 2003 CS European Council / SCS Europe, ISBN 3-936150-28-1.

Sarıoğlu, Ö., 2017, *Konteyner Terminallerinde Rıhtım Vinci Operasyonlarının Simülasyon Yaklaşımı ile İyileştirmesi*, Doktora Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adnan Menderes Üniversitesi.

Shannon, E.R., 1998, *Introduction to The Art and Science of Simulation*, The 1998 Winter Simulation Conference, 1998 Washington, DC, USA, ISBN: 0-7803-5133-9.

Solomenikovs, A., 2006, *Simulation Modeling and Research of Marine Container Terminal Logistics Chains*, Thesis (PhD), Transport and Telecommunication Institute.

UNCTAD., 2018, *Review of Maritime Transport 2018*, United Nations Publication, New York and Geneva, ISBN: 978-92-1-112928-1.

UNCTAD., 2019, *Review of Maritime Transport 2019*, United Nations Publication, New York, ISBN: 978-92-1-112958-8.

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

Vis, I.F.A., 2006, A Comparative Analysis of Storage and Retrieval Equipment at a Container Terminal, *Int. J. Production Economics*, 103 (2006), 680-693.

Wan, J., Meng, Q. and Wang, W., 2010, Optimization for Container Handling Equipments Allocation Based on Arena, *IEEE*, 1197-1197.,

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

Yanga, Y. and Shen, K., 2013, Comparison of The Operating Performance of Automated and Traditional Container Terminals, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 16 (2), 158-173.

Yanga, Y., Zhonga, M., Dessoukyb, Y. and Postolache, O., 2018, An Integrated Scheduling Method for AGV Routing in Automated Container Terminals, *Computers & Industrial Engineering*, 126 (2018), 482–493.

Zhen, L., Lee, L.H., Chew, P., Chang, D. and Xu Z., 2011, A Comparative Study on Two Types of Automated Container Terminal Systems, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineerıng*, 9 (1), 56-69.

Zrnić, N., Petković, Z. and Bošnjak, S., 2005, Automation of Ship-To-Shore Container Cranes: A Review of State-of-the-Art, *FME Transactions*, 33 (2005), 111-121.