

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA BİLİM DALI**

**İÇ BÖLGE AKTARMA İSTASYONU BAĞLANTILI ŞEHİR
LİMANLARININ OPTİMUM BOYUTLARININ SAPTANMASINA
İLİŞKİN INTERMODAL KARGO TAŞIMACILIĞI MODELİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Mehmet Sinan YILDIRIM

**Danışman
Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ**



MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Mehmet Sinan Yıldırım tarafından hazırlanan "**İÇBÖLGE AKTARMA İSTASYONU BAĞLANTILI ŞEHİR LİMANLARININ OPTİMUM BOYUTLARININ SAPTANMASINA İLİŞKİN INTERMODAL KARGO TAŞIMACILIĞI MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ**" adlı tez çalışması 22/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman	Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN İstanbul Gelişim Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof.Dr. Turgut ÖZDEMİR Balıkesir Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç.Dr.Çiğdem SOFYALIOĞLU Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr.Öğr.Üyesi Tülin ÇETİN Manisa Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Mehmet Sinan Yıldırım



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
TABLO DİZİNİ	VIII
TEŞEKKÜR.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	14
2.1. Tezin Amacı.....	14
2.2. Tez Çalışması Planı	17
2.3. Tezin Yaygın Etkisi	19
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	20
4. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	23
4.1. Olasılık Dağılımları	23
4.2. DES Yöntemi.....	24
4.2.1. Monte Carlo Simülasyonu	24
4.2.2. Arena Simülasyon Yazılımı	25
4.3. DES MODELİNİN HAZIRLANMASI.....	26
4.3.1. DES Modelinin Doğrulanması.....	26
4.3.2. DES Alt Modelleri	27
4.3.2.1 Rıhtım Alt Modeli	27
4.3.2.2 Konteyner Elleçleme Alt Modeli	30
4.3.2.3 Stok Saha Alt Modeli	31
4.3.3. DES Model Türleri:	33
4.3.4. DES Modelinin Dayandığı Operasyon ve Maliyet Analiz Prensipleri	34
4.3.4.1 Stok Sahasının Kapasitesinin Aşıldığı Durumlar.....	35
4.3.4.2 Stok Sahasında Ekipman Verimliliklerinin Azaldığı Durumlar	35
4.3.4.3 Rıhtım-Stok Sahası Taşımacılık Prensipleri	37
4.3.4.4 Saha Vinçleri İçin Operasyon Kabulleri	38
4.3.5. Demiryolu Taşımacılığı Alt Modeli.....	39
4.4. Demiryolu Taşımacılığı Esasları	40
4.4.1. Demiryolu Kapasite Analizi	41
4.4.2. Tren İşletme Çalışmasının Kabulleri	42
4.4.3. Tren Hareket ve Direnç Formülleri.....	43
4.4.4. Demiryolu Güzergah Araştırması	45
4.4.5. Lokomotif Çeker Hesapları.....	48
4.4.6. Tren Sefer Simülasyonu.....	51
4.5. Maliyet Modeli	54
4.5.1. Rıhtım Maliyet Modeli	54
4.5.2. Liman Stok Sahası Maliyet Modeli	55
4.5.3. Kuru Liman Stok Sahası Maliyet Modeli	55
4.5.4. Demiryolu Taşımacılığı Maliyet Modeli	56
4.5.5. Yıllık Toplam Maliyet Modeli.....	56
4.6. DES Modelinin Alsancak Limanı Uygulaması	57
4.6.1. İzmir Alsancak Limanının Durumu ve Konteyner Taşımacılığı	58
4.6.2. İzmir Alsancak Limanına İlişkin İstatistikler	61
4.6.2.1 Kent içi Ulaşım İstatistikleri	63

4.6.2.2 İzmir Kent Limanını Kullanan Gemi İstatistikleri	66
4.6.3. Simülasyon Öncesi Verilerin Değerlendirilmesi	67
4.6.3.1 Gemi Geliş Frekansları.....	67
4.6.3.2 Gemi Hizmet Bekleme Süresi Frekansı	68
4.6.3.3 Denizyolu Kökenli Konteyner İstatistikleri	69
4.6.3.4 Karayolu ve Denizyolu Kökenli Konteyner İstatistikleri.....	70
4.6.3.5 Gemi Boylarının Olasılık Dağılımı	72
4.6.4. DES Modellerinin Doğrulanması	74
4.7. Liman Konteyner Trafik Projeksiyonu	78
4.7.1. Model Parametreleri.....	79
4.8. DES1 Modeline İlişkin Bulgular	81
4.8.1. Liman Stok Sahasına İlişkin Bulgular	81
4.8.2. Rıhtım Boyuna İlişkin Bulgular	84
4.9. DES2 Modeline İlişkin Bulgular	87
4.9.1. Liman Stok Sahasına İlişkin Bulgular	87
4.9.2. Kuru Liman Stok Sahasına İlişkin Bulgular	87
4.9.3. Demiryolu Taşımacılığına İlişkin Bulgular	88
4.9.4. Rıhtım Boyuna İlişkin Bulgular	89
4.10. Kenti İçi Trafik Simülasyon Bulguları	89
4.11. Simülasyon Bulgularına Göre Maliyet Analizi.....	91
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	95
5.1. Analizi Sonuçları	95
5.2. Demiryolu Kapasite Analizi Sonuçları	95
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_R^T	Toplam yıllık rıhtım maliyeti
C_R^T	Toplam yıllık rıhtım maliyeti,
C_{SD}^T	Kuru liman stok sahası yıllık maliyeti,
C_S^T	Stok sahası yıllık maliyeti
D_i^w	Gemilerin günlük toplam bekleme süresi
G_L	Lokomotif ağırlığı
G_V	Vagonlarının toplam ağırlığı
G_i	Stok sahasında bulunan konteyner sayısı,
G_i^e	İhraç konteyner ağırlığı
G_i^m	İthal konteyner ağırlığı
G_s	Stok saha slot kapasitesi
L_B	Rıhtım tasarım uzunluğu
L_B^i	Günlük ortalama rıhtım işgal uzunluğu,
L_Q	Toplam mevcut rıhtım uzunluğu
L_{12}	Trenin V_1 ve V_2 hız değişimi süresince kat ettiği yol
N_R	Model replikasyon sayısı
N_V	Vagon sayısı
P_L	Lokomotif gücü
Q_t	Toplam rıhtım kullanım süresi
S_b	Sahanın boş olduğu gün sayısı
T_{SV}^a	Konteynerin istiften alınıp araca yüklenme süresi
T_{SV}^s	Tekrar istifleme süresi
T_{SV}^y	Konteynerin istife yerleştirme süresi
V_1	Lokomotif ilk hızı
V_2	Lokomotif son hızı
a_f	Tren ortalama ivmesi
c_b^d	Kuru liman tampon stok sahası maliyeti
c_b^p	Liman tampon stok sahası maliyeti
c_s^d	Kuru liman konteyner slot atıl kalma maliyet

c_s^p	Liman konteyner slot atıl kalma maliyeti
c_{t1}	Ton başına ihraç konteyner yük taşıma maliyeti
c_{t1}	Ton başına ithal konteyner yük taşıma maliyeti
g_v	Tek bir vagonun ağırlığı
n_L	Lokomotif dingil sayısı
n_V	Vagon dingil sayısı
r_l	Lokomotif birim direnci
r_{ort}	Lokomotif ve vagonlar için ortalama direnç
r_v	Vagonların birim direnci
t_m	Demiryolu kesimleri minimum sefer süresi
3B	3 Boyutlu
AGV	Automated Guided Vehicle (Otomatik Kılavuzlu Araç)
DES	Discrete Event Simulation (Kesikli olay simülasyonu)
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
FCFS	İlk gelen ilk hizmet alır kuyruk yönetimi
FEU	Fourty-foot Equivalent Unit (40 feet eşdeğer birimi)
GK	Gantry Kreyn
h	Rampa değeri
L_i	Gemi boyu
M	Rıhtım uzunluğunun yetersiz olduğu gün sayısı
MHC	Mobil Rıhtım Vinci (Mobile Harbor Crane)
RMG	Rail Mounted Gantry (Raya Monte Saha Vinci)
RNG	Random Number Generator (Rassal Sayı Üretici)
RS	Reach Stacker (konteyner forklift)
RTG	Rubber Tyred Gantry (Lastik tekerlekli saha vinci)
S	Tren fren duruş uzunluğu
SC	Straddle Carrier
SSG	Ship to Shore Gantry (Rıhtım vinci)
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit (20 feet eşdeğer birimi)
T_i	Gemi Servis Süresi
TOH	TEU başına konteyner istifleme için ortalama hareket
TT	Terminal traktörü
UNCTAD	Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı

V	Tren hızı
V*	Aday tren hızı
V_{max}	Demiryolu kesimindeki maksimum hız
W	İstif bloğundaki sıra sayısı
ZTS	Zaman tablosu sıkıştırma metodu
μ	Tekerlek ile sabo arasındaki sürtünme direnci
Φ	Fren yüzdesi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 20 ve 40 feet'lik liman konteynerlerinin görünüşleri [6].....	3
Şekil 1.2. Konteyner gemilerine hizmet veren (a) rıhtım vinci ve (b) mobil vinç.....	4
Şekil 1.3. Terminal elleçleme ekipmanları: (a) TT, (b) RS, (c) AGV, (d) SC [8].....	4
Şekil 1.4. Kent ve liman arasındaki gelişim fazları [12].....	5
Şekil 1.5. Liman gelişim safhaları ve liman ile entegrasyonu [18].....	8
Şekil 1.6. Intermodal taşımacılıkta stok sahalarının ilişkisi.....	10
Şekil 1.7. Simülasyon modellerinin sınıflandırılması [33]	12
Şekil 2.1. Tez çalışması çözüm yaklaşım diyagramı	17
Şekil 2.2. DES ve maliyet modellerinin akış şeması	18
Şekil 4.1. DES modelleri ve alt modellerinin işleyişi	27
Şekil 4.2. Liman operasyon durum ekranı programı	28
Şekil 4.3. Gemi rıhtım operasyonları akış şeması.....	29
Şekil 4.4. Gemi operasyon alt modeli akış şeması.....	30
Şekil 4.5. Konteyner istif yer seçimi alt modeli akış şeması	32
Şekil 4.6. Konteyner istif blokları için operasyon akış şeması	33
Şekil 4.7. Konteyner istifinde konteynerin istif katlarındaki farklı durumları.....	38
Şekil 4.8. İstiflere yerleştirilecek konteynerlerin durumları	39
Şekil 4.9. Tren sefer alt modeli akış şeması.....	40
Şekil 4.10. Demiryolu kapasitesi tayini yaklaşımları [53].....	42
Şekil 4.11. DE33000 ve E68000 tip lokomotifleri [56]	43
Şekil 4.12. Muradiye Ayvacık istasyonları güzergah analizi.....	46
Şekil 4.13. Alsancak Limanı ile Turan istasyonu güzergah analizi	46
Şekil 4.14. Ulukent ile Menemen istasyonları güzergah analizi	47
Şekil 4.15. Trenler için kesim hız seçim algoritması	49
Şekil 4.16. Tipik bir trenin güzergah boyunca hız değişimleri [57]	51
Şekil 4.17. Tren sefer simülasyon için hazırlanan simülasyon blokları ve tren.....	52
Şekil 4.18. Trenin yüksek ivme için hız zaman grafiği.....	52
Şekil 4.19. Trenlerin yüksek ivme için hız yol grafiği.....	53
Şekil 4.20. 0.1 m/s ² ivmesi için hız – zaman grafiği	53
Şekil 4.21. 0.1 m/s ² ivmesi için hız yol grafiği	53
Şekil 4.22. Geliştirilen modelinin maliyet ve gelir kalemleri	54
Şekil 4.23. DES modelinin çalışmada kullanımı, girdi ve çıktılar.....	58
Şekil 4.24. Alsancak Limanının hava ve uydu fotoğrafları (maps.google.com).....	59
Şekil 4.25. Alsancak Limanının 3B modeli [60].....	59
Şekil 4.26. (a) Liman çevresi konteyner sahaları (b) Liman kamyon kuyruğu.....	61
Şekil 4.27. Türkiye limanlarına karayolu bağlantılı ulaşım hatları.....	63
Şekil 4.28. 2018 yılı İzmir kentine giren ve çıkan taşıt istatistikleri [62].....	63
Şekil 4.29. Ocak – Mart dönemi kamyon trafiği.....	64
Şekil 4.30. Nisan – Haziran dönemi mevcut kamyon trafiği	65
Şekil 4.31. Temmuz – Eylül dönemi mevcut kamyon trafiği	65
Şekil 4.32. Ekim – Aralık dönemi mevcut kamyon trafiği	65
Şekil 4.33. İzmir limana gelen konteyner gemilerinin sınıfları ve yüzdeleri [61]	66
Şekil 4.34. Limana 2018 yılında gelen konteyner gemisi sayıları	66
Şekil 4.35. Rıhtımda hizmet bekleyen gemilerin bekleme süresi frekans dağılımı ...	68
Şekil 4.36. 2018 yılı için gemilerden boşaltılan günlük konteyner sayıları.....	71
Şekil 4.37. 2018 yılı için gemilere yüklenen günlük konteyner sayıları.....	71
Şekil 4.38. Alsancak limanına karayolu ile varan ihraç konteyner sayısı.....	72
Şekil 4.39. Alsancak limanından karayolu ile ayrılan ithal konteyner sayısı	72

Şekil 4.40. Gemi boyları frekans dağılımı	73
Şekil 4.41. Ortalama gemi bekleme süresinin Nr ile değişimi	75
Şekil 4.42. Alsancak limanı konteyner talebi tahmini ve gemi sayısı	78
Şekil 4.43. 10,000 slot kapasitesi için atıl slot sayısı	81
Şekil 4.44. 6,000 slot kapasitesi için atıl slot sayısı	81
Şekil 4.45. 10,000 slot kapasitesi için tampon slot sayısı	82
Şekil 4.46. 6,000 slot kapasitesi için tampon slot sayısı	82
Şekil 4.47. Toplam maliyetin saha kapasitesi ile değişimi	83
Şekil 4.48. Farklı yıllar için optimum saha slot sayıları	83
Şekil 4.49. 1080 metre rıhtım uzunluğu için gemi bekleme süreleri	84
Şekil 4.50. 1620 metre rıhtım uzunluğu için gemi bekleme süreleri	84
Şekil 4.51. 1080 metre için günlük atıl rıhtım uzunluğu.....	85
Şekil 4.52. 1620 metre için günlük atıl rıhtım uzunluğu.....	85
Şekil 4.53. Farklı rıhtım boyları için toplam maliyetin değişimi	86
Şekil 4.54. Yıllara göre optimum rıhtım uzunlukları	86
Şekil 4.55. DES2 modeli için optimum liman saha kapasitesi	87
Şekil 4.56. DES2 modeli kuru liman saha kapasitesi optimizasyonu	88
Şekil 4.57. Demiryolu liman yönüne taşınan ihraç konteyner sayısı	88
Şekil 4.58. Demiryolu ile kuru liman yönüne taşınan ithal konteyner sayısı	89
Şekil 4.59. Ocak-Mart dönemi mevcut ve azaltılmış kamyon trafikleri	90
Şekil 4.60. Nisan-Haziran dönemi mevcut ve azaltılmış kamyon trafikleri	90
Şekil 4.61. Temmuz-Eylül dönemi mevcut ve azaltılmış kamyon trafikleri	90
Şekil 4.62. Ekim-Aralık dönemi mevcut ve azaltılmış kamyon trafikleri	91
Şekil 4.63. Demiryolu taşımacılığı maliyet modeli sonuçları.....	94
Şekil 5.1. DES1 ve DES2 gelişim senaryoları elleçleme maliyetleri	96
Şekil 5.2. DES1 model projeksiyonu ile planlanan stok sahaları	98
Şekil 5.3. DES2 modeli ile küçültülen ve kente temin edilen atıl sahalar	99

TABLO DİZİNİ

Tablo 1.1. Simülasyon çalışmalarında kullanılan gemi geliş olasılık dağılımları	12
Tablo 4.1. Simülasyon çalışmalarında kullanılan olasılık dağılımları	23
Tablo 4.2. ARENA modelinde kullanılan ana yapısal bloklar	25
Tablo 4.3. Maksimum istif yüksekliğine göre saha vinci için ekstra hareket sayısı ..	37
Tablo 4.4. RTG ve SC için konteyner istif konumlarına göre elleçleme süreleri	38
Tablo 4.5. Konteyner konumlarına göre yerleştirme süreleri	39
Tablo 4.6. Güzergah üzerindeki istasyonlar ve sayding bilgileri	47
Tablo 4.7. Demiryolu kesimleri için kot, eğim ve kurp karakteristikleri	48
Tablo 4.8. DE33000 S=1000m NV=40 Gv=1420 ton (Liman Yönü)	50
Tablo 4.9. DE33000 S=1000m NV=40 Gv=1420 ton (Kuru Liman Yönü)	50
Tablo 4.10. Alsancak limanındaki rıhtımlar ve kullanım amaçları	60
Tablo 4.11. 2018 yılı liman demiryolu ile transfer edilen yük miktarı [61]	62
Tablo 4.12. 2018 yılı için İzmir kentine giren ve çıkan kamyon istatistikleri [62] ...	64
Tablo 4.13. Gemi boy sınıfları için limana 2018 yılında gelen gemiler	67
Tablo 4.14. Gemi boy sınıflarının gemi varış olasılık dağılımları	68
Tablo 4.15. Gemi boy sınıfları için ihraç konteyner yükleri	69
Tablo 4.16. Gemi boy sınıfları için ithal konteyner yükleri	69
Tablo 4.17. Mevsimler için gemi boyu özet istatistikleri	73
Tablo 4.18. Liman verileri ile DES performans ölçütlerinin karşılaştırılması	75
Tablo 4.19. Boy sınıfları için gemi sayısı ve liman verisin karşılaştırılması	76
Tablo 4.20. t-testi için bağımlı örneklem istatistikleri	76
Tablo 4.21. İşletmecilik senaryoları için kabul edilen model parametreleri	79
Tablo 4.22. İşletmecilik senaryoları için kabul edilen model parametreleri 2	79
Tablo 4.23. Maliyetlere ilişkin parametreler	80
Tablo 4.24. Konteyner terminal elleçleme ekipmanları karakteristikleri	80
Tablo 4.25. Farklı toplam rıhtım boyları için toplam maliyet hesabı	85
Tablo 4.26. Liman simülasyonu sonuçları (DES1)	92
Tablo 4.27. Liman simülasyonu sonuçları (DES2)	92
Tablo 4.28. Rıhtım maliyet modeli sonuçları	92
Tablo 4.29. Liman stok saha maliyet modeli sonuçları (RTG kullanım senaryosu) ..	93
Tablo 4.30. Liman stok saha maliyet modeli sonuçları (SC kullanım senaryosu)	93
Tablo 4.31. Kuru liman maliyet modeli sonuçları (RTG kullanım senaryosu)	93
Tablo 4.32. Kuru liman maliyet modeli sonuçları (RS kullanım senaryosu)	94
Tablo 5.1. Vagon sayısı ve lokomotif tiplerine göre sefer süreleri ve günlük yük	95
Tablo 5.2. Kapasite artışına göre ortalama günlük yük, lokomotif ve vagon sayısı ..	97
Tablo 5.3. Simülasyon çalışması analiz sonuçları	97

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ'a, bilgi ve tecrübesi ile doktora eğitim sürecimin her aşamasında değerli fikirlerini benden esirgemeyen değerli hocamız Sayın Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e, Doktora eğitimim süresince yanımda olup desteklerini sunan aileme ve mesai arkadaşlarıma ayrıca teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mehmet Sinan YILDIRIM
Manisa, 2019



ÖZET

Doktora Tezi

İÇBÖLGE AKTARMA İSTASYONU BAĞLANTILI ŞEHİR LİMANLARININ OPTİMUM BOYUTLARININ SAPTANMASINA İLİŞKİN INTERMODAL KARGO TAŞIMACILIĞI MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mehmet Sinan YILDIRIM

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof.Dr.Ümit GÖKKUŞ

Bu tez kapsamında, simülasyon ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak konteyner operasyonları için kent limanların sorunlarının çözümlenebileceği ispatlanmıştır. ARENA yazılımı tabanlı Kesikli Olay Simülasyonu (DES) ile liman operasyonları modellenmiştir. DES modeli için konvansiyonel modelleme esaslı DES1 ve liman ile demiryolu bağlantılı kuru liman entegre modelleme esaslı DES2 alt modelleri geliştirilmiştir. DES1 modelinde konvansiyonel modelleme yapılmış ve limanın mevcut konumunda gelişmesi esas alınmıştır. Konteyner, gemi ve elleçleme ekipman istatistikleri olasılık dağılımlarıyla modellenmiştir. Konteynerlerin liman ve kuru limanda stoklanması için spesifik kurallar benimsenmiştir. DES2 modeli ile rıhtım optimizasyonu, liman-kuru liman stok sahalarının optimizasyonu ve demiryolu taşıma kapasitesinin entegrasyonu yapılmıştır. Rıhtımdaki ve stok sahalarındaki elleçleme ekipmanları ve farklı tren kapasiteleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Geliştirilen modeller, bir kent limanı olan, liman operasyonları kaynaklı ağır araç trafiği ve kapasite artışı sorunları bulunan İzmir Alsancak limanına uygulanmıştır. Kuru liman olarak Manisa Organize Sanayi bölgesi seçilmiştir. Liman ile kuru liman arasında demiryolu taşımacılığı yapılmıştır. Çalışmada; elleçleme ekipmanı olarak rıhtımda Gantry Kreyn, stok sahalarında lastik tekerlekli saha vinci (RTG), konteyner forklifti ve Stradle Carrier ile dizel elektrikli ve elektrikli lokomotifler kullanılmıştır. 2018-2031 yıllarını kapsayan simülasyon çalışmaları yapılarak DES1 ve DES2 modellerinin kullanılması durumunda optimum rıhtım uzunlukları, optimum stok sahası büyüklükleri ve tren kapasiteleri yıllara göre hesaplanmıştır. Sonuçta; İzmir Alsancak limanı için DES1 ve DES2 model bulguları karşılaştırılmıştır. DES2 modeli aynı rıhtım boyuna karşılık daha küçük saha kapasitesi sunmuştur. Model ile liman genişleme sahasına gerek olmadığı, kamulaştırılması gereken alanların da yeşil liman elde edebilmek için kent içi kullanıma dönüştürülebileceği sonucu ortaya çıkmış, ayrıca liman nedeniyle ortaya çıkan ağır araç trafiğinin ve yol açtığı problemlerin azaltılması için bir çözüm önerisi ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler: İntermodal, Liman, Lojistik, Kuru Liman, Simülasyon,
2019, 121 sayfa**

ABSTRACT

PhD Thesis

DEVELOPMENT OF INTERMODAL CARGO TRANSPORT MODEL FOR DETERMINING THE OPTIMUM DIMENSIONS OF CITY PORTS WITH DRY PORT INTEGRATION

Mehmet Sinan YILDIRIM

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Civil Engineering Department**

Supervisor: Prof.Dr.Ümit GÖKKUŞ

In this thesis, it has been proved that capacity expansion problems of the city ports and port oriented truck traffic problems can be solved by using simulation and optimization methods. Port operations are modeled with ARENA based Discrete Event Simulation (DES). DES models are developed as DES1 and DES2 submodels based on conventional and dry port integrated port expansion scenario based on the railway freight transportation corridor. DES1 model is based on the conventional port and expansion scenario in its current location. Containers, ships and handling equipment statistics are modeled with probability distributions. Specific rules have been adopted for the storage of containers in port and dry port. With the DES2 model, the pier optimization, the optimization of the port-dry port stock areas and the integration of railway carrying capacity have been made. Calculations were made by taking into consideration the handling equipment and different train capacities in the port and dryport.

Developed DES models are applied to the İzmir Alsancak city port with capacity expansion and truck traffic problems . Manisa Organized Industrial Zone is chosen as the dry port area. The railway connection is considered between port and dryport. Gantry Crane, Rubber Tyred Gantry (RTG), Container Forklift, Stradle Carrier, diesel electric and electric locomotive are used as the handling and transportation equipment. For both DES1 and DES2 models, optimum berth lengths, optimum stock area sizes and train capacities have been calculated covering the years 2018 to 2031 for İzmir Alsancak port. According to the comparison of the model findings, comparing with the DES1 model, DES2 model required less storage area for the same berth length. This resulted in minimization of the port functional area. It is concluded that with the implementation of DES2 model, expropriation is avoided for the storage area expansion and the existing storage areas can be transformed into urban use in order to obtain green ports and the problems of the port oriented truck traffic is reduced.

Keywords: Intermodal, Port, Logistics, Dry Port, Simulation,

2019, 121 pages

1. GİRİŞ

Ülkelerin artan ekonomik büyümeleri ile beraber ciddi bir ticaret hacminin doğacağı tahmin edilmekle beraber, ülkelerin mevcut ulaştırma altyapısı ve kapasitesinin önümüzdeki yıllarda bu artan talebe karşı nasıl bir performans göstereceği bilinmemektedir. 2030 yılı için hazırlanan OECD raporunda, dünyadaki mevcut liman ve bağlantılı hinterlant ulaştırma altyapısının %50'den fazla bir yük trafiği artışına maruz kalacağı ve kapasitelerinin yetersiz kalacağı belirtilerek, 2030 yılı için yapılan projeksiyonlara göre dünyadaki yük trafiğinin üç katına kadar artabileceği öngörüsünde bulunulmuştur [1]. Son yıllarda, limanların bağlantılı oldukları hinterlant ulaştırma ağının karakteristikleri ve liman planlaması diğer limanlarla olan rekabet stratejilerinin şekillendirilmesinde önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Günümüzde küreselleşme etkisinde hızlı artmakta olan uluslararası ticaret hacmi ve yük trafiği özellikle ülkelerin hub limanları üzerinden gerçekleşmekte olup, yeni hinterlant dağıtım koridorlarının ortaya çıkması ile birlikte, limanlarda kapasite artırımı ihtiyacı ortaya çıkmış, liman geri sahalarının genişletilme ihtiyacı artmıştır. Liman yük operasyonlarının etkinliği üzerine yapılan çalışmalarda, ticaret hacmi ve yük trafiği artışına bağlı olarak, liman ile hinterlant arası yük taşımacılığı faaliyetlerinin optimum bir şekilde işletilemediği, özellikle yük taşımacılığı koridorlarında gecikmelerin, sıkışıklıkların ve gereksiz yük hareketliliklerinin sıklıkla yaşandığı bildirilmiştir [2].

Dünyadaki artan konteyner ticaret hacmi ile birlikte, limanların ve konteyner terminallerinin kapasitesi de ciddi bir biçimde artmış, geleneksel konteyner elleçleme ekipmanlarının yanında otomasyon ağına sahip son teknoloji ve yüksek verimli elleçleme çözümleri uygulanmaya başlanmıştır. Örnek olarak otonom terminal vinçler ve sürücüsüz araçların kullanımı (AGV) insan gücü maliyetinin yüksek olduğu ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır [3].

Deniz taşımacılığının önemli tesislerinden olan limanlar işlevsel olarak, gemilerin yüklendiği, boşaltıldığı, yüklerin demiryolu, karayolu ve deniz yolu arasında ulaştırma türü değiştirdiği bağlantı noktaları olmakla beraber yük elleçleme hizmetlerinin yanında gemilere bir çok lojistik hizmetin verildiği bölgeler olarak tanımlanır [4].

Ticari liman kavramıyla ilk akla gelen şey yük elleçleme operasyonları ve yük transferi olsa da, modern bir liman aslında transit depolama sahalarının, antrepoların, liman vinçlerinin, gemi tamir ve bakım atölyelerinin, kuru havuzların biraya geldiği ve yönetildiği karmaşık bir sistemdir. Bu sayılan liman alt sistemleri birbirlerine ve liman hinterlandına demiryolu ve karayolu ile bağlıdırlar.

Ülkemizin ticaret hacmindeki artış, özellikle deniz ticaretindeki yük trafik artışını beraberinde getirmiş, bu sebeple mevcut limanların kapasite artışlarına, limanların orta vade gelişim planlarının hazırlanmasına, limanların geri sahalarının genişletilmesine ve yeni limanların projelendirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla, liman ile hinterlant arasında gelişen yük akışı, ulaştırma ağında ciddi bir yük trafiğinin oluşmasına yol açarak ulaşım politikasında yeni gelişmelerinin doğmasını gerekli kılar. Ulaştırma alt yapısına olan talep artışı ile birlikte yük taşımacılığı kaynaklı çevresel, ekonomik ve sosyal problemler de belirgin hale gelmektedir. Örneğin karayolu taşımacılığı kaynaklı hava ve gürültü kirliliği, trafik sıkışıklığı, trafik kazaları, yol üst yapısının bozulması, otopark alanı sıkıntısı gibi problemler karayolu yük taşımacılığı ile doğrudan ilişkilidir [5].

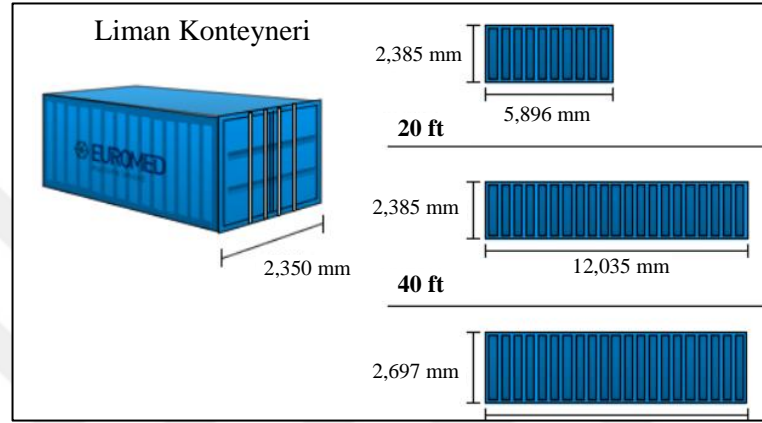
Bu problemler kent limanları açısından değerlendirildiğinde, yük artışından kaynaklanan liman geri saha gereksinimi ve kent içi ulaşım ağındaki kamyon trafiği artışı, özellikle kent limanlarında ciddi mertebelere ulaşmakta, bu nedenle kent limanlarında yük taşımacılığı operasyonları için daha ekonomik ve çevreci bir taşımacılık modelinin geliştirilmesi zorunlu hale gelmektedir.

Konteyner Terminalleri

Günümüzde modern liman tesisleri sadece gemilere hizmet verilen bölgeler olmaktan çıkarak, yüklerin hinterlandta dağıtıldığı, lojistik hizmetlerin koordinasyonunun sağlandığı lojistik merkezlere evrilmişlerdir [4]. Konteyner terminalleri konteyner elleçleme operasyonlarını yürütebilmek için gerekli ekipmanlar ile donatılmış liman içerisinde bulunan rıhtım ve özel sahaları kapsamaktadır. Konteyner terminalleri gemi-rıhtım, rıhtım-stok sahası ve stok sahası-hinterlant arasındaki konteyner akışına ve taşımacılığına imkan verecek konteyner stok

sahalarını, konteynerlerin tren ve karayolu araçlarına yüklendiği ve konteyner yükleme, boşaltma, bakım hizmetleri verilen tesisleri kapsamaktadır [6].

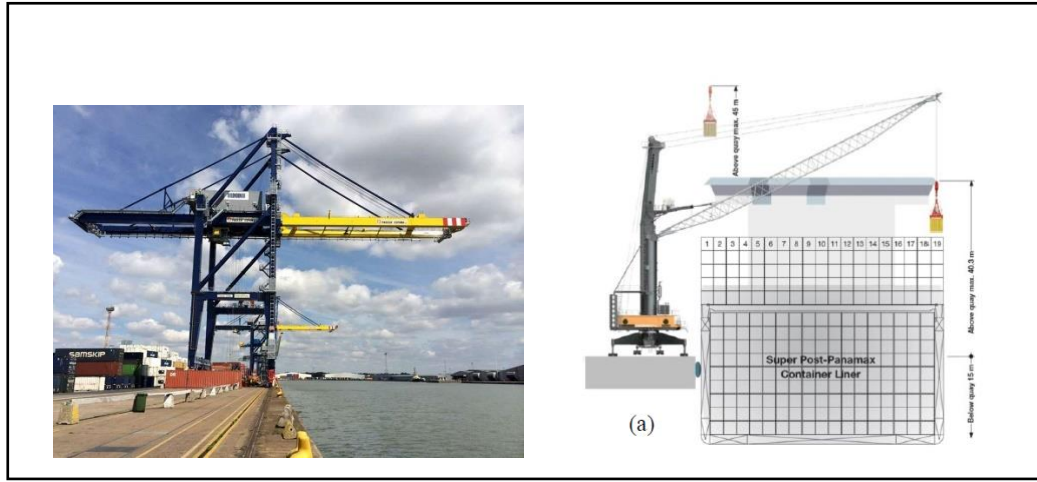
Konteyner terminallerinde yük tipine göre yoğunlukla 20 ve 40 feet'lik liman konteynerleri kullanılmaktadır. Konteyner taşımacılığı terminolojisinde 1 adet 20 feet'lik konteyner 1 TEU, ve 1 adet 40 feet'lik konteyneri ise 1 FEU olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.1).



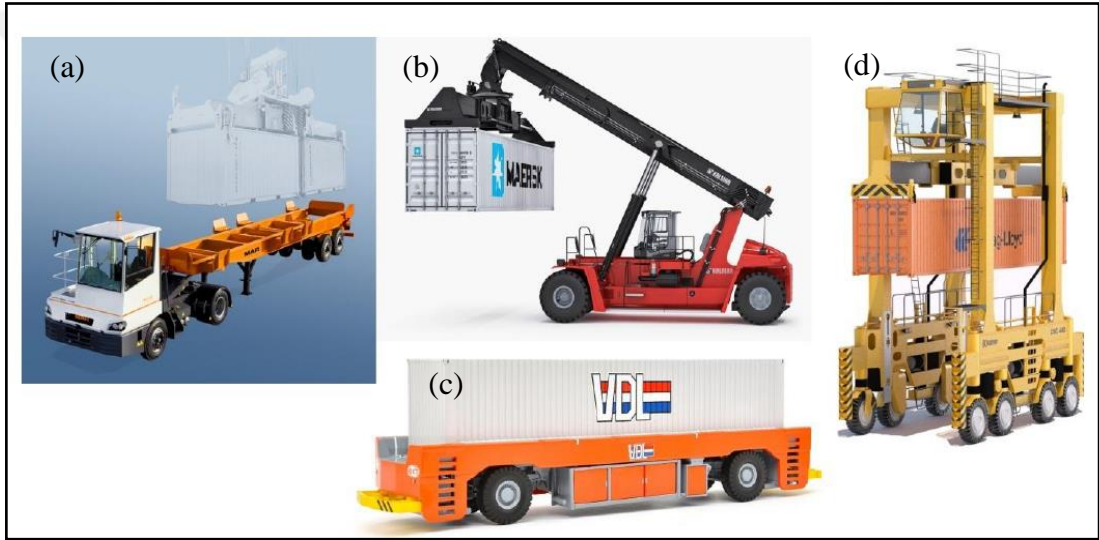
Şekil 1.1. 20 ve 40 feet'lik liman konteynerlerinin görünüşleri [6]

Konteyner terminallerinde elleçleme operasyonlarını sürdürmek için çeşitli elleçleme ekipmanlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu ekipmanlar gemi ile rıhtım arasında yük aktarımında kullanılan rıhtım vinçleri, rıhtım ile stok sahası arasında kullanılan taşımacılık ekipmanları, stok sahasında kullanılan istifleme ekipmanları, kamyon ve trenlere yükleme/boşaltma hizmeti veren ekipmanlardan oluşmaktadır [7].

Konteyner terminallerinde yoğunlukla kullanılan rıhtım vinçleri; Gantry Kreyn (GK) ve mobil rıhtım vinci (MHC) Şekil 1.2 (a) ve Şekil 1.2 (b)'de görülmektedir. İstifleme ve taşıma ekipmanları terminaldeki elleçleme stratejisine göre farklılık göstermekle birlikte genellikle lastik tekerlekli (RTG) veya raya monte saha vinci (RMG) + Terminal Traktörü (TT), RTG/RMG + AGV veya Straddle Carrier (SC)'den oluşmaktadır. Terminalin durumuna ve kargo tipine göre, farklı elleçleme operasyonları için farklı ekipman tipleri eşleştirilerek liman içi taşımacılık senaryoları üretilebilmektedir. Tipik bir konteyner terminalinde konteyner elleçlemesinde kullanılan ekipmanlar Şekil 1.3'de görülmektedir.



Şekil 1.2. Konteyner gemilerine hizmet veren (a) rıhtım vinci ve (b) mobil vinç



Şekil 1.3. Terminal elleçleme ekipmanları: (a) TT, (b) RS, (c) AGV, (d) SC [8]

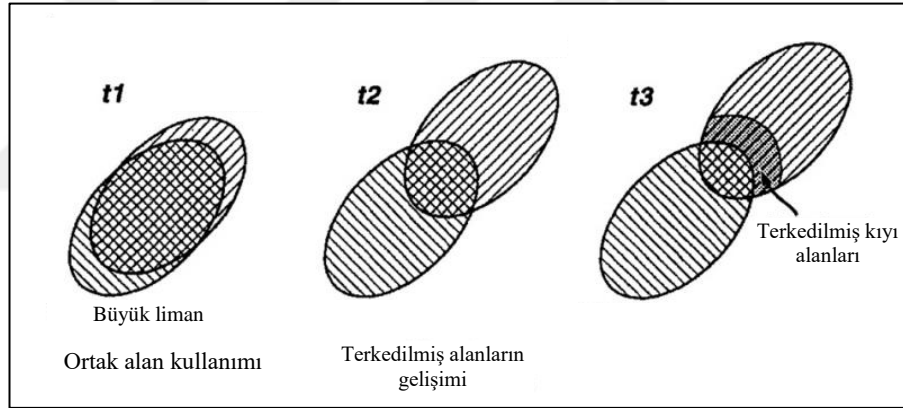
Bazı konteyner terminallerinde terminal traktörü yerine römorklu çekici veya geleneksel kamyonlar da kullanılabilir. Örnek olarak İzmir Alsancak limanında terminal traktörüne ek olarak lojistik firmaları tarafından kamyonlar da konteyner elleçleme operasyonunun hızlandırılması için işletilmektedir.

Kent Limanları

Kent ile bütünleşmiş, ortak karayolu ağını kullanan ve genelde kent ile gelişen limanlara kent limanları adı verilmektedir. Tarihsel olarak Avrupa’da limanlar kentler ile beraber çok eski tarihlerden beri mekânsal olarak ortaktır [9]. Kent limanlarının ortaya çıkışı ve gelişimi özellikle şehir planlamacılığı açısından incelendiğinde tarihsel ve mekânsal açıdan iki temel liman gelişim modelinden söz edilebilir:

(1) AnyPort liman gelişim modelinde, limanların zaman içerisindeki gelişimi birbirinden net bir şekilde ayrılmış periyotlar ile belirtilmiştir [10]. AnyPort modeli ticaret talebinin zamanla artışı ve lojistik sektöründeki teknolojik gelişmeler ile liman geri sahalarının kentin dışına doğru genişleyeceği ve bu nedenle kent ve limanın zamanla mekânsal olarak birbirlerinden uzaklaşacağını öne sürmektedir. AnyPort model yaklaşımı incelendiğinde, bu modelin kent limanlarında geçerli olmadığı görülmektedir.

(2) Charlier liman gelişim modelinde, liman tesisleri ayrı ayrı incelenmiş olup, ticari ömrünü dolduran tesislerin kentsel kullanım için yeniden değerlendirmeye alındığı belirtilmiştir. Charlier modelinde limanın kapasite artışına cevap vermesi için yeni tesislerin geliştirilmesi konusundaki mekânsal kısıtlamalar hakkında bilgi verilmemiştir [11]. Charlier modeli açısından liman mekânsal gelişim fazları Şekil 1.4’de gösterilmiştir [12].



Şekil 1.4. Kent ve liman arasındaki gelişim fazları [12].

Charlier modelinde öncelikle “t1” fazında büyük ölçüde ortak bir alan paylaşan kent ve liman ara yüzü, artan ve özelleşen lojistik operasyonlar ve lojistik sektöründeki teknolojik gelişmeler ile artan ticaret talebi sebebiyle yeni liman geri sahalarının inşaatı ile birbirlerinden ayrılmaktadır. Modeldeki “t3” fazında ise liman sahasındaki kullanılmayan bölgelerin kentsel kullanım için değerlendirilmesi söz konusudur. Özellikle kent limanlarının gelişimlerinin incelenmesi için önerilen Charlier modelinde, liman ve kentin zaman içinde mekânsal olarak birbirinden ayrıldıkları öngörülmekle beraber bu ayrışma ve gelişim özellikle sınırlı yer sorunu çekmekte olan kentler için ciddi bir sorun olduğu vurgulanmakta ve özel olarak kent limanlarında,

stok sahalarının konumlandırılması ve yeni stok sahalarının kamulaştırılması ciddi bir problem olarak ortaya konmaktadır.

Her ne kadar Charlier modeli kent limanlarının gelişimi için daha uygun bir model ortaya koysa da, her iki liman gelişim modeli birlikte incelendiğinde, limandaki sürdürülebilirlik olgusu ve kent ile liman ayrışmasının getirdiği çevresel etkilerin neden olacağı sınırlamalar her iki modelde de dikkate alınmamıştır [13].

Çevresel etkileri ve sosyal faydaları göz önüne alan bir bakış açısı ile kent limanları incelendiğinde, limanlar ile kent arasında ciddi bir mekânsal rekabet olduğu görülmektedir. Günümüz şehir planlamacılığında kent mimarisin ve peyzajının insan etkisi göz önüne alınarak uygulanması ile birlikte özellikle şehirlerdeki rekreasyon alanlarının yeniden planlanma ihtiyacı beraberinde şehir merkezinde ulaşımı kolay ve merkezi olarak konumlandırılan bölgelerin kentsel planlama için değerlendirilme olgusunu ortaya çıkarmıştır [14]. Özellikle İzmir Alsancak limanı gibi şehrin cazibe merkezinde bulunan kent limanlarının işgal ettiği alanlar ile şehrin yeşil alan ihtiyacı, sosyal ve kültürel etkinliklerin gerçekleştirileceği ve dolayısıyla insanların yaşam kalitesinin arttırılacağı tesislerin gelişimi için gerekli olan alanlar önemli ölçüde çakışmakta ve gelişim açısından birbirlerine ket vurmaktadır.

Kent limanlarının yol açtığı mekânsal çatışmanın yanı sıra bir diğer problem ise kent ulaştırma altyapısında meydana gelen yoğun baskıdır. Yoğun lojistik faaliyetlerin gerçekleştiği kent limanları, kentin ulaştırma alt yapısı için ciddi bir ağır araç trafiğine yol açmaktadır. Ortaya çıkan bu ağır araç trafiği ise kent içerisinde hava ve gürültü kirliliğine, trafik sıkışıklığına, trafik kazalarına ve yol üst yapısının bozulmasına neden olmaktadır.

Kent limanlarının yol açtığı problemlerin çözümünde, kuru liman yaklaşımının ve dolayısıyla intermodal yük taşımacılığının önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir [9]. Özellikle konteyner terminallerinde büyük bir yer işgal eden konteyner stok sahalarının hinterlandtaki uygun bölgelere taşınmasıyla mekânsal sıkışıklıktan kurtulmak bu noktada önemli bir çözüm önerisidir [23]. Bir çok araştırmacı, liman ile kent arasındaki çatışmayı çözmek için kuru limanların geliştirilmesi ile birlikte demiryolu taşımacılık kapasitesinin arttırılması ve intermodal

yük taşımacılığının etkin bir şekilde kullanılmasını önermektedir [15]. Demiryolu taşımacılığının liman ve hinterland arasındaki yük aktarımında kullanılması demiryolunun arazi kullanımında sağladığı tasarrufun yanında çevre kirliliğinin önlenmesi açısından da karayolu taşımacılığına göre avantaj sağlamaktadır [16].

Kuru Limanlar

Woxenius [17] kuru limanları, liman hinterlandında yükleri geçici olarak stoklamak, elleçlemek ve istiflemek için gerekli servisi verebilen ortak kullanım tesisleri olarak tanımlamıştır. Özellikle gelişen limanların kuru liman ile entegrasyonu Şekil 1.5 'de görülmektedir [18] .

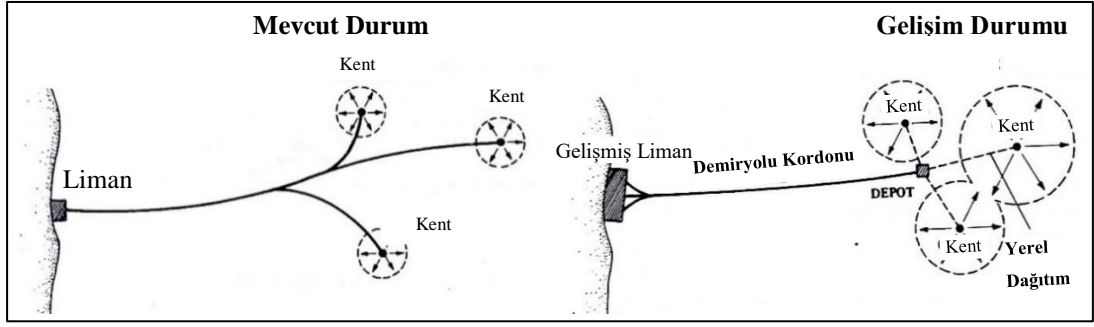
Literatürde kuru limanların performansları ve gelişimlerini inceleyen güncel çalışmalara şu örnekler verilebilir:

Kuru limanlarının, bağlantılı olduğu limanlarda daha düşük kamyon trafiği oluşturduğu ve daha az kamyon bekleme süreleri sağladığı, kuru liman yaklaşımının karayolu yük taşınması sonucu ortaya çıkan çevre kirliliğini %25 oranında azalttığı ortaya koyulmuştur [19].

Wiegmans [20] geniş çaplı bir veri tabanı kullanarak Hollanda'daki mevcut kuru limanların karakteristik özelliklerin ve yük akışlarını inceleyerek bu tesislerinin gelişiminde diğer benzer tesislere ve karayolu ağına olan yakınlığı arasındaki ilişkileri nicel bir şekilde ortaya koymuştur.

Ballis ve Golias [21] kuru limanların etkin bir şekilde kullanılması ve verimliliğin artırılması konusunda farklı kuru liman tasarımları arasındaki maliyet ilişkisini incelemiş ayrıca bu terminallerdeki kapasite kısıtlamalarının genel olarak ekipman dışı nedenlerden etkilendiği sonucuna varmıştır.

Raa [22] çalışmasında Napoli ve Salerno limanları ile Nola ve Marcianise kuru limanları arasındaki konteyner trafiği için geniş ölçekli bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Amaç fonksiyonu olarak ulaştırma, terminal, taşıma ve depolama, gümrük kontrol, envanter tutma ve konteyner kiralama maliyetlerini kapsayarak bu lojistik maliyetlerin en aza indirgenmesini hedefleyen bir çalışma yapmıştır.



Şekil 1.5. Liman gelişim safhaları ve liman ile entegrasyonu [18]

Intermodal Konteyner Taşımacılığı

Karayolu ve demiryolunun ortak kullanımını sağlayan intermodal taşımacılık tarihi eskilere dayanmakta, fakat yaygın kullanımı özellikle 1960'larda kullanılmaya başlanan liman konteynerlerinin getirdiği avantajlar ile başlamıştır [23]. Günümüzde tüm dünyada konteynerlerin standartlaşması, birim yük taşımacılığının yaygınlaşmasına yol açarak konteynerler ile taşınan yük hacmini istikrarlı bir şekilde arttırmış, bu durum intermodal yük taşımacılığının önünü açmıştır [24,25]. Intermodal yük taşımacılığının önemini İktisadi Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ortaya koymuştur. OECD raporunda 2030 yılında üye ülkelerin mevcut ulaştırma koridorlarının ve altyapılarının artan ticaret talebini karşılayamayacağına dikkat çekilmiştir [26]. Bu çerçevede limanlar ve hinterlandları arasındaki yük taşımacılığı için kullanılan ulaştırma alt yapısının kapasitesinin artırılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesinin ve özellikle artan ticaret talebini karşılamak için liman kapasiteleri artırılırken stok sahaları için gerekli arazi tahsislerinin yapılmasının gerekliliğine vurgu yapılmıştır.

Intermodal yük taşımacılığı günümüzde bir çok çevresel, ekonomik ve kentsel problemin çözümü için gelecek vadede bir ulaştırma politikası olarak karar vericiler tarafından kullanımı teşvik edilmekte ve önemi vurgulanmaktadır. 2001 yılında Avrupa Birliği'ne üye 28 ülkenin 26'sı intermodal ulaştırmanın yaygınlaştırılması ve kullanımının artırılması için çeşitli politikalar geliştirdiği rapor edilmiştir [27]. Türkiye'de ise intermodal yük taşımacılığı artması beklenen ticaret hacmi nedeniyle güncel bir konudur. 9. Kalkınma Planı raporunda gelişen küresel ticaret hacmine paralel olarak, ulaştırma türlerini kendi aralarında entegre etmeyi planlayan lojistik koridor yaklaşımının planlanması önerilmiştir. Kalkınma Bakanlığı tarafından

hazırlanan ve 2014 - 2018 yıllarını kapsayan 10. Kalkınma Planında ise Türkiye'nin Asya ve Avrupa kıtaları arasında bir geçiş koridoru olmasına ve coğrafi avantajlarına dikkat çekilmiş, ürünlerin döngü sürecini kısaltıp taşımacılık, stoklama ve stok yönetimi gibi işlevleri bütünleştirebilecek bir intermodal kargo taşımacılığı alt yapısının planlanması hedeflenmiştir [14]. Çalışma kapsamında yapılan planlamada, Türkiye'nin bölgesel bir yük aktarma merkezi olmasını sağlamak amacıyla potansiyel ve ihtiyaçlarını göz önüne alarak intermodal taşımacılık bağlantılarının ve alt yapısının kurulmasına özen gösterilmesi, ulaştırma koridorları için en avantajlı taşımacılık türlerinin belirlenerek, denizyolu ve demiryolu taşımacılığını özendirecek şekilde intermodal taşımacılık planlamalarının yapılması, bu kapsama enerji verimliliğine sahip ve çevre dostu ulaştırma sistemlerine öncelik verilmesi kararlaştırılmıştır.

OECD Türkiye için hazırladığı "Intermodal Transport: National Peer Review" raporunda, ülkede mevcut yük taşımacılığının ağırlıklı olarak karayolu ile yapıldığına dikkat çekerek, orta ve uzun vadede yerel ve transit özellikler içeren bir intermodal yük taşıma modelinin hayata geçirilmesinin önemine değinmiş ve uzun vadede karayolu yük taşımacılığının etkisiz bir çözüm olacağına dikkat çekmiştir. Çalışmada bütüncül bir şekilde planlanarak uygulanan intermodal yük taşımacılığı modeli ile sağlanacak transit yük taşımacılığının ülke için yeni iş imkanları açarak ekonomik açıdan katkı sağlayacağı belirtilmiştir [1].

Devlet politikalarının yanında intermodal yük taşımacılığına olan ilgi lojistik sektörü açısından son yıllarda artmaktadır. Intermodal yük taşımacılığı konusunda Baltık bölgesi taşımacılık firmaları arasında yapılan araştırmada, firmalar tarafından %48 oranında intermodal yük taşımacılığına olumlu bakıldığı belirtilmiştir [9].

Intermodal yük taşımacılığı açısından kuru limanlar önemli bir yer teşkil etmektedir. Kuru liman konseptinin en detaylı tanımı ve fonksiyonel olarak açıklaması, Birleşmiş Milletler UNCTAD sekreterliği tarafından hazırlanan "Port Development" raporunda sunulmaktadır [18] Bu raporda sunulan tasvirde ulaştırma ağında bulunan stok sahaları birbirleriyle ilişkili sabit kapasiteli hacimler olarak tasvir edilmektedir. Basitleştirilmiş bu model görüşü Şekil 1.6'de görülmektedir [28].

mekik tren işletmeciliği yapılmaktadır. Kuru limana taşınan konteynerlerin hedeflerine olan sevkiyatı karayolu ve uygun durumda bağlantılı demiryolu aracılığıyla yapılacaktır. Buna karşılık, hinterlandtan kuru limana karayolu ve demiryolu ile ulaşan ihraç konteynerler kuru limanda uzun süreli depolanmaktadır.

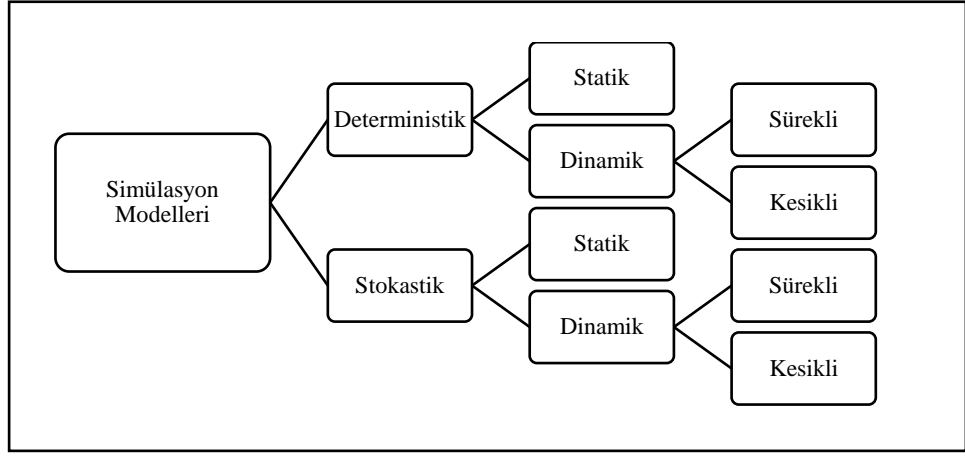
Konteyner gemisinin gelmesinden önce ihraç konteynerler, demiryolu taşımacılığı ile kısa süreli depolanmak üzere liman sahasına gönderilmektedir. Modelde demiryolu taşımacılığı, gece boyunca planlanan mekik tren seferleri ile yapılacaktır. Kısa süreli olarak depolama sahasında tutulan konteynerler, rıhtıma yanaşan gemilere yüklenebilecek, bu sayede liman stok sahaslarının kısa süreli stoklama için kullanılması ile küçültülmesi yoluna gidilecektir. Bu sistemin uyumlu çalışması için rassal değişimler gösteren gemi varışları, yükleme-boşaltma servis ve konteyner depolama zamanlarına uygun olasılık dağılımlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hazırlanan kavramsal model yaklaşımına özgü bir şekilde simülasyon yöntemi ve envanter teorisi yaklaşımları kullanılarak, kısa ve uzun süreli depolama alanlarının boyutlarının optimizasyonu ve elleçleme-taşıma ekipmanlarının kapasitelerinin optimizasyonu gerçekleştirilebilecektir.

Simülasyonla Modelleme Yaklaşımı

Günümüzde simülasyon yaklaşımı, mühendislik ve planlama çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Simülasyon modellemesi tasarımcıya sistemin performansını ölçmesine ve işleyişini kavrayabilmesine olanak sağlar. Simülasyon yönteminin bir diğer faydası matematiksel olarak modellenmesi çok zor olan bir sistemin, çeşitli soyutlamalar aracılığıyla bir benzerinin bilgisayar ortamında üretilmesine olanak sağlaması ve çeşitli deney senaryoları için bu modelin işletilerek performansının değerlendirilebilmesidir. Simülasyon modelleri Şekil 1.7’de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.

Stokastik simülasyon modellerinin en önemli özelliği, model girdi parametrelerinin belirli bir olasılık dağılımı ile ifade edilmesidir [32]. Bir limana gelen gemilerin geliş aralıklarının dağılımı liman ile ilişkili planlama ve simülasyon çalışmaları için önemli bir parametredir.



Şekil 1.7. Simülasyon modellerinin sınıflandırılması [33]

Tablo 1.1. Simülasyon çalışmalarında kullanılan gemi geliş olasılık dağılımları

Çalışma	Örneklem Sayısı	Olasılık Dağılım	Yük tipleri
Tahar ve Hussain [34]	287	Weibull	Genel Kargo
UNCTAD [35]	-	Erlang-2	Dökme Yük
Kozan [36]	679	Negatif üssel	Konteyner
Shabayek ve Yeung [37]	12610	Negatif üssel	Konteyner
Huang ve ark. [38]	372	Negatif üssel	Konteyner
Dragovic ve ark. [39]	711	Negatif üssel	Konteyner
Gökkuş ve ark. [40]	247	Negatif üssel	Konteyner
Cheong ve ark. [41]	1030	Negatif üssel	Dökme Yük

Her ne kadar gemi gelişleri deterministik bir şekilde planlansa bile birçok gemi geliş tarihlerinin üst üste binmesiyle beraber gemi geliş aralıkları negatif üssel dağılıma uygun olmaktadır (Tablo 1.1).

İzmir Alsancak Kent Limanına İlişkin Modelin Faydaları

Çalışma pilot kent limanı olarak incelenecek İzmir Alsancak limanı için değerlendirildiğinde, limanın hinterlandını oluşturan İzmir ili ve çevresindeki diğer özel limanların ticari faaliyetleri, Manisa-İzmir ve İzmir-Ankara devlet yollarındaki ağır araç trafiğini arttırmakta, özellikle İzmir ve Manisa arasındaki Sabuncubeli ve Belkahve geçitleri rampa iniş ve çıkışlarında ağır araçların trafiğe olan etkisi net bir şekilde bilinmektedir. Geçtiğimiz yıllarda ağır araçların kış şartlarında bu geçitler yerine alternatif güzergahlar kullanabilmesi amacı ile Sabuncubeli ve Belkahve tünelleri inşa edilmiştir. Ağır araç trafiğini sadece kentsel ölçekte incelersek, bölgedeki limanlarının yarattığı ağır araç trafiği kentin karayolu ağında da ciddi bir

trafik ortaya çıkarmaktadır. Bu trafik kentin çevre yollarında ciddi mertebededir. Bu çalışmada önerilen kavramsal konteyner taşımacılığı modeli ile sosyal fayda gözetilerek ülkemizin artan küresel ticaret talebiyle beraber hinterland konteyner trafik akışının daha iyi planlanması için kuru limanların kullanıldığı intermodal taşımacılık modellerinin uygulanabilirliği araştırılacaktır. Hazırlanacak simülasyon modelinin uygulanması sonucunda İzmir Alsancak limanı için stok saha kapasitelerinin hangi mertebede küçültülebileceği ve İzmir Alsancak limanının ortaya çıkardığı karayolu yük taşımacılığı kaynaklı ağır araç trafiğinin ne mertebede azaltılacağı ortaya konacaktır. Bu çalışma, İzmir Alsancak limanı için uygulanacak olsa da diğer kent limanları için de uygulanabilirlik örneği teşkil etmektedir. Bu çalışma ile, önerilen kavramsal konteyner taşımacılığı modeli kullanılarak ülkemizdeki ve dünyadaki kent limanları için kuru liman kullanılması durumunda ortaya çıkan faydalar ölçülebilir bir şekilde ortaya konacaktır. Bununla beraber Türkiye'nin ticaret hacmi gelişimini dikkate alan senaryolar dahilinde kısa ve orta vadede İzmir Alsancak limanı için önerilen modelin sağladığı faydalar limandaki stok sahalarının kapasitelerinin azaltılması ve yine kent içi ağır araç trafiği oluşumunun engellenmesi yönünden ortaya konulacaktır.

İzmir Alsancak Limanına İlişkin Simülasyon Modelleme

Kent limanlarında, stok sahalarının günlük olarak ithal ve ihraç konteyner kapasitesine göre planlanması, demiryolu ile günlük planlanan ithal ihraç yük miktarına göre demiryolu taşımacılığının planlanması, kuru limana farklı zaman aralıklarında ve miktarlarda gelen konteynerlere karşılık limana giden günlük konteyner akışına yönelik olarak konteyner stoklama planlamalarına, konteyner miktarlarına, istifleme yüksekliklerine ve stok sahasında çalıştırılacak elleçleme ekipman tiplerine bağlı stok sahası boyutlandırılması gibi planlama faaliyetlerinin bir intermodal konteyner taşımacılığı simülasyon modeli kapsamında değerlendirilmesi özgün bir çalışma olarak nitelendirilebilir. Yapılan literatür çalışmasında görülmektedir ki, günümüzde ulusal ölçüde benzer bir yük taşımacılığı modeli çalışılmamış olup, uluslararası literatürde farklı liman tipleri için çalışmalara bulunmaktadır. Ancak bu çalışma kapsamında geliştirilecek modelin karakteristik özelliklerinin; bölgeye, kargo tipine, elleçleme ekipman seçimine ve ulusal intermodal ulaşım ağının mevcut durumuna bağlı olarak değişim göstermesi, ülkemiz için özgün olarak bir yük taşımacılığı modeli oluşturma gereksinimi ortaya çıkarmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışması kent limanlarından kaynaklanan trafik sıkışıklığı, yol üstyapısının bozulması ve kazalar gibi ulaştırma problemlerine, kent planlaması, karayolu ulaştırması kaynaklı çevre, gürültü kirliliği ve diğer mekânsal problemlere bir çözüm önerisi sunmaya çalışmaktadır.

Tezin ana amacı hazırlanan simülasyon modelinin işletilmesi ile İzmir Alsancak limanı ve kuru liman stok sahalarının en ekonomik ve liman stok sahalarını mümkün mertebe küçültecek şekilde kapasite planlaması yapılmasıdır. Çalışmada limanı besleyen tren seferleri ve kapasiteleri için bir işletim planlaması yapılacak, önerilen modelin ekonomik faydası ortaya konacaktır. Tezde hedeflenen ana amaçlar ve sadece projenin uygulandığı İzmir Alsancak limanı çerçevesinde değerlendirilebilen yan amaçlar olarak aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir:

Çalışmanın ana amaçları:

1. Limanların genişleme alanı gereksinimlerinden doğan yüksek kamulaştırma maliyetlerini düşürerek yük elleçleme ve taşıma maliyetlerini azaltmak, liman sahasını küçülterek kent içi yeni rekreasyon alanlarının açılmasına olanak sağlamak.
2. Kuru limanlar ve yük aktarma istasyonları (gümrükleme yapan lojistik merkezleri de dahil) ile liman arası demiryolu işletmeciliği olanaklarını geliştirmek, karayolu ağındaki ağır araç trafiğini azaltmak, daha çevreci ulaştırma türlerinin kullanımını arttırmak.
3. Ülkemiz için kuru liman ve yük aktarma istasyonlar içeren demiryolu bağlantılı özgün bir intermodal konteyner taşımacılığı modeli geliştirerek bölgesel ve ulusal ulaşım ağında düzenlemeler yapmak.

Çalışmanın yan amaçları:

1. Proje kapsamında pilot liman olarak seçilen İzmir Alsancak limanı için Kesikli Olay Simülasyon (DES) modelinin hazırlanmasında, kalibrasyonunda ve

doğrulamasında kullanılacak verilerin, liman istatistiklerinden temini ve saha gözlemleri yapılması.

2. İzmir Alsancak limanı için mevcut konteyner trafiğinin, mevcut liman ulaştırma olanaklarının, limandaki elleçleme ekipmanlarının karakteristiklerinin, demiryolu karayolu ve denizyolu ile limana gelen ve giden gemi ve yük karakteristiklerinin belirlenmesi.
3. İzmir Alsancak limanı için demiryolu taşımacılığı ve kuru liman bulunduran kavramsal konteyner taşımacılığı modeli için bir DES modeli hazırlanması, modelin liman istatistikleri ve tasarım kabulleri çerçevesinde kalibrasyonunun ve doğrulamasının yapılması.
4. İzmir Alsancak limanına yönelik orta ve uzun vadede liman ticaret talebinin tahmin edilmesi. Liman ticaret talebi için gelişme senaryoları kapsamında kestirimlerde bulunulması.
5. Liman mevcut modeli (DES1) ve kuru liman entegreli (DES2) modellerinin çalıştırılarak her iki durum içinde limanın büyüme potansiyeli dahilinde gerekli olacak stok saha kapasitelerinin belirlenmesi, simülasyon çıktıları ile geliştirilen maliyet modeli aracılığıyla farklı senaryolar için elleçleme maliyetlerinin hesaplanması.

Mevcut literatürde liman stok sahaları ile kuru liman arasındaki kordon niteliğinde karayolu veya demiryolu bağlantılı yük akışını detaylı bir ölçekte inceleyen çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışmada, liman ve kuru liman ilişkisinde:

- Elleçleme ve depolama zamanı (tutma süresi)
- Rıhtım boyu ve stok alanları kapasiteleri
- Elleçlenen ve depolanan konteyner sayıları

Özellikle simülasyon tabanlı optimizasyonda etkin rol oynayan parametrelerdir. Maliyet analizi ele alındığında, elleçleme-liman içi ve kuru liman bağlantılı ulaşım, liman ve kuru liman depolama maliyeti, her ne kadar literatürde mevcut olsa da özellikle konteyner başına düşen maliyet olarak hesaplamalarda detaylı olarak irdelenmediği görülmüştür. Limanların başlıca tercih nedenlerinden biri yük sahibi açısından, konteyner başına düşen elleçleme ve ulaşım maliyetidir. Limanların, diğer limanlarla rekabet edebilmesinde özellikle konteyner başına ödenen ücretler

ithalat/ihracat firmaları için tercih sebebidir. Bir limanın konteyner başına düşen maliyetinin hesaplanmasında, rıhtım elleçleme maliyeti, liman içi ve dışı taşımacılık maliyeti, liman hinterlant depolama maliyeti, kuru liman konteyner taşıma maliyeti ve depolama maliyeti önemli rol oynar.

Literatür çalışmalarında; *rıhtıma ulaşan gemilerden boşaltılan konteynerler liman ardındaki stok sahasında depolanmakta, gün içinde ya da farklı zamanlarda ulaştırma kordonundan aktarma istasyonlarına iletilmekte ve istasyonlardan hinterlanttaki terminal noktalarına ulaştırılmaktadır. Bunun tersi istikamette de hinterlanttan aktarma istasyonlarına konteyner ulaşımı ve depolanması yapılmakta, uygun görülen zaman aralığında da kordondan liman ardındaki depolama sahasına ve dolayısıyla rıhtıma konteynerler ulaştırılmaktadır.*

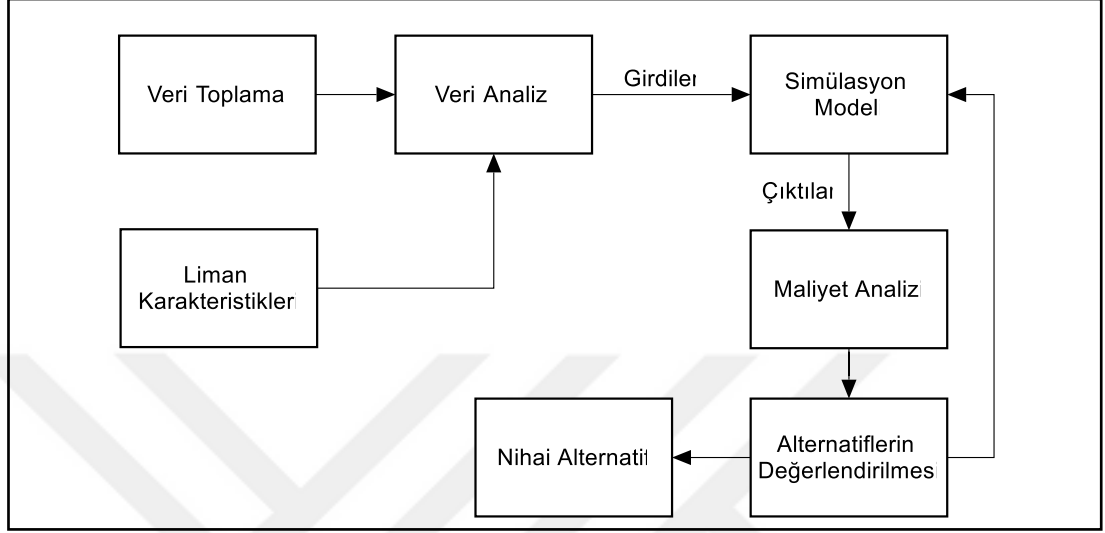
Bu çalışmanın *Özgün Değeri* olarak denilebilir ki: *önerilen simülasyon destekli model, farklı ülkelerdeki projelere fikrinsel benzerlik gösterse de izlenen simülasyon ve model tasarım karakteristiklerinin belirlenmesi aşamasında (tren sefer sayısı, stok saha boyutları vb.) farklı optimizasyon teknikleri ve yük taşımacılığı stratejilerinin de kullanılabilirliğinin araştırılması projeye özgün bir nitelik kazandırmaktadır. Değinen hususlarla beraber bu çalışmaya özgünlük katan diğer hususlar ise şu şekildedir:*

(1) *Uluslararası literatürde ele alınan çalışmalarda genellikle limana ya da kuru limanlara yönelik sınırlı simülasyon çalışmaları yapılmakta olduğu görülmüştür (rıhtım ataması, stok sahası kapasite belirlenmesi vb.). Çalışma kapsamında önerilen kavramsal model için liman ve kuru liman olarak iki ayrı DES modeli hazırlanacaktır. Bu iki ayrı modelin senkronize bir biçimde çalıştırılması ile karşılaştırma çalışması yapılacaktır.*

(2) *Literatürdeki çalışmalarda Hollanda, Almanya ve Singapur gibi büyük oranda ekonomik olarak gelişmesini tamamlamış ülke limanları göz önüne alınmıştır. Ülkemizde ise orta vadede ciddi bir ekonomik gelişme potansiyeli vardır ve ticaret talebi kestirimi planlamada önemli bir yer tutmaktadır. Projede güncel durum ve gelişmeye yönelik senaryolar dahilinde de İzmir Alsancak limanının performansı incelenecektir.*

2.2. Tez Çalışması Planı

Bu çalışmada kullanılan tez çalışması planı ve çözüm yaklaşımı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Çalışmada simülasyon ve maliyet modelleri kullanılarak uygulanan çözüm yaklaşımı Şekil 2.2’de görülmektedir.

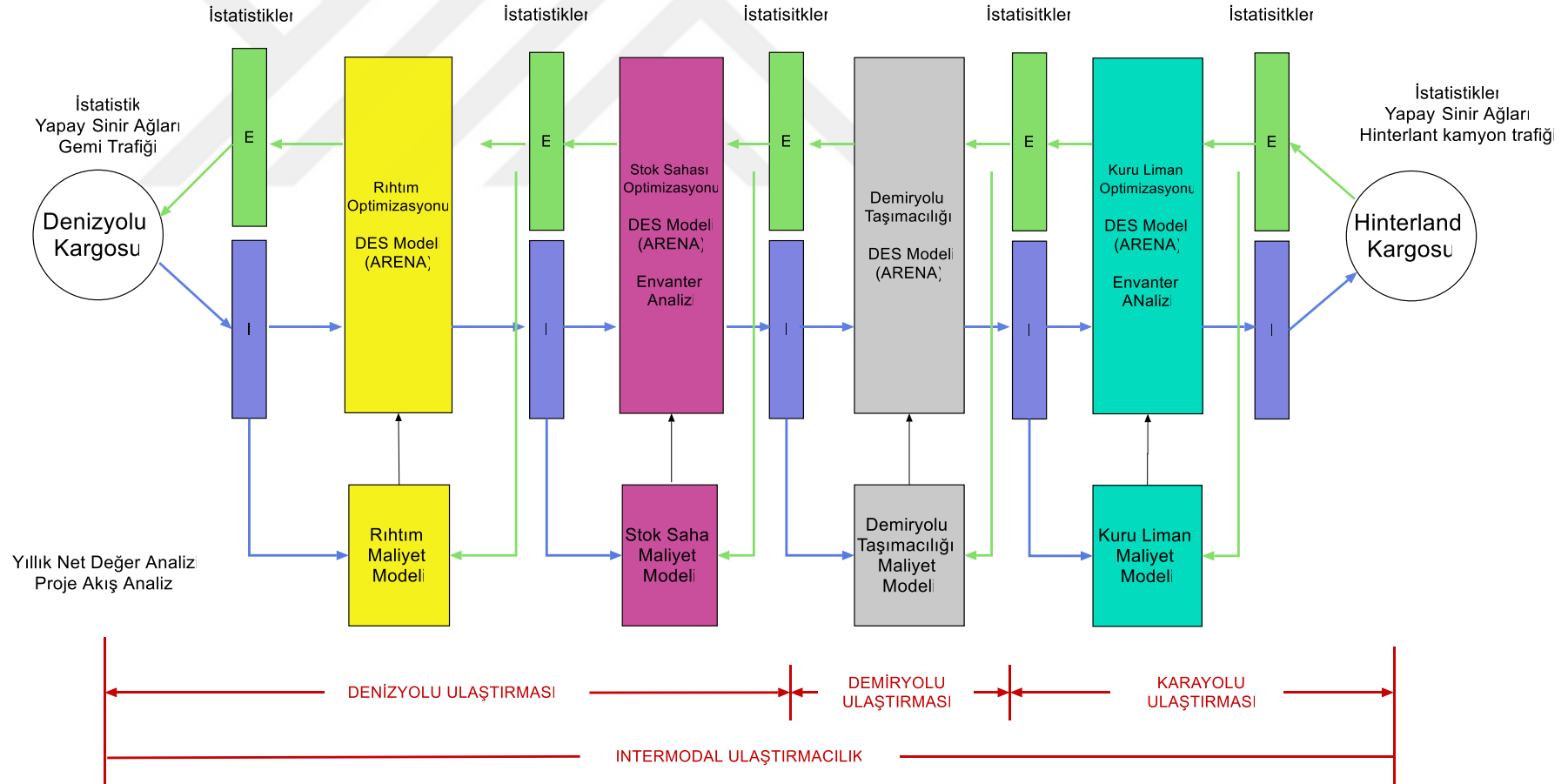


Şekil 2.1. Tez çalışması çözüm yaklaşım diyagramı

Bu tez çalışmasında belirlenen çözüm yaklaşımı aşağıdaki gibi olacaktır:

1. Limanlar ve deniz taşımacılığı lojistiği hakkında bilgi verilmesi
2. Kavramsal taşımacılık modelinin geliştirilmesi
3. Kavramsal taşımacılık modelinin liman uygulaması
 - a. DES1 ve DES2 alt modellerinin planlanması
 - i. Rıhtım alt modeli, Konteyner elleçleme alt modeli, Stok saha alt modeli, Demiryolu taşımacılığı alt modeli, Kuru liman alt modeli
4. Liman için özgün maliyet modelinin geliştirilmesi
5. Modelin uygulanması: İzmir Alsancak limanı örneği
 - a. Liman saha veri toplama süreci
 - b. Verilerin değerlendirilmesi ve istatistiksel analizler
 - c. Parametreler için uygun olasılık dağılımlarının türetilmesi
 - d. DES modellerinin kalibrasyonu ve doğrulaması
 - e. Liman için yük talebi tahmini

DES ve Maliyet modellerinin akış şeması



Şekil 2.2. DES ve maliyet modellerinin akış şeması

2.3. Tezin Yaygın Etkisi

Bu çalışma aşağıdaki problemlerin çözümlenmesine veya olguların iyileştirilmesine katkı sağlanmıştır:

- Kent limanlarının fonksiyonlarını yürütebilmesi için gereken stok saha genişlemesi için gerekli alanın yokluğundan kaynaklanan problemlerin çözümlenmesine
- Kent limanlarında, geri saha genişletilmesi için yüksek kamulaştırma maliyetlerinin düşürülebilmesine
- Kent limanları ile bağlantılı ulaşım ağlarının kent içi ulaşım da trafik sıkışıklığına neden olması probleminin ve ağır taşıt trafiğinin kent içi ulaşım üzerindeki olumsuz etkilerinin çözümlenmesine
- Kent limanlarının fonksiyonlarına, kuru limanların olumlu katkılarının sağlanmasına
- İntermodal kargo taşımacılığının doğru bir şekilde planlanması, kent limanları ile bağlantılı kargo transferinde kolaylıkların sağlanması ve liman genişleme alanının yetersizliği nedeniyle engellenen liman işletim fonksiyonlarını üstlenebilecek kuru limanların kurulması ile hem gerekli genişleme alanının dogması hem de daha düşük maliyetli kamulaştırmanın sağlanmasına
- Kuru liman bağlantılı intermodal taşımacılık modeliyle kargo transferinin kolaylıkla yürütülmesi ve terminal tesislerinin işlevlerindeki verimliliğin arttırılmasına
- Türkiye'nin büyük hacimli ithalat/ihracat faaliyetlerinin gerçekleştirildiği Haydarpaşa, İzmir, Antalya, Mersin, Trabzon, Samsun gibi şehir limanlarının geri sahalarındaki genişleme ihtiyacı kaynaklı; ekonomi, turizm, şehircilik ve ziraat açısından ortaya çıkan problemlerin çözümlenmesine
- Lojistik merkezlerinin kurulmasının DPT ve bakanlıkların ulusal planlamalarında yer verilmesi ile birlikte çalışmada özgün bir intermodal yük taşımacılığı modelinin geliştirilmesiyle verimliliğin arttırılmasına imkan ve katkı, dolayısıyla yeni geliştirilecek intermodal kargo taşımacılığı modeli ile limanın diğer limanlarla rekabet edebilirliğini arttırmak amacıyla konteyner başına düşen elleçleme maliyetinin azaltılmasına katkı sağlanacaktır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bugüne kadar limanlardaki rıhtım kullanımı, elleçleme ve istifleme ekipmanlarını öne çıkaran stok sahasına ilişkin optimizasyon ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Yine bu çalışmada da ele alındığı üzere simülasyon ve matematiksel modelleme yaklaşımları liman simülasyonları için kullanılmıştır. Literatürde yer alan liman modellemesine ilişkin çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Cortez ve ark. [42] DES yaklaşımı ve Arena yazılımı kullanarak konteyner ve dökme yükler için Sevilla limanının simülasyon modelini hazırlamış, çalışmada rıhtımlardaki gemi yükleme ve boşaltma operasyonları modellenmiştir. Çalışmada limanın performansını ölçmek amacıyla gemilerin sistemde kalma süresi, rıhtımda bekleme süreleri hesaplanmış ve mevcut gemi trafiği için limanın performansı ortaya konmuştur. Çalışmada terminal için 4 aylık gemi gelişleri kullanılarak mevcut durumda terminalin elleçleme kapasitesi yeterli bulunmuş, çalışmada ayrıca terminale gelecekte gelebilecek yüksek kapasiteli konteyner gemileri için bir gelişim senaryosuna değinilmiştir.

Gambardella ve ark. [43] Intermodal bir konteyner terminalindeki lojistik süreçleri modelleyen bir simülasyon modeli geliştirmiş ve La Spezia terminali için konteynerlerin stok saha yerleşimleri, elleçleme ekipmanların atanması gibi problemlerin genetik algoritma ve optimizasyon metotları ile çözümü ile daha ekonomik bir terminal işletmeciliğini sağlayacak bir çalışma yapmıştır.

Legato ve ark. [44] yaptıkları konteyner terminali simülasyon çalışmasında bir DES modeli kullanarak konteyner terminallerindeki saha vinci operasyonlarını modellemişlerdir. Çalışmada özellikle vincin en az hareketiyle optimum konteyner yerleşim düzeninin sağlanması ve bu sayede limanın daha ekonomik işletilmesi için optimizasyon çalışması yapılmıştır. İşletilen senaryolarda “öncelikli sıraya koyma ve seçim” prensibi uygulanmıştır.

Longo ve ark. [45] Solerno limanın elleçleme performansının değerlendirilmesi amacıyla bir DES modeli geliştirmiş ve liman performansını belirli gemi operasyon süreleri kullanarak analiz etmeyi amaçlamıştır. Veri analizi,

simülasyon modeli geliştirme, doğrulama ve onaylama işlemlerinden sonra, bazı kritik faktörlerin performans üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek amacı ile simülasyon model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gemi varışları arasındaki zamanlar, farklı yükleme ve boşaltma süreleri kullanılarak 24 deney senaryosu eşliğinde ANOVA istatistik testi kullanılarak performans değerlendirme yapılmıştır.

Lin ve ark. [31] Arena yazılımı ile geliştirilmiş bir DES modeli kullanarak Humen konteyner terminali için yatırım planlama problemini ele almıştır. Çeşitli konteyner gemileri ve vinçleri, esnek bir ritim tahsisi ve dinamik vinç programlaması dikkate alınarak bir simülasyon modeli önerilmiş, gemi hizmet seviyesini korurken toplam operasyon ve yatırım maliyetlerini en aza indirecek işletme parametrelerini belirlemek için simülasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, önerilen ekonomik yatırım planının mevcut yatırım planına kıyasla maliyeti düşürebileceği ortaya konmuştur.

Gökkuş ve ark. [46] İstanbul, İzmir ve Mersin limanları için bir konteyner trafik tahmin modeli geliştirerek liman simülasyonları ve planlama çalışmalarında kullanılmak üzere ülkenin gelişme senaryoları eşliğinde yük talep tahmini yapmıştır. Çalışmada yapay sinir ağları ve çok değişkenli regresyon modelleri kullanılarak model eğitim ve kalibrasyonları Yapay Arı Kolonisi algoritması ve Destek Vektör Makinaları yaklaşımları ile yapılmıştır. Çalışmada İzmir Alsancak limanının konteyner yükünün 2031 yılında %60 oranında artabileceği öne sürülmüştür. Çalışmada ayrıca limanların kapasite planlaması için simülasyon yöntemlerinin çalışma sonuçları ile eşleştirilerek değerlendirmelerde bulunulması gerekliliği ortaya konmuştur.

Sgouridis ve ark. [47] Konteyner terminaline hinterlandden kamyonlarla ulaşan konteynerleri göz önüne alan, sadece SC elleçleme sisteminden oluşmuş bir orta büyüklükte bir liman için simülasyon modeli hazırlayarak liman operasyonları için servis zamanları ve kapasite kullanım faktörlerini ele alan bir çalışma yapmıştır. Farklı kamyon geliş dağılımları için optimum SC sayısı ve SC kullanım oranlarını ortaya koyarak terminaldeki ve terminal kapılarındaki sıkışıklık durumlarını çalışma ele almıştır.

Piccoli [48] FlexSim yazılımı ile Jebel limanını modellemiş ve liman için tasarlanan yaklaşım kanalının kapasitesinin ve met cezir durumlarını simülasyon modelinde dikkate almıştır. Farklı kamyon geliş dağılımları için optimum SC sayısı ve kullanım oranlarını ortaya koyarak terminaldeki ve kapılardaki sıkışıklık durumlarını çalışmada ele almıştır. Model performansını değerlendirmek için ortalama gemi sistemde bekleme süresi kullanılmıştır. Model, rıhtımın gemi önceliklerine göre hizmet verme senaryosuyla çalıştırılarak hizmet alan gemi tiplerine göre terminal için gemi bekleme süreleri belirlenmiştir.

Shabeyek ve Hung [37] Hong Kong Kwai Chung terminali için maliyet analizleri, rıhtım genişleme senaryolarının denenmesi ve terminalde farklı elleçleme ekipmanlarının kullanımının araştırılması gibi çalışmalarda kullanılacak bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Çalışmada gemi servis dağılımı için “k” mertebesinde Erlang dağılımı ve gemi geliş aralıkları için ters üssel dağılım kullanılmıştır. Model performansını değerlendirmek için ortalama gemi sistemde bekleme süresi kullanılmıştır. Çalışmada hizmet alan gemi tiplerine göre terminal için gemi bekleme süreleri belirlenmiştir.

Pietrobon [49] çalışmasında konteyner terminallerindeki rıhtım bölgesindeki problemlerin çözümü için farklı rıhtım tiplerini dikkate alan bir simülasyon modeli geliştirmiştir. ARENA yazılımı kullanılarak hazırlanan simülasyon modelinde rıhtımlar sürekli ve kesikli olarak modellenmiş, her iki yaklaşım dahilinde yapılan simülasyon çalışması çıktıları ile rıhtım işgal oranı, gemi bekleme süreleri ve terminal üretkenliğine olan etkiler detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada ayrıca ilk gelen ilk hizmet alır (FCFS) gemi kuyruğu stratejisi ile en fazla yüklü geminin önceliği, son gelen geminin önceliği ve en kısa operasyon süresine sahip geminin önceliği gibi kuyruk yönetim stratejileri de kullanılmıştır.

Bu çalışmada, değinilen literatürlerden yararlanarak optimizasyon ve simülasyon modelleri ve maliyet modelleri kullanılmıştır. Ancak gerek optimizasyon gerekse maliyet modelleri, özgün olarak önerilen liman/kuru liman ve demiryolu bağlantılı entegre bir sistem için geliştirilmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

4.1. Olasılık Dağılımları

Simülasyon çalışmalarında kullanılan yaygın olasılık dağılımları Normal, Üçgensel, Uniform, Üstel, Poisson, Erlang ve Gama dağılımlarıdır. Dağılımların özellikleri, ortalama değer, standart sapma ve dağılıma özel parametreler kullanılarak belirlenir [50]. Simülasyon çalışmalarında kullanılan yaygın dağılımlar ve yoğunluk fonksiyonları Tablo 4.1’de gösterilmiştir [33].

Tablo 4.1. Simülasyon çalışmalarında kullanılan olasılık dağılımları

Kargo/Gemi Tipi	Olasılık Dağılımı	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
İhraç Konteyner Sayısı	Normal Dağılım	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad x \in R$ (4.1)
Konteyner Bekleme Süreleri	Uniform Dağılım	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$ (4.2)
İthal Konteyner Sayısı ve Vinç Elleçleme Hızları	Üçgensel Dağılım	$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & m \leq x \leq b \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$ (4.3)
Gemi Varış Frekansları	Poisson Dağılım	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$ (4.4)
Gemi Servis Frekansları	Erlang dağılımı	$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-k} x^{k-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{(k-1)!}, & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$ (4.5)
İhraç Konteyner Sayıları	Gamma Dağılımı	$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-k} x^{k-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(k)}, & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$ (4.7) $\Gamma(k) = \int_0^{\infty} t^{k-1} e^{-t} dt$ (4.6)
İhraç Konteyner Sayıları	Weibull Dağılımı	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}} & \text{for } x > 0 \\ e^{-\frac{x}{\beta}} & \text{diğer} \end{cases}$ (4.8)

Bu çalışmada; ihraç konteyner sayısı, konteyner bekleme süreleri, ithal konteyner sayısı ve GK elleçleme hızları, gemi varış aralıkları, gemi servis süreleri ve

ihraç konteyner sayıları farklı olasılık dağılımları ile X^2 testi sonucuna göre uygunluk göstermektedir.

4.2. DES Yöntemi

Simülasyon (DES) ile modelleme yöntemi farklı avantaj ve dezavantaj içermektedir. Genel olarak simülasyon yönteminin avantajları:

1. Sistemin detaylı simülasyon modeli hazırlandıktan sonra farklı işletim senaryoları incelenebilir ve tasarımcı açısından çok çeşitli performans ölçütlerinin değişimi farklı değişkenler çerçevesinde incelenebilir.
2. Matematiksel modelleme ve analitik yöntemlere oranla model tasarımı kolaydır.
3. Sistemin uzun bir zaman boyunca çalıştırılarak davranışı incelenebilir.

Buna karşın simülasyon yönteminin dezavantajları:

1. Simülasyon yaklaşımının, sistemin karmaşık olmadığı ve matematiksel olarak kolaylıkla modellenemediği durumlarda kullanılması önerilmez
2. Karmaşık bir sistemin modellenmesi durumunda matematiksel modele oranla daha fazla veri gerekir.
3. Simülasyon modeli gerçek sistemi ancak belirli şartlar altında taklit eder.

olarak belirtilebilir [32].


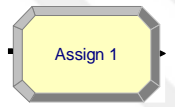
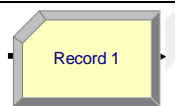
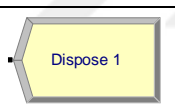
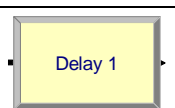
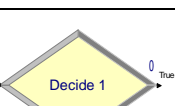
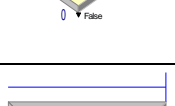
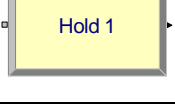

4.2.1. Monte Carlo Simülasyonu

Monte Carlo simülasyonu, bir sistem için belirli olasılık dağılımlarından rasgele değerler örnekleyerek sisteme rassallık özelliğinin kazandırılmasıdır. Monte Carlo yaklaşımının temel algoritması, 0 ile 1 arasında eşit olarak dağılmış değerler üreten rasgele sayı üreteçlerine (RNG) dayanmaktadır. Bu değerler önceden belirlenmiş bir olasılık dağılımına uyacak şekilde dönüştürülür. Bu örnekleme süreci Monte Carlo örnekleme olarak adlandırılır. RNG tarafından üretilen rassal değerler, simülasyon modelinde olayları rastgele zamanlarda programlamak için kullanılır. DES yaklaşımında Monte Carlo simülasyonu model replikasyon sayısının değiştirilerek bir ya da birden fazla model performans çıktısı için güven aralığının belirlenmesi için sıklıkla kullanılmaktadır.

4.2.2. Arena Simülasyon Yazılımı

Bu çalışmada; SIMAN simülasyon dilini kullanan ARENA yazılımı kullanılmıştır. ARENA yazılımı akademik çalışmalarda sıklıkla tercih edilen, blok yapısına sahip ve kullanımı kolay bir DES yazılımıdır. ARENA yazılımı ile model hazırlanırken, modelin işleyişinde varlıkların hareketlerinin sağlandığı blok yapıları, varlık ve blokların işleyişlerini tanımlayan element yapıları kullanılmaktadır. Tez çalışmasında ARENA programında öncelikli olarak kullanılan blok yapıları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. ARENA modelinde kullanılan ana yapısal bloklar

	CREATE	Sisteme giren varlıkların oluşturulduğu blok
	ASSIGN	Sisteme giren varlıkların niteliklerinin belirlendiği blok
	RECORD	Varlıklar hakkında istatistiklerin toplandığı blok
	DISPOSE	Modelde görevleri biten varlıkları sistemden çıkaran blok
	DELAY	Varlığın sistemde bekletilmesini sağlayan blok
	DECIDE	Sistemde hareket eden varlıkların farklı bloklar arasındaki yönlerini tayin etmeye yarayan mantıksal kodlar içeren blok
	HOLD	Sistemdeki varlıkların bekleyeceği kuyrukları oluşturan blok
	SEIZE	Modelde kaynakların varlıklar tarafından işgal edilmesini sağlayan blok.
	RELEASE	Bir varlık tarafından kullanılan bir kaynağın serbest bırakılmasını sağlayan blok.

Günümüzde konteyner terminalleri için yapılan planlama çalışmalarının yanında, mevcut konteyner terminallerindeki lojistik operasyonların kısa ve uzun vadede planlanması, terminal performansının verilen operasyonel kararlar neticesindeki değişiminin tahmini için simülasyon çalışmaları kullanılmaktadır. Özellikle konteyner terminalleri için simülasyon yaklaşımı, terminaldeki lojistik operasyonların oldukça karmaşık bir yapıda olması sebebiyle uygun bir araç olmaktadır. Bir konteyner terminali için yapılan simülasyon çalışması, terminal planlama ve fizibilite çalışmaları kapsamında nispeten basit bir model yapısına sahip olabilmekle beraber, kimi zaman terminaldeki lojistik operasyonlarını detaylı bir şekilde temsil ederek mikro düzeydeki problemlere ve sorunlara detaylı bir şekilde çözüm bulması için planlanan simülasyon modelleri kullanılmaktadır.

4.3. DES MODELİNİN HAZIRLANMASI

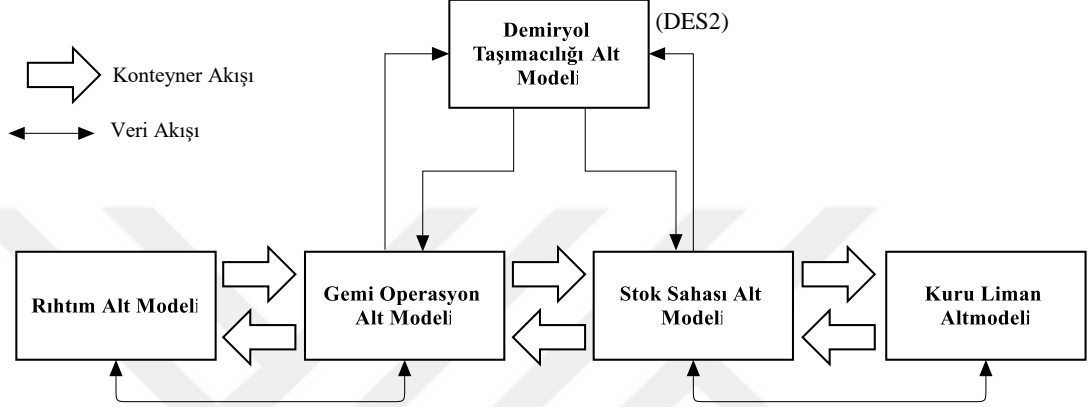
Çalışmada kullanılan DES modeli ARENA yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirme aşaması kavramsal modelin planlanması, alt modellerin tasarımı ve doğrulanması gibi aşamalar içermektedir. Bu kapsamda hazırlanan simülasyon modeli, birden çok alt simülasyon modelinin birleşiminden oluşmaktadır. Simülasyon yöntemi ile her modelin tasarım ve planlama süreci şu şekilde gerçekleşmektedir. Öncelikle kavramsal model hazırlandıktan sonra simülasyon yazılımı ile DES modeli hazırlanacaktır. Bu çalışmaya özgün olarak ARENA yazılımı ile geliştirilecek intermodal konteyner taşımacılığı modeli, planlanan kavramsal modelin bilgisayar ortamında soyutlanarak programlanmasıdır.

4.3.1. DES Modelinin Doğrulanması

Hazırlanan DES modeli sistem analizlerinde ve senaryolar çerçevesinde işletilmeden önce modelin geçerliliğinin sorgulanması, modelin gerçek hayattaki sistem veya tasarlanan kavramsal sistem ile uyumlu bir mekaniğe sahip olup olmadığı kontrol edilecektir. Her bir alt simülasyon modeli limandaki lojistik süreçler gereği birbirlerini takip etmektedir. Sistemde bir alt modelin çıktısı diğer bir alt modelin girdisi olmakla beraber modeller arasındaki kontrol parametreleri ile birbirleri arasında etkileşim sağlanmaktadır. Hazırlanan ve geçerliliği başarılı bir şekilde doğrulanan DES modeli ile problemin çözümü veya önerilen kavramsal modelin uygulanması sonucu oluşacak fayda ortaya konacaktır.

4.3.2. DES Alt Modelleri

Çalışmada hazırlanan DES modeli koordineli bir şekilde işletilebilen bir çok alt model ile oluşturulmuştur. Hazırlanan simülasyon modeline IPCS-SM (Intermodal Port Container Simulation – Simulation Model) ismi verilmiştir. IPCS-SM'nin yapısı Şekil 4.1'de görülmektedir. Şekilde küçük oklar alt modeller arasındaki bilgi alışverişini, büyük oklar ise alt modeller arasındaki konteyner akışını temsil etmektedir.



Şekil 4.1. DES modelleri ve alt modellerinin işleyişi

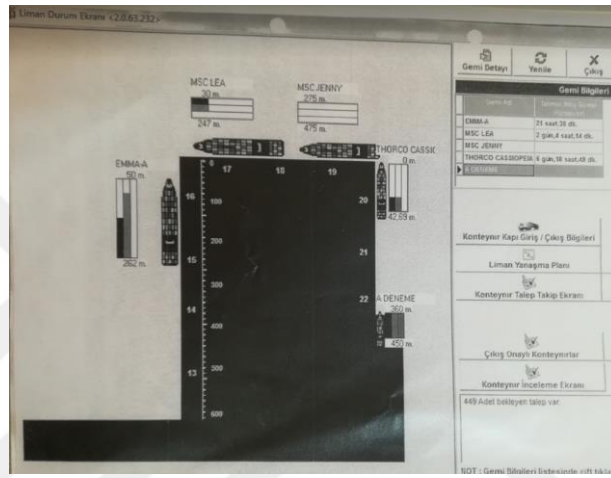
Alt modeller arasındaki iletişim ve koordinasyon ARENA yazılımı içerisinde özgün olarak yazılan sinyal kodları, yönlendirme blokları ve okları ile gerçekleştirilmektedir. Örnek olarak rıhtım alt modelinden çıkış yapan bir ithal konteyner yönlendirici ROUTE bloğu ile stok sahası alt modeline giriş yapar. Stok sahasının dolu olması durumu ise rıhtım alt modeline SIGNAL bloğu yardımı ile iletilir [51].

4.3.2.1 Rıhtım Alt Modeli

Çalışmada hazırlanan rıhtım alt modelinin fonksiyonları tasarlanırken: *gemilerin üretilmesi, gemi gelişlerinin, yüklenecek ve boşaltılacak konteynerlerin mevsimlere bağlı olarak atanması, gemi boylarının atanması, gemilerin limanda rıhtım seçimi, rıhtım yerleşimi ve terkinin modellenmesi, rıhtımın dolu olması durumunda gemilerin kuyruğa alınması ve kuyruk yönetimi* görevleri dikkate alınarak işletim yapılması yoluna gidilmiştir.

Çok sayıda rıhtıma sahip olan bir limanda genellikle farklı boylara sahip gemiler farklı rıhtımlarda hizmet alırlar. Gemi boylarındaki bu değişim karakteristik olarak limanın tipine ve kullanım türüne göre değişiklik gösterir [52]. Bu çalışmada

gerçek sistemi ifade etmek amacıyla ayrık (kesikli) rıhtımlar yerine sürekli rıhtım tasarımı kullanılacaktır. Çalışmaya konu olan İzmir Alsancak limanı incelendiğinde, liman operasyonlarının 3 tane sürekli rıhtım ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Simülasyon modelinin tasarlanması aşamasında, rıhtımlara gemi atama kurallarının belirlenmesi için liman başkanlığından bilgi alınarak, mevcut durumda rıhtım gemi atama kuralları operasyon şefliğinde “liman durum ekranı” kayıtlarını incelenmiştir. Liman operasyon şefliğinde liman yanaşma planlarının oluşturulması ve izlenmesi amacıyla kullanılan liman durum ekranı Şekil 4.2’de görülmektedir.

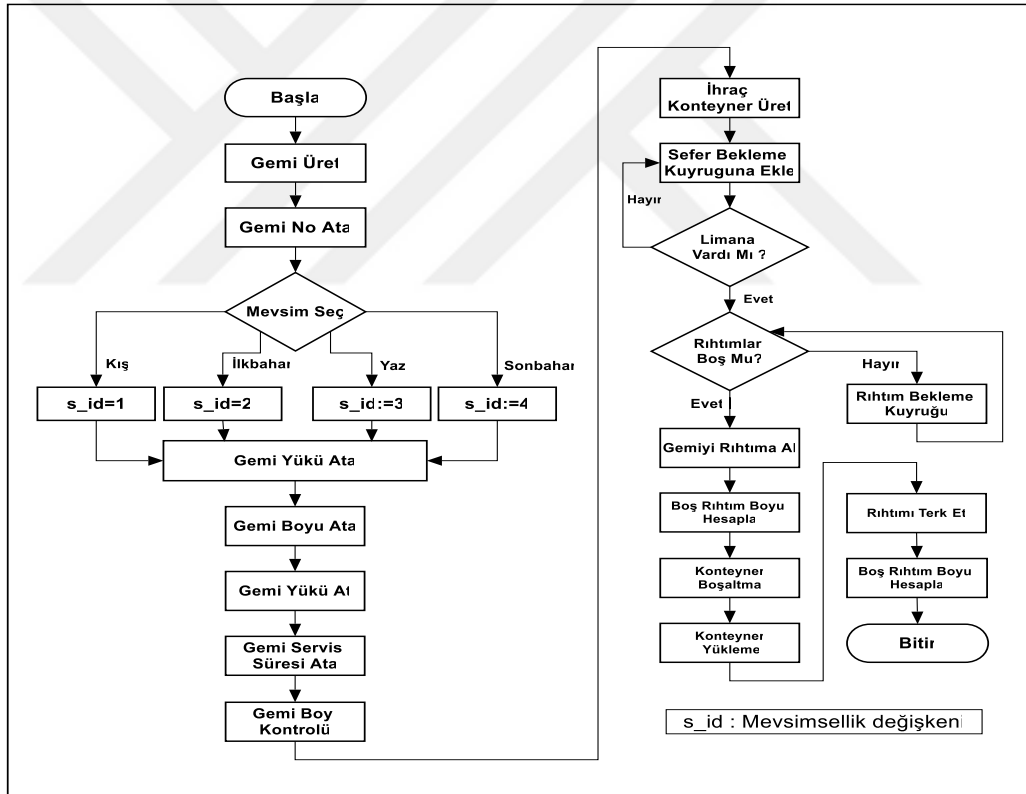


Şekil 4.2. Liman operasyon durum ekranı programı

Limandaki rıhtım atama kuralı FCFS’dir. Bose [7] sürekli bir rıhtımda rıhtımın tek bir yönden taranması ve ilk uygun boşluğun bulunarak rıhtım ataması yapılmasını temel alan “first-fit” ile tüm rıhtımın taranarak gemi boyu için uygun en küçük boşluğun bulunmasını sağlayan “best-fit” metotlarını önermiştir. Belirtilmelidir ki “best-fit” metodu rıhtım kapasitesinin daha etkin kullanımını sağlasa da “first-fit” metodu ile limana gelebilecek büyük tonajlı gemiler için daha geniş alan ayrılır. Bu çalışmada ise daha basit bir rıhtım atama metodu kullanılmıştır. Yarımada yerleşiminde birbirine dik açılı 3 sürekli rıhtım için gelen geminin boyuna bakılarak öncelikle 600 metrelik rıhtım 1, eğer gereken uzunluk sağlanmıyor ise sırasıyla rıhtım 2 ve rıhtım 3 seçilmektedir. 1. rıhtımın ilk tercih edilmesinin nedeni, bu rıhtımda 3 adet GK’nın hizmet vermesi nedeniyle daha hızlı elleçleme yapılabilmesidir. Rıhtımlarda yanaşma uzunluğu olmaması durumunda gemi liman açığındaki demirleme bölgesinde bekletilmektedir. Limanda olması muhtemelen kötü hava

koşulları veya liman deniz trafiği kaynaklı gecikmeler model hazırlanırken dikkate alınmamıştır.

Hazırlanan modelde gerçekte olan rıhtım atama kuralı benzer şekilde uygulanmıştır. Rıhtım alt modeli ile simülasyonda konteyner gemileri öncelikle mevsimsel olarak belirlenen gemi geliş dağılımları ile oluşturulmaktadır. Model mevsimsel olarak 4 dönem için farklı gemi geliş ve yük dağılımı kullanabilir. Türetilen gemilere öncelikle bir gemi numarası ve gemi oluşturma tarihi atanır. Mevsimsel olarak gemi tahliye ve yükleme konteyner sayıları ve gemi boyu olasılık dağılımları ile modele girilir. Gemi limana gelişi için önceden belirlenen gecikme günü kadar bekleme kuyruğunda bekletilerek rıhtım seçim mantık bloğuna yönlendirilir. Bu şekilde ihraç konteynerlerin kuru limanda önceden oluşturulması sağlanmaktadır.

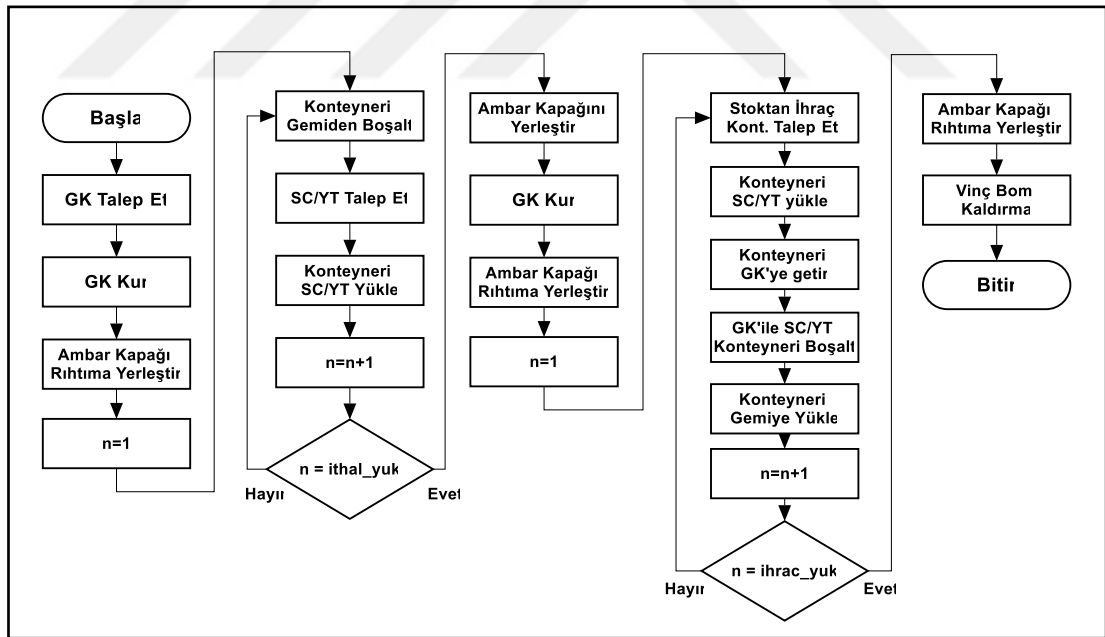


Şekil 4.3. Gemi rıhtım operasyonları akış şeması

Rıhtım alt modelinde rıhtım ataması limana gemilerin geliş veya ayrılış olayları ile tetiklenmektedir. Örnek olarak limana bir gemi geldiğinde veya limandan ayrıldığında rıhtım alt modeli rıhtımdaki boşluğu kontrol ederek sıradaki hizmet alacak gemiye karar vermektedir. Rıhtım alt modeli operasyonları Şekil 4.3'de görülmektedir.

4.3.2.2 Konteyner Elleçleme Alt Modeli

Gemi operasyonları yani konteyner tahliyesi ve yüklemesi için konteyner elleçleme alt modeli oluşturulmuştur. Gemi rıhtıma alındıktan sonra öncelikle konteyner yükünü tahliye etmesi gerekmektedir. Bu amaçla gemiye uygun sayıda GK ve gerektiği durumda MHC ataması yapılmaktadır. Liman başkanlığında yapılan çalışmada gemilere GK veya MHC atamasının vardiya bazlı planlandığı ve kimi zaman farklı atama kuralları gözetildiği göz önüne alınarak simülasyon modelinde gemi başına vinç ataması yerine, gemilerin konteyner başına ortalama boşaltım süresi göz önüne alınarak bir yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla 2018 yılı için liman gemi geliş defteri kayıtları ve GK ile MHC'lerin 3 aylık vardiya kayıtları temin edilerek gemi yükleri ve operasyon süreleri incelenmiştir. Simülasyon modelinde tahliye ve boşaltma hızları yine mevsimsel olarak ifade edilmiştir. Gemi tahliye modelinde rıhtımdaki gemiden tahliye edilecek konteynerler üretilip rıhtım vinç tahliye kuyruğuna yönlendirilmektedir. Kuyruğa giren konteyner, kuyruk sırasına göre atanan vinçler tarafından tahliye edilerek stok sahasına terminal traktörü vasıtasıyla gönderilir.



Şekil 4.4. Gemi operasyon alt modeli akış şeması

Terminal traktörlerinin tahliye edilen konteynerleri stok sahasına taşıma gecikmesi rıhtımdan stok sahası yönüne, stok sahasında rıhtım yönüne boş ve dolu traktörler için liman sahasında yapılan gözlemler ve operasyon şeffağından alınan bilgiler neticesinde, rıhtımdan stok sahasına tahliye dolu olarak 3 dakika dolu, stok

sahasından rıhtıma boş olarak 2 dakika olarak belirlenmiştir. Gemi operasyon alt modeli işleyiş şeması Şekil 4.4'de görülmektedir. Gemi operasyon alt modeli akış şeması ile uyumlu olacak biçimde hem DES modeli hazırlanacak hem de modelin doğrulanması için gereken işlemler yapılacaktır.

4.3.2.3 Stok Saha Alt Modeli

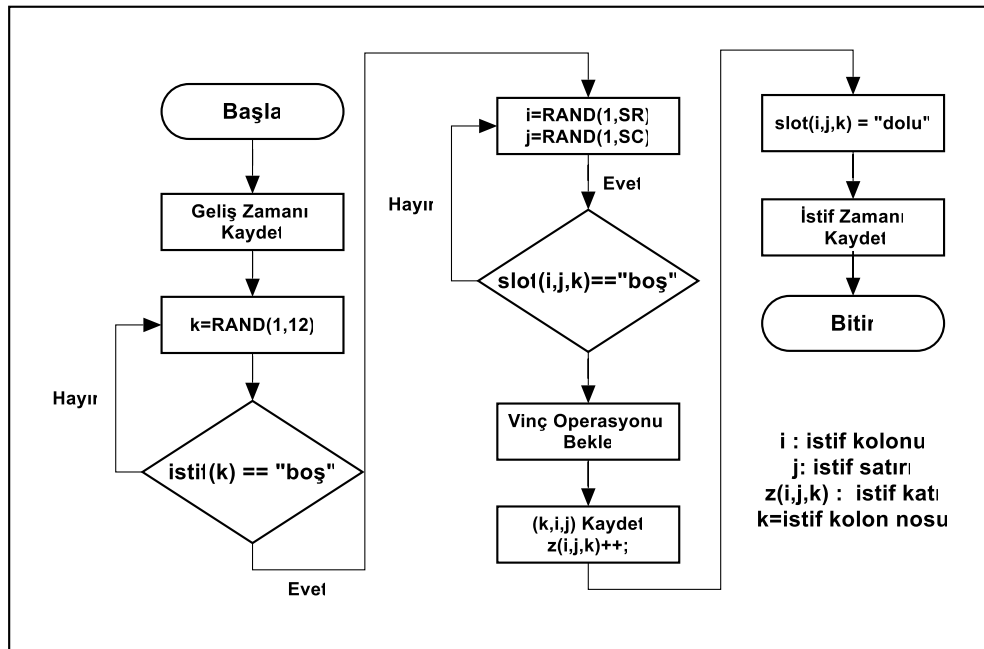
Liman stok sahasının kapasitesinin hesaplanabilmesi için öncelikle: *konteyner tutma süresi, TEU oranı, konteyner trafik hacmi, ek hizmetler için diğer alanlar (frigofrik konteyner sahası, tehlikeli madde vb., boş konteyner sahası)* sayısal olarak tayin edilmelidir.

Konteyner stok saha kapasitesinin belirlenmesinde konteyner trafik hacminin mevsimsel, haftalık ve saatlik değişimleri de hesaba katılmalıdır. Konteyner stok sahası kapasitesi ayrıca kullanılan elleçleme ekipmanları ile de doğrudan ilişkilidir. Özellikle artan elleçleme kapasitesi talepleri karşısında daha yoğun bir istifleme yapılması gerekmekte ayrıca yer sıkıntısı, çevresel etmenler nedeniyle de çoğu zaman farklı elleçleme sistem çözümleri kullanılması gerekmektedir. Konteyner stok sahalarının kapasitesini sınırlayan en önemli problem özellikle kent limanları için coğrafi sınırlamalar, saha çevresinde farklı yapıların bulunması ve yerel veya merkezi yönetim tarafından alınmış düzenlemelerdir. Stok sahalarının yerleşim geometrisinin belirlenmesi liman planlamasında önemli bir tasarım parametresidir. Özellikle Alsancak limanında da uygulanan yarımada tipindeki liman yerleşiminin en önemli avantajı paralel olarak düzenlenmiş rıhtımların arasına stok sahalarının yerleştirilmesidir. Bu şekilde rıhtım ve diğer sahalar arasındaki konteyner taşımacılığı için daha kısa mesafeler kat edilmekte, terminal içerisindeki sıkışıklık ve gecikmeler azaltılabilmektedir.

Hazırlanan modelin bir diğer önemli özelliği, konteynerleri için önceden belirlenen kurallara göre yer seçimi yapılarak çeşitli ekipmanlar ile istiflenmesidir. Yüksek istifleme ile stok sahasında birim alana düşen konteyner sayısı artırılarak sınırlı saha alanından tasarruf edilmektedir. Yüksek istiflemenin en önemli dezavantajı istif altlarında bulunan konteynerlere erişimin güçleşmesi ile vinçlerin üretkenliğinin istif yüksekliğine bağlı bir şekilde azalmasıdır. Bu verim kaybının önüne geçmek amacıyla istiflerde daha fazla sayıda vinç atanması gerekmektedir. Ayrıca yüksek istif

kabiliyetine sahip RTG'lerin maliyeti ve yoğun istiflemenin getirdiği terminal trafiği de çözülmesi gereken sorunların başında gelmektedir. Modelin çalışması esnasında kimi zaman rıhtımda birçok geminin konteyner tahliyesinde bulunması, kimi zaman ise trenlere yükleme yapılması nedeniyle istiflerdeki RTG'lerin önünde araç kuyruklarının oluşması beklenmektedir. Tahliye edilen konteynerlerin öncelikle boş olan istiflere yönlendirilmesi ile bazı RTG'lerin önünde uzun kuyrukların oluşabileceğinden, tahliye edilen konteyner için istif seçimi öncelikle meşgul olmayan RTG'ye, tüm RTG'lerin meşgul olması durumunda ise en az bekleme kuyruğuna sahip RTG'ye şeklinde yapılmaktadır. RTG kuyruğunda rıhtımda ilk elleçlenen konteynerin önceliği bulunmaktadır. Vinç kuyruğunda bir diğer öneme sahip konteynerler trene yükleme sırasında bulunan konteynerler olmakta, limanda yük treninin bulunduğu zamanlarda saha vinçleri öncelikle trenin dolumu için çalıştırılmaktadır.

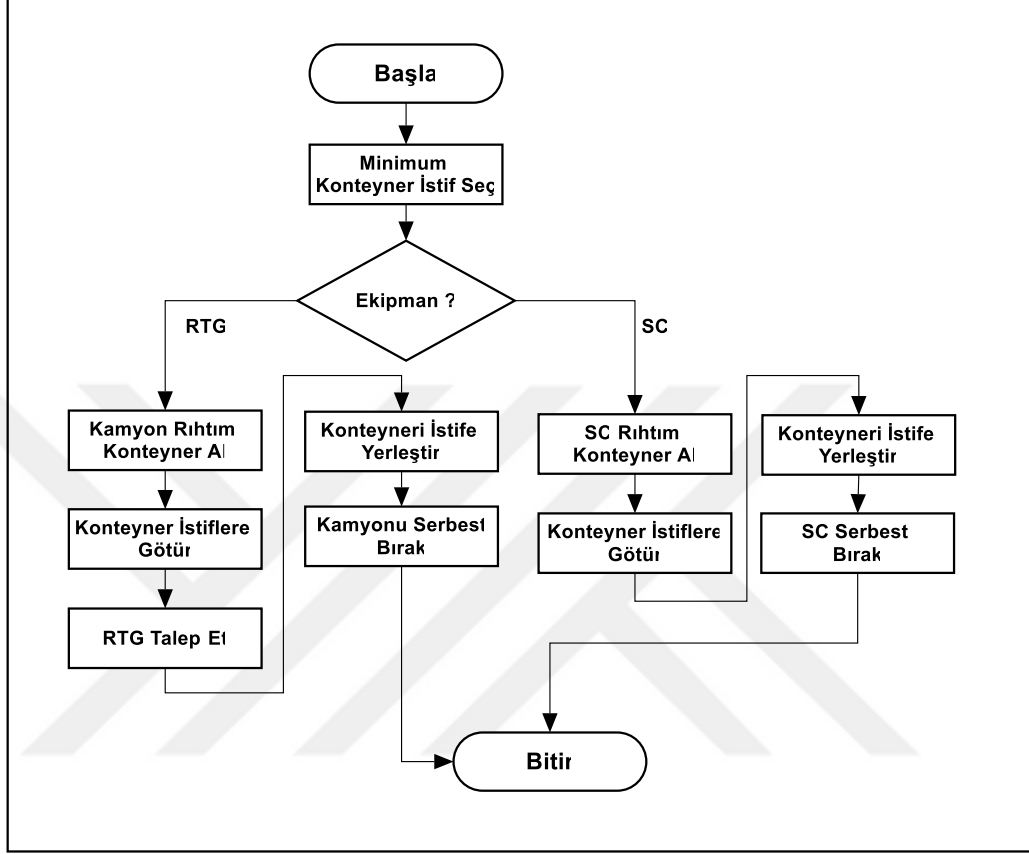
Uygun bir istif ve saha vinci seçen tahliye konteyneri istif içerisinde yer seçimi yapmaktadır. Alt model ile istif yer seçimi yapılan konteyner saha vinci ile istif katına yerleştirilmektedir. Konteyner istif yer seçimi alt model akış şeması Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5. Konteyner istif yer seçimi alt modeli akış şeması

İstif yer seçimi yapılırken konteynerlerin stok sahasında homojen bir şekilde istiflenmesi için öncelikle tüm bloklar tek kat istifleme şeklinde doldurulur.

Konteynerin istiflenme operasyonu simülasyonda öncelikle istif yer seçiminin yapılmasının ardından işletilmektedir. Konteyner istif blokları için operasyon akış şeması Şekil 4.6’de görülmektedir.



Şekil 4.6. Konteyner istif blokları için operasyon akış şeması

Konteynerler istife yerleştirildikten sonra, istifteki yerini belirten koordinat ataması yapılmakta, tren yükleme için kuyruğa alınarak boş vagon sırası beklemektedir. Sistemin işleyişine ilişkin olarak belirtilmesi gereken bir özel durum mevcuttur: gemiden boşaltılan konteynerlerin stok sahasına ulaşması esnasında boş vagon mevcutsa, sahadaki doluluk oranına ve bir gün konteynerin sahada konaklamasına bakılmaksızın transit olarak trenle kuru limana ulaştırılmakta ve istiflenerek bekleme günü kadar kuru limanın stok sahasında tutulmaktadır.

4.3.3. DES Model Türleri:

Çalışmada kavramsal olarak iki farklı model uygulaması yapılmıştır. (1) *DES1-Geleneksel liman operasyonlarının ve işletiminin yapıldığı model*: DES1 Modeline has üretilen konteynerler ihraç stokunda yer bulamazlarsa simülasyondan

uzaklaştırılacaklar, bu konteynerler gemiye yüklenemeyecektir. İhraç stoğuna girişte kullanılan modül ile yönlendirilen konteynerler sayıldıktan sonra modelden çıkarılır. DES1’de gemiden tahliye edilen konteynerler ithal stoklarının dolu olması durumunda stok girişlerinde ayrılarak tampon sahaya gönderilir. Bu sahadan hinterlanda hareket model kapsamı dışında kalacaktır. (2) *DES2-intermodal taşımacılık destekli ve kuru liman bağlantılı model*: DES2 Modelinin bir özelliği olarak ihraç stok sahasına konteynerler tren ile taşınacaktır bu nedenle trene aktarma istasyonundan yüklenecek konteyner sayısı eğer stok sahasında yer yok ise kısıtlanır. Bu mantık ile DES2 ile liman ihraç stok sahası için tampon stok sahası planlama ihtiyacı yoktur. DES2’nin dezavantajı ise liman ihraç stok sahasının dolu olması durumunda konteynerin yüklenemeyerek kuru limanda kalmasıdır. Gemi limanda konteyner dolumu yaparken ihraç stok sahasında kendisi için atanan konteynerin bulunmaması durumunda yüklemeyi bitirerek limandan ayrılmaktadır. Gemiye tren operasyonu veya stok sahası kısıtları sonucu yüklenemeyen konteynerler ise aktarma istasyonunda gemi gittikten sonra ayrılarak sayılıp modelden çıkarılır. Model 2 çalıştırılırken kimi aşamalarda ihraç konteynerler trene yüklenmiş olabilir fakat tren liman yönüne sefer halindedir. Bu esnada liman ihraç stokunda gemi için ihraç konteynerlerin bitmesi durumunda gemi limanı terk edecektir. Limana ulaştırılan ihraç konteynerler ise trenden indirildikten sonra bir sonraki gemi ile gönderilmek için küçük boyutlu bir bekleme alanına gönderilir. Bu sahada bekleyen konteynerler için bir ceza ödemesi yapılmalıdır çünkü konteyner liman ve tren altyapısı kaynaklı olarak gemiye vaktinde yüklenememiştir. Şekilde ihraç stok bloğu önündeki konteyner ayrıştırması detaylı olarak açıklanmaktadır. Kuru limanda tren seferi bekleyen ihraç stokundaki konteynerler tren geldiğinde BRANCH modülü ile ayıklanırlar. Limandan ayrılan her geminin simülasyondaki sayısı, ayrılan gemiler için bir matrise kaydedilir, konteynerin ait olduğu gemi ise ayrılan gemiler listesinde ise konteyner sayılarak modelden çıkarılmaktadır. Eğer gemi hala limanda ise konteyner trene yüklenir. DES1 ve DES2 modellerine ilişkin simülasyon çalışmaları yapılmakta ve her iki model sonuçları karşılaştırılmaktadır.

4.3.4. DES Modelinin Dayandığı Operasyon ve Maliyet Analiz Prensipleri

DES modeli işleyişinde bir takım özel işletme durumları ortaya çıkmaktadır. Genellikle model içerisindeki yük regülasyonunu engelleyen ve kuyruk oluşmasına

neden olabilecek bu problemler aşağıdaki başlıklar altında incelenebilmektedir. Modeller birbirleri ile ilişkili birleşik kaplar olarak düşünülebildiği için herhangi bir modeldeki sıkışıklık diğer modellerin işleyişlerini olumsuz etkilemektedir. Örnek olarak stok sahasındaki yer sıkışıklığı sebebiyle rıhtımdan sahaya konteyner akışı kesintiye uğrar ve şişme meydana gelir. Bu durumda stok sahalarına ek olarak konteynerler bir tampon sahada tutulur veya konteyner gemileri rıhtımda bekletilir.

4.3.4.1 Stok Sahasının Kapasitesinin Aşıldığı Durumlar

DES modeli işletimi sırasında gemiden tahliye edilen konteynerler stok sahasında yer bulunması durumunda istiflere gönderilerek uygun bir şekilde istif katlarına yerleştirilmektedir. Bu operasyon sürecinde bir diğer kısıtlama ise istiflerde hizmet veren elleçleme ekipmanları önünde oluşan kuyruklardır. Limanda yapılan gözlemlerde görülmüştür ki istiflerin önünde ve servis yollarında hizmet bekleyen terminal kamyonlarının sayısı belirli bir seviyede tutularak stok sahası ve servis yollarında kamyon trafiği düzenlenmesi gerekmektedir. İthal konteyner stokunda yer bulunması durumunda konteyner için model uygun istif seçimi yapmaktadır. İstif seçiminde kriter istif önünde minimum kuyruk oluşmasıdır. İstiflerde maksimum kuyruk sayısına erişilmesi durumunda rıhtımdaki konteyner hareketi durur. Bu aşamada tahliye edilen gemiler beklemeye geçer ve servis süreleri uzar. Çalışmalarda dikkate alınması gereken bir diğer durum ise stok sahasının dolması durumunda sahada elleçleme hizmeti veren ekipmanlarının üretkenliklerinin düşmesidir.

4.3.4.2 Stok Sahasında Ekipman Verimliliklerinin Azaldığı Durumlar

Konteyner terminallerinde yapılan gözlemler göstermiştir ki istif yüksekliklerinin veya başka bir deyişle istifleme yoğunluğunun saha vinçlerinin üretkenliği üzerine önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu etkinin daha detaylı incelenmesi için tipik bir RTG veya RMG'nin tek bir konteyner elleçlemesi için geçirdiği operasyon süresini göz önüne alınarak harcayacağı operasyonel gecikme Denklem (4.9) ile hesaplanır.

$$T_{SV}^T = T_{SV}^Y + T_{SV}^a + T_{SV}^s \quad (4.9)$$

Burada; T_{SV}^y : konteynerin istife yerleştirme süresi, T_{SV}^a : konteynerin istiften alınıp araca yüklenme süresi, T_{SV}^s : tekrar istifleme süresi olarak ifade edilmiştir.

Dikkate alınan sistemde; istife gelen, gemiden tahliye edilmiş bir konteyner RTG sistemi için vinç tarafından alınmakta ve istife yerleştirilmekte, bu operasyon için geçen süre T_{SV}^y olmaktadır. Belirli bir saha tutma süresi sonunda aynı konteyner istiften alınarak tekrar bekleyen bir taşıma aracına yüklenmektedir ve bu operasyon için süre T_{SV}^a olmaktadır.

Konteynerin istiften alınması esnasında ise saha vinci istif altındaki konteynere ulaşmak için farklı konteynerlerin yerlerini değiştirmekte ve T_{SV}^s kadar gecikme yaşanmaktadır. Bu ekstra süre ise vinç üretkenliğinde ciddi bir düşüşe sebep olmaktadır. Gerçekçi bir stok saha simülasyonunda bahsedilen konteyner karılması işlemi için geçen süre, aynı elleçleme ekipmanı ve sabit koşullar için istif yüksekliğinin veya istif bloğundaki konteyner sayısının bir fonksiyonu olmalıdır.

İstif kat yüksekliğinin veya istifleme yoğunluğun vinç üretkenliği üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada önerilen ortalama istif katı ile konteynere ulaşmak için vinci ekstra hareket döngü sayısı Denklem (4.10) kullanılarak ifade edilmiştir [3]:

$$\frac{H(Q_b) - 1}{4} + \frac{H(Q_b) + 2}{16W} \quad (4.10)$$

Denklemden $H(Q_b)$ maksimum istif yüksekliği ve W ise istif bloğundaki sıra sayısını temsil etmektedir. Q_b ise istif bloğundaki konteyner sayısını belirten bir tam sayıdır. Kabul edilen bu yöntem ile simülasyon model içerisinde maksimum istif yüksekliğine göre ekstra vinç hareket sayısı Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Belirtilen hareket sayıları kullanılarak istif bloğundaki maksimum konteyner sayısına göre elleçleme ekipmanını tek bir konteyner başını yapması gereken ortalama hareket sayısı tespit edilerek, tek bir konteyner elleçleme için gereken süre ekipmanın karakteristik hareket başına operasyon süresi kullanılarak hesaplanır.

Tablo 4.3. Maksimum istif yüksekliğine göre saha vinci için ekstra hareket sayısı

İstif kat	Konteyner sayısı	Ortalama kat	Hareket
1	200	0	0.000
2	400	1.5	0.255
3	600	2.5	0.507
4	800	3.5	0.759
5	1000	4.5	1.010
6	1200	5.5	1.262

Simülasyon çalışmasında maksimum istif yüksekliğine bağlı olarak simülasyon modeli içerisindeki vinç üretkenliği, vinçlere atanan deterministik hareket sayıları ve gecikme değerleri ile yönetilmektedir.

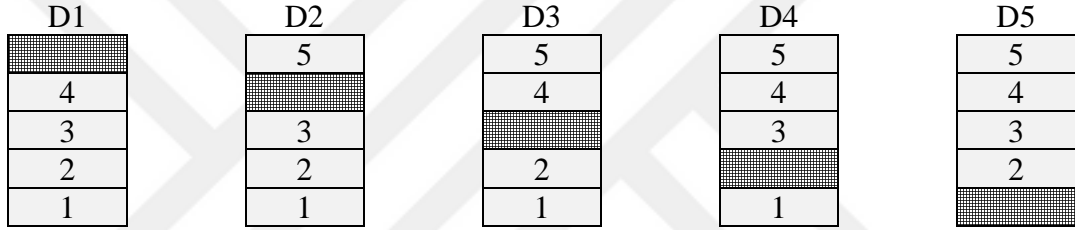
4.3.4.3 Rıhtım-Stok Sahası Taşımacılık Prensipleri

Modellerde rıhtım ile istifler arasındaki konteyner taşımacılığı için farklı bir alt model oluşturulmamıştır. Bu nedenle rıhtım ve stok arasındaki taşımacılık rıhtım ve stok saha alt modellerinin beraber işletimi ile gerçekleştirilmektedir. İzmir Alsancak limanı özelinde, gemilere hizmet veren rıhtım vinçlerine atanan postalarla beraber belirli sayıda terminal traktörü ve kamyon hizmet vermektedir. Alsancak liman gözlemlerinde vinç postası başına 4 veya 5 araç atandığı görülmektedir. Gerçek işletme koşullarında liman yönetiminin atadığı terminal kamyonları dışında yük sahibi de operasyonu hızlandırma amacı ile kendi araçlarını da kullanmaktadır. Ortalama vinç başına GK ve MHC olarak 3 vinç atandığı kabul edilerek gemi başına 15 araç ataması yapılmaktadır. Gemilere araç ataması yapılması aslında rıhtım atama ve vinç atama problemlerinin bir alt kümesi olarak irdelenmesi gereken bu çalışma dışında kapsamlı bir konudur. Çalışmanın kapsamı gereği senaryolarda gemilere vinç ve araç ataması farklılıklarına gidilmemiştir. Modelde gemiden tahliye edilen konteyner istiflere belirli bir gecikme ile iletilmektedir. Araç istiflere konteyner indirdikten sonra boş olarak rıhtıma geri döndüğü kabul edilmiştir.

Bir diğer simülasyon model işletim senaryosu olan SC işletmeciliği senaryosu dahilinde SC için rıhtım ve stok arasındaki taşımacılık süreleri de terminal kamyonları ile sabit kabul edilmiştir.

4.3.4.4 Saha Vinçleri İçin Operasyon Kabulleri

İstiflerdeki konteynerlere ulaşmak için ekipman hareketi ve dolayısıyla geçen süre dışında, istiflerdeki konteynerlere yerleştirmek ve çıkarmak için gereken süre de istif yüksekliğine dolaylı olarak bağlıdır. İstifler boşaltılırken en önemli gecikme vinçlerin istif alt katlarında kalan konteynerleri elleçlemesidir. Örnek olarak istifin en altında bulunan bir konteyner için RTG 5 katlı bir istif için 4 adet konteyneri yer değiştirmek zorundadır. Bununla beraber istif dibinde kalan bir konteyneri çevredeki konteynerlere zarar vermeden çıkarmak için geçen süre istifin boş olması durumunda veya istif tepesinde yer alan bir konteyner için farklı kabul edilmektedir. Literatürde konuya ilişkin bir çalışma olmaması nedeniyle, simülasyon modellerinde tek konteyner için boşaltma süresi Şekil 4.7'deki durumlar için Tablo 4.4 kabul edilmiştir.



Şekil 4.7. Konteyner istifinde konteynerin istif katlarındaki farklı durumları

Tablo 4.4. RTG ve SC için konteyner istif konumlarına göre elleçleme süreleri

D	Konum	Süre (dk)	Dağılım	Parametreler*
D1	İstif tahliye (üst)	2	Üçgensel	(m:2,a:1,b:3)
D2	İstif tahliye (1 konteyner alt)	2	Üçgensel	(m:2,a:1,b:3)
D3	İstif tahliye (2 konteyner alt)	3	Üçgensel	(m:4,a:3,b:5)
D4	İstif tahliye (3 konteyner alt)	3	Üçgensel	(m:4,a:3,b:5)
D5	İstif tahliye (4 konteyner alt)	3.5	Üçgensel	(m:4.5,a:3.5,b:5.5)

*(Dağılım parametreleri: m: ortalama değer, a: minimum değer, b: maksimum değer)

Tabloda kabul edilen dağılımlar saha gözlemleri ve liman operasyon şefliği ile görüşme sonucu temin edilen tahmini değerlerdir.

İstiflere yerleştirilecek konteynerler istifin durumuna göre istifin en üst katına yerleştirilecektir. Yerleştirme için Şekil 4.8'de durumlar göz önüne alındığında yerleştirme süreleri Tablo 4.5'de kabul edilmiştir.

Tablo 4.5. Konteyner konumlarına göre yerleştirme süreleri

D	Konum	Süre (dk)	Dağılım	Parametreler*
D1	Kat 5	2	Üçgensel	(m:2,a:1,b:3)
D2	Kat 4	2	Üçgensel	(m:2,a:1,b:3)
D3	Kat 3	1	Üçgensel	(m:1,a:0.5,b:2)
D4	Kat 2	1	Üçgensel	(m:1,a:0.5,b:2)
D5	Kat 1	1	Üçgensel	(m:1,a:0.5,b:2)

*(Dağılım parametreleri: m: ortalama değer, a:minimum değer, b: maksimum değer)

D1	D2	D3	D4	D5
4				
3	3			
2	2	2		
1	1	1	1	

Şekil 4.8. İstiflere yerleştirilecek konteynerlerin durumları

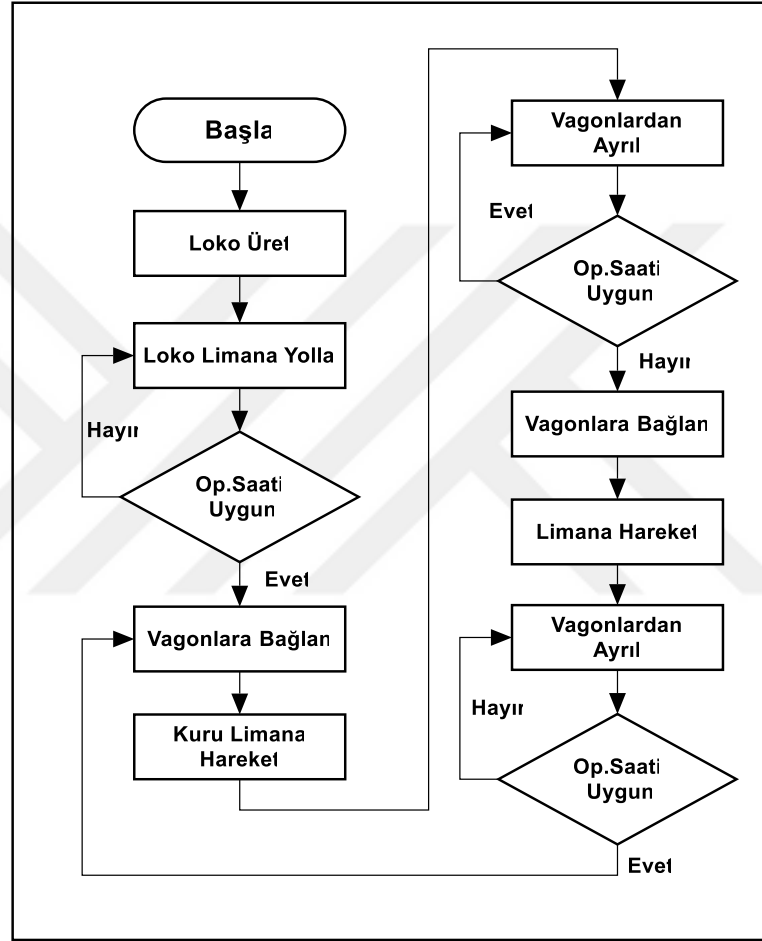
Konteyner tahliyesine benzer şekilde istifin üst katlarına konteyner yerleştirilmesi alt katlara oranla daha zor olmakta, bu nedenle elleçleme ekipmanın operasyon süresi uzamaktadır.

4.3.5. Demiryolu Taşımacılığı Alt Modeli

Liman ile aktartma istasyonu arasındaki konteyner trafiği, mekik tren seferleri aracılığıyla yapılacaktır. Tren seferleri planlaması demiryolunda seferli trenlerin ve diğer demiryolu vasıtalarının seyrek sayıda bulunduğu saatlerde yapılacaktır. Model sürecinde tren operasyon saatleri içerisinde liman ile kuru liman arasında sefer yaparak konteyner transferini sağlayacaktır. Her tren için birde fazla vagon seti kullanılacak ve bu şekilde tren yükleme boşaltma beklemesi olmayacaktır.

Tren hareketleri DES model kapsamında tren döngüsü algoritması ile gerçekleştirilecektir. Model başlangıcında tren limanda üretilmekte boş olan vagon setine bağlanmaktadır. Liman yönüne hareket için doldurulan vagonlar liman stokunda yeterli yer olmaması durumunda boş olarak limana gönderilmektedirler. Tren sefer süresince önceden süresince gecikmeye uğrayarak liman veya kuru limana varır ve takılı olduğu vagonları bırakarak önceden doldurulmuş olan vagon setine bağlanarak

aksi istikamete yola çıkar. Ortaya konan bu tren operasyonu ile limanda gemilerden indirilen tahliye konteynerler kesintisiz olarak kuru limana gönderilerek limandaki geçici stok sahasının küçültülmesi, kuru limandaki ihraç konteynerlerin ise yüklenmeden kısa bir süre önce limana aktarılarak liman stok saha kapasitesinin minimum tutulması hedeflenmiştir. Tren sefer alt modeli akış şeması Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Tren sefer alt modeli akış şeması

Çalışmada göz önüne alan operasyon saatleri, model işletim senaryolarında belirlenecektir. Tren sefer alt modeli akış şemasına uyumlu DES modelleri (DES1 ve DES2) geliştirilecek ve modellerden elde edilen bulguların doğrulaması yoluna gidilecektir.

4.4. Demiryolu Taşımacılığı Esasları

Önceki bölümlerde limanın kuru liman ile gelişme senaryosu kapsamında liman ve kuru liman tesislerindeki stok sahası kapasiteleri maliyet modelleri eşliğinde

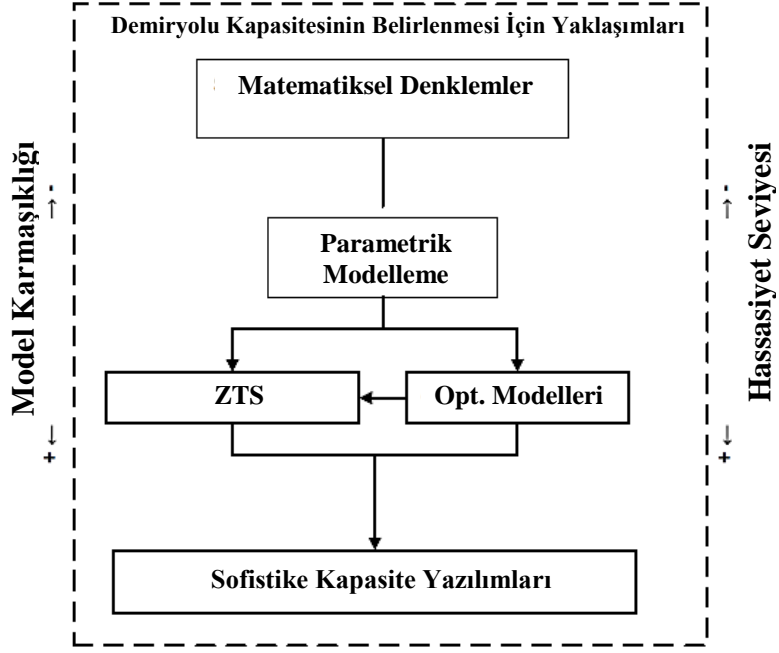
incelenmiştir. Bu aşamada mekik seferlerin artan liman yük trafiği doğrultusunda planlanması ve demiryolu kapasitesinin gerçekçi bir şekilde tahmini ihtiyacı doğmaktadır. Mekik trenler için işletme çalışması dahilinde liman ile kuru liman arasındaki demiryolu hattı güzergahı incelenmiş, TCDD 2. Bölge Genel Müdürlüğünden çalışma için görüşme ve veri temini yapılmıştır.

4.4.1. Demiryolu Kapasite Analizi

Tipik olarak, bir demiryolu koridorunun kapasitesi belirli bir demiryolu kesitinde belirli bir süre içinde güvenle geçebilecek tren sayısı olarak açıklanabilir. Demiryolu kapasitesi, demiryolu altyapısı, sinyalizasyon sistemi, işletmecilik yaklaşımı ve kullanılan trenlerin karakteristikleri gibi bir faktörden etkilenmektedir [53]. Hat kapasitesi ise, bir demiryolu bölümü üzerinden çalıştırılabilecek maksimum tren sayısıdır. İdeal olarak, en uzun bekleme süresi olan istasyon hat kapasitesini kontrol eder. İdeal olmayan durumlarda aşağıda sayılan koşullardan bir veya birkaçı hat kapasitesini kontrol etmektedir [54].

1. Sinyalizasyon sistemindeki kısıtlamalar ve işletme stratejisi
2. Kurp yaklaşımlarındaki keskin eğriler veya dik düşüşler nedeniyle hız kısıtlamaları
3. Hat geçişleri ve birleşmeleri
4. Bir terminaldeki bir treni geri döndürmek için gereken zaman
5. Karışık trafikte çalışan hafif raylı, banliyö ve yük trenlerinin mevcudiyeti
6. Banliyö treni, yük trenleri ile parçaları paylaşan trenler.

Literatürde demiryolu kapasitesinin tayini için farklı hesaplama yaklaşımları bulunmaktadır. Demiryolu kapasitesi kabaca bir yaklaşım ile trenlerin hızını ve mesafesini hesaplayan basit denklemler ile hesaplanabileceği gibi, özelleşmiş simülasyon yazılımları ve parametrik modelleme yaklaşımları da kullanılmaktadır. Demiryolu taşımacılık kapasitesinin belirlenmesi için kullanılan farklı yaklaşımlar Şekil 4.10'de görülmektedir.



Şekil 4.10. Demiryolu kapasitesi tayini yaklaşımları [53]

Demiryolu taşımacılık kapasitesinin belirlenmesi için farklı hassasiyet seviyeleri ve model karmaşıklığı için kullanılabilen yaklaşımlar literatürde mevcuttur. Özellikle sistemin detaylı olarak modellenmesi veya genel bir kapasite yazılımı ile modellenemeyecek durumlar için genel simülasyon yazılımları ve özgün programlama kodu yazılması gerekmektedir beraber model karmaşıklığı artmaktadır. Bununla beraber geliştirilebilir bir sistem karakteristiğinin mevcut olduğu durumlar için matematiksel modelleme [54], Zaman Tablosu Sıkıştırma (ZTS) [55] yöntemleri kullanılabilir.

4.4.2. Tren İşletme Çalışmasının Kabulleri

Bu tez çalışmasında liman ile kuru liman arasındaki mekik tren işletmeciliği için demiryolu hareket ve direnç denklemleri kullanılmış olup güncel olarak TCDD tarafından kullanılan elektrikli ve dizel elektrikli lokomotifler için çeker hesabı yapılacak, hat üzerindeki kesit blokları belirlenerek bloklar arasındaki tren sefer süreleri hesaplanacaktır. Trenlerin toplam sefer süresi hesabı hat kesitlerindeki maksimum işletme hızları kullanılarak etmen tabanlı bir simülasyon yazılımı ile hesaplanacaktır.

Mekik tren işletmeciliğinin yapılacağı saatler, hattı kullanan mevcut ana hat trenleri ve banliyö trenlerinin olmadığı gece saatlerinde yapılması planlanmıştır. Özellikle demiryolu hattını paylaşan yolcu trenleri nedeniyle mekik trenlerin gün

içindeki sefer planlaması için sofistike bir simülasyon yazılımı gerekmektedir. Bahsedilen bu çalışma tez konusu dışında geniş bir araştırma ve tasarım konusu olması nedeni ile bu çalışmada aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1. Mekik tren seferleri ana hat ve banliyö trenlerinin işletilmedi gece geç saatlerde yapılacaktır.
2. Tren sefer saatleri boyunca hattın bakım ve onarım gibi faaliyetler nedeniyle hat işletmeciliği kesintiye uğramayacaktır
3. Liman ve kuru liman arasında gidiş ve geliş olmak üzere çift yönlü demiryolu hattı olduğu kabul edilmiştir.

Çalışmada mevcut TCDD tarafından kullanılmakta olan 3300 beygir gücündeki DE33000 dizel elektrikli lokomotifi ve E68000 6800 beygir gücündeki elektrikli Hyundai Rotem lokomotifleri kullanılacaktır [56]. Lokomotifler Şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11. DE33000 ve E68000 tip lokomotifleri [56]

Çalışmada kullanılacak elektrikli ve dizel elektrikli lokomotiflerin ağırlıkları 120 ton ve maksimum hızları 130 km/h olarak kabul edilmiştir.

4.4.3. Tren Hareket ve Direnç Formülleri

Lokomotiflerin belirli hat koşulları ve yükler altında yapacakları hızlar için tren hareket formülleri kullanılacaktır. Demiryolunda hareket halindeki bir trene uygulanan birim ton için lokomotif ortalama Denklem (4.11) ile hesaplanmaktadır.

$$r_L = 0.65 \cdot \frac{13.15}{P} + 0.00932 \cdot V + \frac{0.004526 \cdot A \cdot V^2}{P \cdot N} \quad (4.11)$$

Lokomotif seyir direnci Denklem (4.12) ile hesaplanmaktadır.

$$R_{lo} = 0.65 \cdot G_L + 13 \cdot n + 0.01 \cdot G_L \cdot V + 0.03 \cdot V^2 \quad (4.12)$$

Vagonların ortalama direnci Denklem (4.13) ve Denklem (4.14) ile hesaplanmaktadır.

$$R_{vo} = G_v \cdot a \cdot \frac{V^2}{3 \cdot b} \quad (4.13)$$

$$R_{vo} = 1.5 + 18 \cdot \frac{n_v}{g_v} + 0.03 \cdot V + \frac{C \cdot a \cdot V^2}{g_v \cdot N} \quad (4.14)$$

Fren yüzdesi ile tren durma mesafesi arasındaki ilişki Denklem (4.15) ile hesaplanmaktadır:

$$\Phi = \frac{3.93 \cdot V^2 \mp h \cdot S - r_{ort} \cdot S}{\mu \cdot S} \cdot 100 \quad (4.15)$$

Denklemde “ Φ ” Fren yüzdesi , V: Hız (km/saat) , h: Rampa değeri , r_{ort} : Lokomotif ve vagonlar için ortalama direnç (daN) ve μ : Tekerlek ile sabo arasındaki sürtünme direncidir. Trenin fren duruş uzunluğu Denklem (4.16) ile hesaplanmaktadır:

$$S = \frac{V^2}{26 \cdot (a_f \pm a_r)} \quad (4.16)$$

Hareket eden tren için kup direnci Denklem (4.17) ile hesaplanır. Denklemde R_{min} kesitteki en küçük kurbanın metre cinsinden yarı çapıdır :

$$r_k = \frac{650}{R_{min} - 55} \quad (4.17)$$

Tekerlek ile sabo arasındaki sürtünme katsayısı Denklem (4.18) ile Denklem (4.23) arasındaki denklemlerle farklı hız durumları için hesaplanır:

$$\mu_{(95-120)} = \frac{6670 + 25 \cdot V}{50 + V} \quad 95 \leq V < 120 \quad (4.18)$$

$$\mu_{(50-95)} = \frac{6670 + 22 \cdot V}{50 + V} \quad 50 \leq V < 95 \quad (4.19)$$

$$\mu_{(35-50)} = \frac{6670 + 25 \cdot V}{50 + V} \quad 35 \leq V < 50 \quad (4.20)$$

$$\mu_{(30-35)} = \frac{6670 + 20 \cdot V}{50 + V} \quad 30 \leq V < 35 \quad (4.21)$$

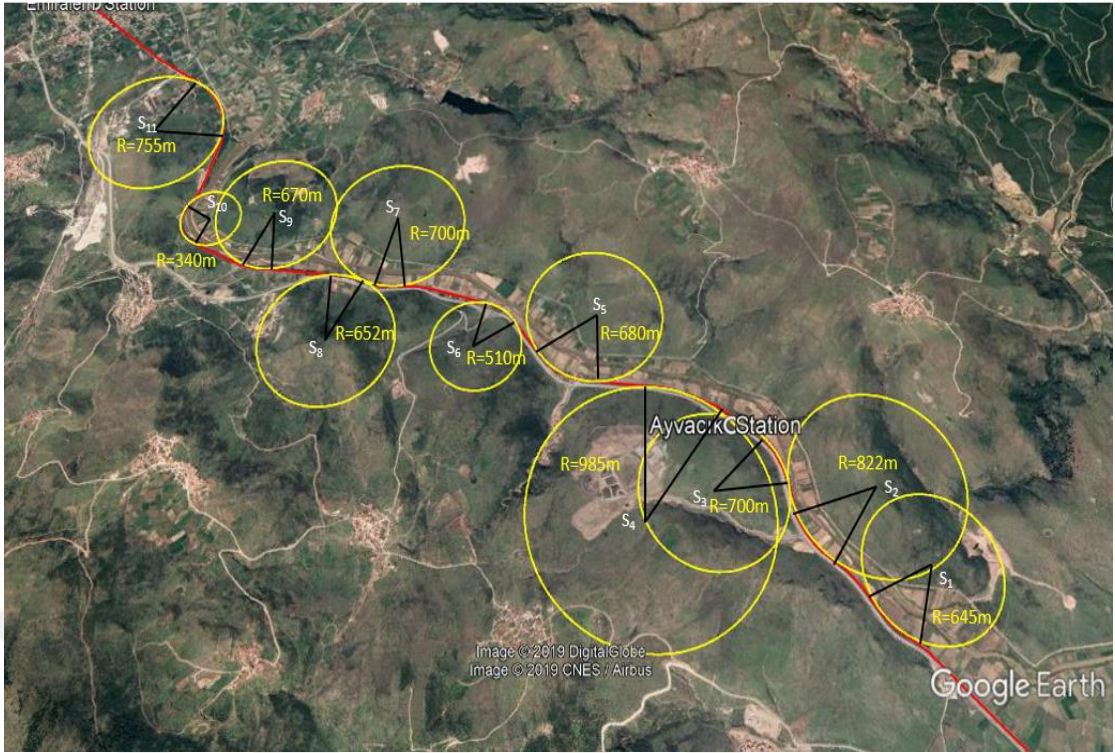
$$\mu_{(25-30)} = \frac{6670 + 15 \cdot V}{50 + V} \quad 25 \leq V < 30 \quad (4.22)$$

$$\mu_{(20-25)} = \frac{6670 + 5 \cdot V}{50 + V} \quad 20 \leq V < 25 \quad (4.23)$$

Demiryolu işletmeciliği çalışmasında bu bölümde verilen tren hareket ve direnç formülleri kullanılarak sefer süresi ve çeker yükleri hesaplanmaktadır.

4.4.4. Demiryolu Güzergah Araştırması

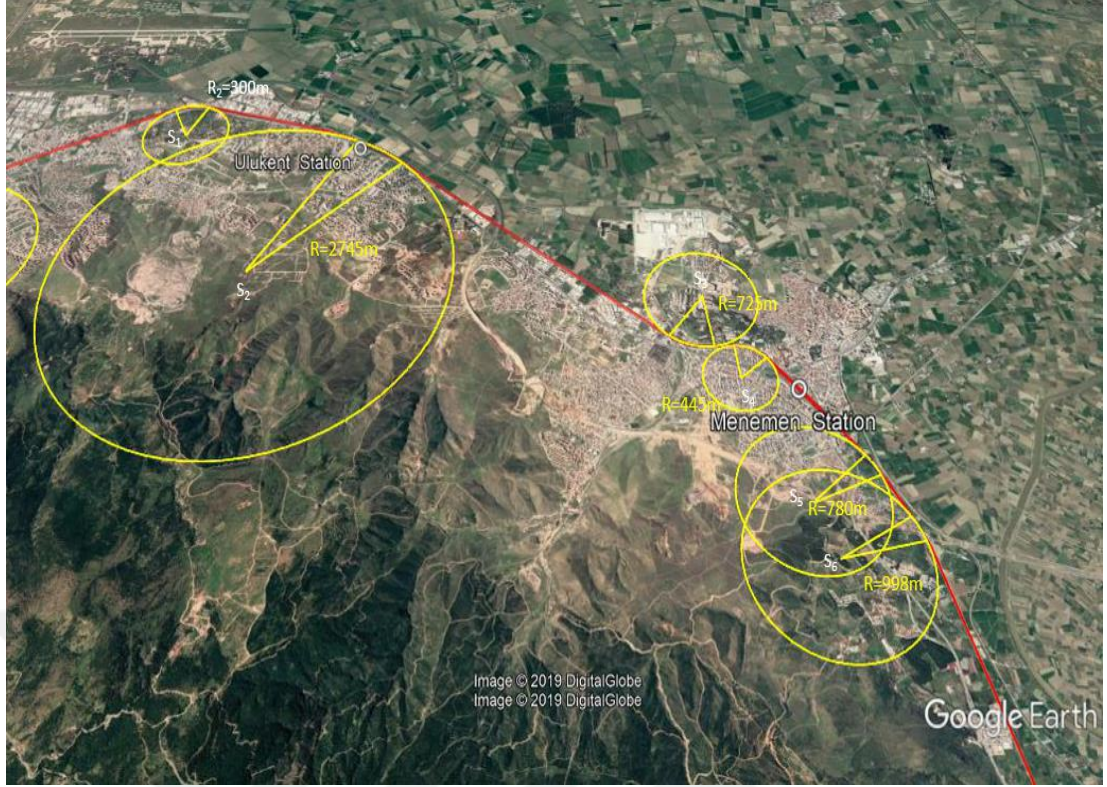
Çalışmada öncelikle demiryolu güzergahındaki yatay ve düşey kurpların belirlenmesi için güzergah analizi çalışması yapılmıştır. Çalışmada yüksek çözünürlüklü dijital yükseklik haritası ile “Google Maps Pro” yazılımı kullanılarak liman ve kuru liman arasındaki demiryolu güzergâhındaki yatay kurpların başlangıç, bitiş ve some noktaları belirlenmiştir. Yazılım vasıtası ile düşey profil kotları çıkartılarak lokomotif çeker hesapları için kesitlerdeki ortalama rampa eğimleri hesaplanmıştır. Muradiye ile Ayvacık istasyonları arasındaki demiryolu kesitleri için yapılan güzergah analizi çalışması Şekil 4.12’de görülmektedir. Alsancak limanı ile Turan istasyonu arasında yapılan güzergah analiz çalışması Şekil 4.13’de görülmektedir. Ulukent ile Menemen istasyonları arasında yapılan güzergah analiz çalışması Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.12. Muradiye Ayvacık istasyonları güzergah analizi



Şekil 4.13. Alsancak Limanı ile Turan istasyonu güzergah analizi



Şekil 4.14. Ulukent ile Menemen istasyonları güzergah analizi

Çalışmada liman ile kuru liman arasındaki demiryolu güzergahında bulunan istasyonlar, istasyon kilometreleri, sayding sayıları ve boyları Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Güzergah üzerindeki istasyonlar ve sayding bilgileri

#	İstasyon Adı	KM	Sayding Boyları (metre)			
			Sayd.1	Sayd.2	Sayd.3	Sayd.4
1	Halkapınar	2+705	650	650	561	624
2	Salhane	9+595	618	548.42		
3	Turan	7+731	809	719	719	
4	Karşıyaka	14+024	691	559.73	560	
5	Çiğli	17+141	659	704	729	726
6	Ulukent	24+450	817	594.6	528	
7	Menemen	31+634	1046	541	966	870
8	Emiralem	34+404	363	793.5	793	
9	Ayvacık	45+233	421	621.95	622	
10	Muradiye	55+953	1186	1175	1040	

Yapılan güzergah araştırması sonucunda demiryolu güzergahı üzerindeki kurplar belirlenmiş, demiryolu farklı değişen alıyman eğimleri için kesimlere

ayrılmıştır. Liman yönünde demiryolu hattında kot değişimlerinin bulunduğu kesimler belirlenerek bu kesitler için kot okumaları dijital yükseklik haritası üzerinden yapılmıştır. Kuru liman ile liman arası toplam 14 demiryolu kesimine bölünerek her kesim için eğim değerleri ve kesim içerisinde kalan minimum yarıçaplı kurpların yarıçap değerleri ve minimum kurba göre hız kısıt değerleri Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Demiryolu kesimleri için kot, eğim ve kurp karakteristikleri

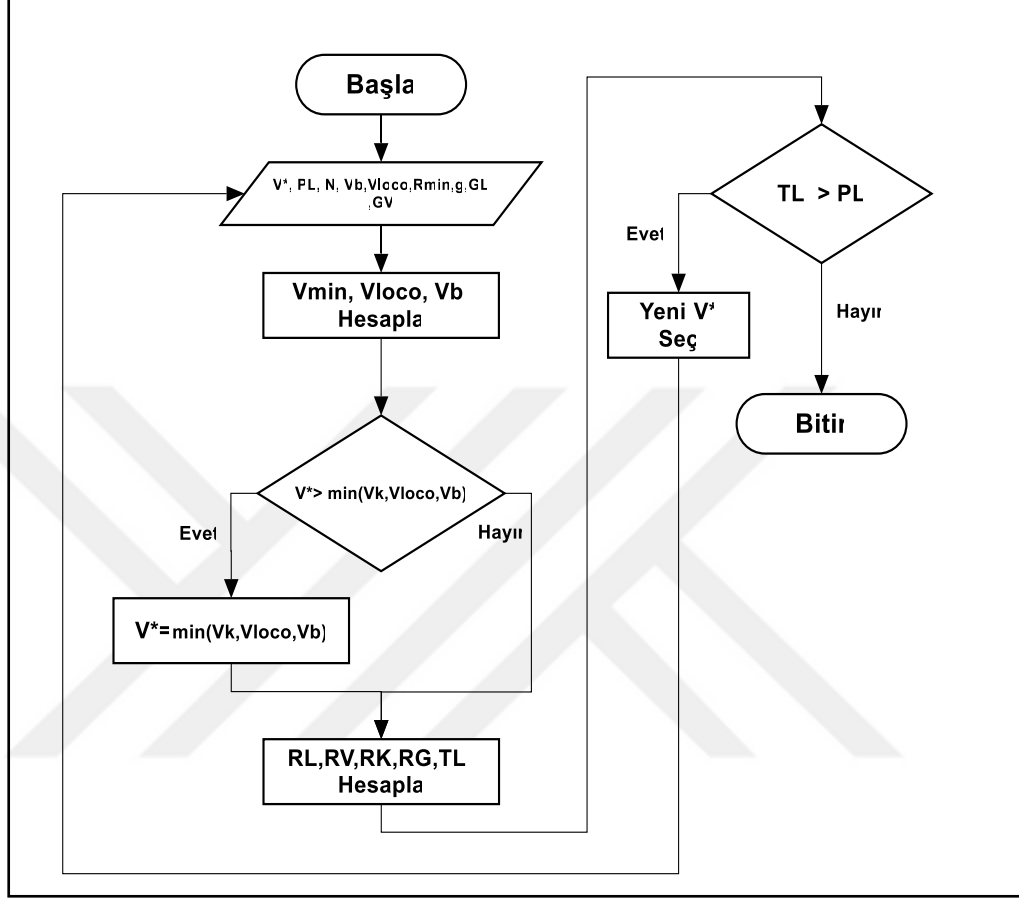
	KM	Kot (m)	Eğim (‰)	R _{min}	V _{max}
Kesit	0	32	-	-	-
1	2120	22	-4	680	104
2	4339	20	-1	700	106
3	6449	28	4	0	0
4	8558	24	-2	750	110
5	10800	22	-1	800	113
6	13300	31	4	695	105
7	16500	18	-4	650	102
8	18100	21	2	750	110
9	20800	11	-4	0	0
10	23700	19	3	0	0
11	28000	6	-3	445	84
12	34900	4	0	630	100
13	37900	9	2	1200	139
14	40200	1	-3	1250	141
15	43600	9	2	995	126
16	48740	6	-1	580	96
17	53700	1	-1	200	57

Tabloda R_{min} belirtilen demiryolu kesimi için minimum yarıçaplı kurbanın metre cinsinden yarı çap değeri, V_{max} belirtilen kurba değerine göre maksimum hızdır. Eğimler liman ve kuru liman yönüne birbirlerinin ters işaretleri olarak alınmaktadır.

4.4.5. Lokomotif Çeker Hesapları

Belirlenen demiryolu kısımları için trenlerin ortalama seyir sürelerinin hesaplanması öncelikle demiryolu çeker hesaplarının yapılmasına bağlıdır. Her kesim için kullanılan lokomotiflerin çekebileceği maksimum vagon sayısı veya bu kesimde yapabileceği maksimum hız, lokomotif CER gücü, tren fren karakteristiğinde bağlı olarak güvenli duruş mesafesi kriteri, dever durumuna bağlı olarak hız kısıtlaması,

vagon ve lokomotifin maksimum hızları ve kurplar için izin verilen maksimum işletmecilik hızları gibi bir çok değişkene doğrudan bağlıdır. Demiryolu kesimleri için kesim tren maksimum hız seçim algoritması Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Trenler için kesim hız seçim algoritması

Demiryolu kesimleri için maksimum hızlar Microsoft Excel yazılımı ile Hedef Ara fonksiyonu yardımı ile belirlenmiştir. Bu aşamada öncelikle V^* olarak belirlenen aday tren hızı için lokomotif ve vagon dirençleri, kurp ve dever durumlarına göre hesaplanarak toplam direnç ve lokomotif CER kuvveti ile eşitlenmeye çalışılmaktadır. Denklemden eşitliğin bulunmaması durumunda farklı bir V^* hızı kullanılmaktadır. Çalışmada her demiryolu kesim için tren maksimum hızları ve lokomotif çeker hesapları hesaplanmış, liman yönü için Tablo 4.8’de ve kuru liman yönü için Tablo 4.9’de sunulmuştur.

Tablo 4.8. DE33000 S=1000m $N_V=40$ $G_V=1420$ ton (Liman Yönü)

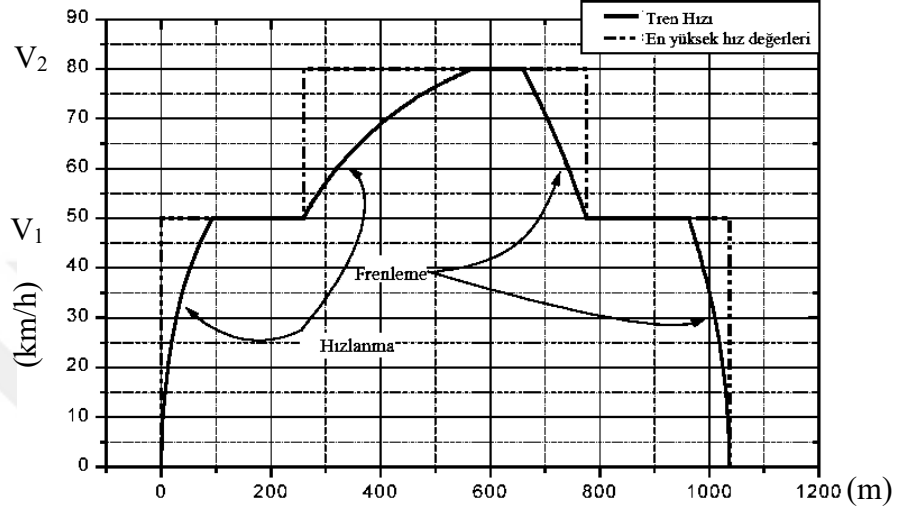
Section	r_l (daN/t)	R_l (daN)	r_v (daN/t)	R_v (daN)	r_k (daN/t)	R_k (daN)	r_r (daN/t)	R_r (daN)	R_T (daN)	P_L (kW)	Vt(km/h)	Φ	μ	r_{ort} (daN)	Vp (km/h)	V (km/h)	t_m (min)
1	7.30	875.84	8.310	11800	1.04	1602	-3.72	-5724	8554	2500	105	45.00	62.1	4.64	96	96	1.32
2	5.73	687.07	6.519	9257	1.01	1552	-0.90	-1388	10108	2500	89	45.00	63.0	4.45	93	89	1.50
3	4.11	493.16	4.718	6700	0.00	0	3.79	5839	13032	2500	69	45.00	64.7	4.14	87	69	1.83
4	6.30	755.74	7.167	10177	0.94	1440	-1.90	-2921	9453	2500	95	45.00	62.7	4.52	94	94	1.35
5	5.79	694.90	6.593	9362	0.87	1344	-0.89	-1374	10026	2500	90	45.00	63.0	4.45	93	90	1.50
6	3.83	459.55	4.413	6266	1.02	1564	3.60	5544	13834	2500	65	45.00	64.6	4.15	87	65	2.31
7	7.48	897.42	8.517	12094	1.09	1682	-4.06	-6256	8417	2500	107	45.00	62.0	4.66	97	97	1.99
8	4.48	537.86	5.129	7283	0.94	1440	1.88	2888	12148	2500	74	45.00	64.0	4.27	89	74	1.30
9	7.94	952.65	9.046	12846	0.00	0	-3.70	-5704	8095	2500	111	45.00	62.1	4.64	96	96	1.69
10	4.50	540.35	5.152	7315	0.00	0	2.76	4248	12104	2500	74	45.00	64.3	4.21	88	74	2.34
11	6.52	782.39	7.420	10536	1.67	2567	-3.02	-4656	9230	2500	98	45.00	62.3	4.59	95	95	2.71
12	5.36	642.91	6.105	8668	1.13	1741	-0.29	-446	10606	2500	85	45.00	63.2	4.41	92	85	4.88
13	4.72	566.48	5.393	7658	0.57	874	1.67	2567	11665	2500	77	45.00	63.9	4.28	89	77	2.33
14	7.46	894.77	8.491	12058	0.54	838	-3.48	-5357	8434	2500	107	45.00	62.2	4.62	96	96	1.44
15	4.39	526.72	5.026	7137	0.69	1065	2.35	3624	12352	2500	73	45.00	64.1	4.24	88	73	2.80
16	5.45	653.86	6.207	8814	1.24	1907	-0.58	-899	10476	2500	86	45.00	63.1	4.43	92	86	3.59
17	4.23	507.03	4.845	6880	4.48	6903	-1.01	-1552	12738	2500	71	45.00	63.0	4.46	93	71	4.21

Tablo 4.9. DE33000 S=1000m $N_V=40$ $G_V=1420$ ton (Kuru Liman Yönü)

Section	r_l (daN/t)	R_l (daN)	r_v (daN/t)	R_v (daN)	r_k (daN/t)	R_k (daN)	r_r (daN/t)	R_r (daN)	R_T (daN)	P_L (kW)	Vt(km/h)	Φ	μ	r_{ort} (daN)	Vp (km/h)	V (km/h)	t_m (min)
1	3.78	454.14	4.364	6196	1.04	1602	3.72	5724	13976	2500	64	45.00	64.7	4.15	87	64	1.98
2	4.86	583.42	5.550	7881	1.01	1552	0.90	1388	11404	2500	79	45.00	63.6	4.33	90	79	1.69
3	7.99	959.37	9.111	12937	0.00	0	-3.79	-5839	8058	2500	112	45.00	62.1	4.64	96	96	1.13
4	4.47	536.82	5.119	7269	0.94	1440	1.90	2921	12167	2500	74	45.00	64.0	4.27	89	74	1.71
5	4.93	591.12	5.622	7983	0.87	1344	0.89	1374	11291	2500	80	45.00	63.6	4.33	90	80	1.69
6	7.24	869.08	8.246	11709	1.02	1564	-3.60	-5544	8598	2500	105	45.00	62.1	4.63	96	96	1.43
7	3.66	439.44	4.231	6008	1.09	1682	4.06	6256	14386	2500	63	45.00	64.8	4.12	86	63	3.07
8	6.29	754.30	7.154	10158	0.94	1440	-1.88	-2888	9465	2500	95	45.00	62.7	4.52	94	94	1.01
9	4.14	496.95	4.753	6749	0.00	0	3.70	5704	12950	2500	69	45.00	64.7	4.15	87	69	2.33
10	7.35	881.82	8.367	11882	0.00	0	-2.76	-4248	8515	2500	106	45.00	62.4	4.57	95	95	1.65
11	3.81	456.69	4.387	6229	1.67	2567	3.02	4656	13908	2500	65	45.00	64.4	4.19	88	65	3.99
12	5.08	609.91	5.796	8231	1.13	1741	0.29	446	11028	2500	82	45.00	63.4	4.37	91	82	5.07
13	6.37	764.95	7.254	10301	0.57	874	-1.67	-2567	9374	2500	96	45.00	62.8	4.50	94	94	1.87
14	4.03	483.39	4.629	6574	0.54	838	3.48	5357	13251	2500	68	45.00	64.6	4.16	87	68	2.03
15	6.69	803.39	7.619	10820	0.69	1065	-2.35	-3624	9064	2500	99	45.00	62.5	4.55	94	94	2.05
16	4.90	588.06	5.593	7942	1.24	1907	0.58	899	11336	2500	79	45.00	63.5	4.35	91	79	3.88
17	3.56	427.65	4.125	5857	4.48	6903	1.01	1552	14741	2500	61	45.00	63.7	4.32	90	61	4.87

4.4.6. Tren Sefer Simülasyonu

Demiryolu kesitlerindeki maksimum tren hızları kullanılarak demiryolu işletme çalışması yapılacak ve tren toplam sefer süreleri belirlenecektir. Her ne kadar kesitlerdeki maksimum tren hızları belirlenmiş olsa da trenlerin kesitler arasında hızlanıp yavaşlamaları göz önüne alınmamıştır. Tipik bir trenin güzergah boyunca hız değişimleri Şekil 4.16’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Tipik bir trenin güzergah boyunca hız değişimleri [57]

Şekilde en yüksek hız değerleri ve tren hızlanma, yavaşlama eğrileri gösterilmiştir. Trenin iki hedef hız arasında hızlanma veya yavaşlama süresince kat ettiği yol için Denklem (4.24) kullanılabilir.

$$L_{12} = 4 \cdot \frac{|(V_2^2 - V_1^2)|}{a_f} \quad (4.24)$$

L_{12} : Trenin V_1 ve V_2 arasındaki hız değişimi süresince kat ettiği yol (m)

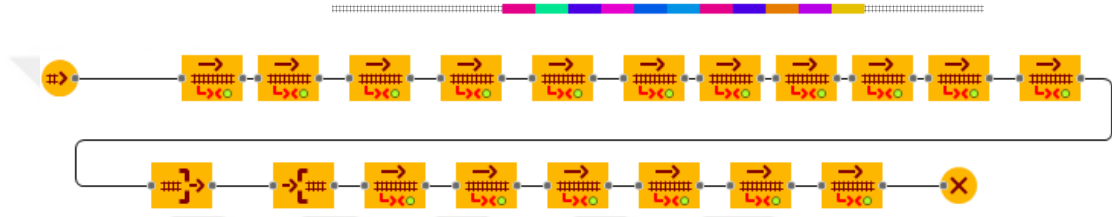
a_f : Tren ortalama ivmesi (m/s^2)

Trenin V_1 ile V_2 hızları arasındaki hız değişimi süresince geçen süre denklem 4.25 ile hesaplanabilir:

$$t_{ij} = 30 \cdot \frac{(V_2 - V_1)}{a_f} \quad (4.25)$$

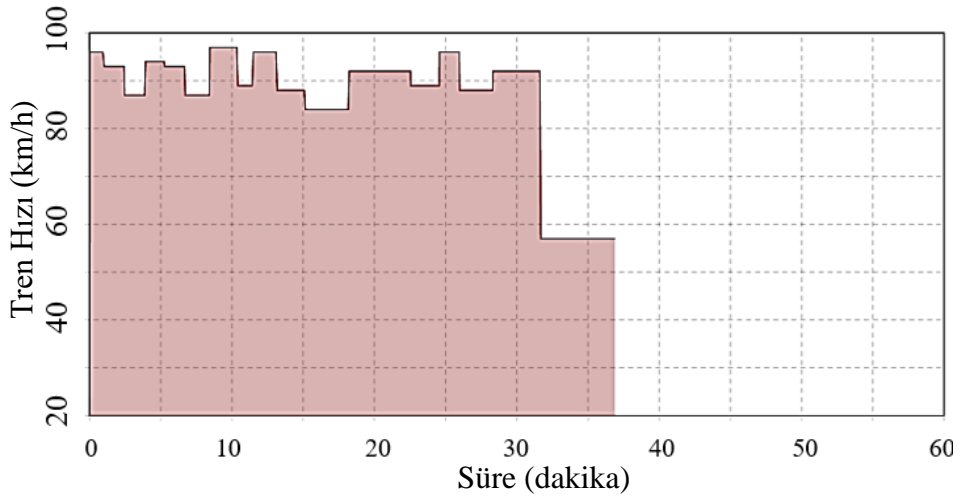
t_{ij} : Trenin iki hedef hız arasındaki hız değişimi süresince geçen süre (sn)

Belirtilen denklemler ile tren hareketindeki hızlanma ve yavaşlanma kesimleri analitik olarak hesaplanabilmekle beraber, trenin hareketinin ayrıntılı olarak belirlenmesi için bir demiryolu simülasyon çalışması da yapılabilmektedir. Demiryolu kesitlerindeki maksimum tren hızları belirlendikten trenlerin toplam sefer sürelerinin belirlenmesi için bir demiryolu simülasyon modeli hazırlanmıştır. Model nesne tabanlı Anylogic simülasyon programı ile özgün Java kodu yazılarak kesimlerin simülasyon ortamında demiryolu hattı olarak çizilmesiyle tasarlanmıştır. Tasarlanan simülasyon modeli Şekil 4.17’de görülmektedir.

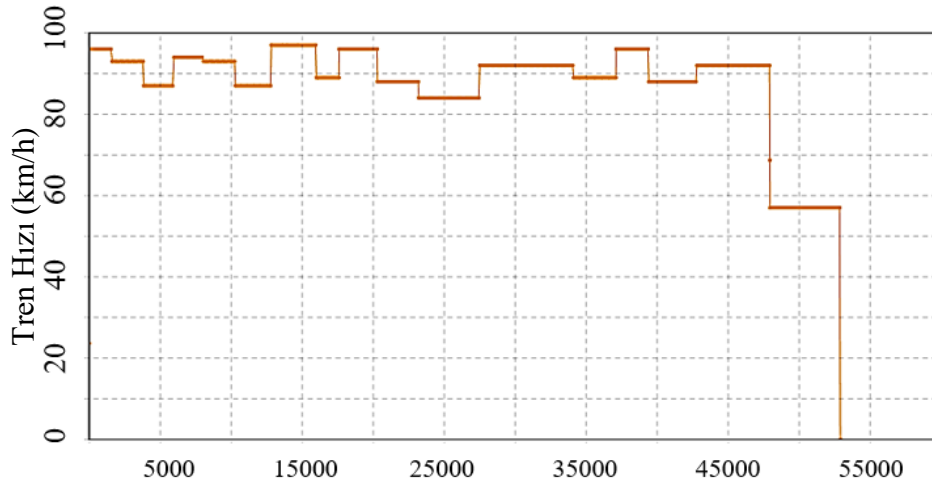


Şekil 4.17. Tren sefer simülasyonu için hazırlanan simülasyon blokları ve tren

Simülasyon modelinin öncelikle doğrulanması amacıyla trenlere ilk olarak yüksek hızlanma ve yavaşlama ivme değerleri verilerek hız zaman ve yol zaman grafikleri çizilmiştir. Çok yüksek mertebede verilen hızlanma ve yavaşlama ivmeleri sayesinde, trenler demiryolu kısımlarında teorik hızlarında benzer bir şekilde yol almaktadırlar. Hız zaman ve yol zaman grafikleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’de görülmektedir.

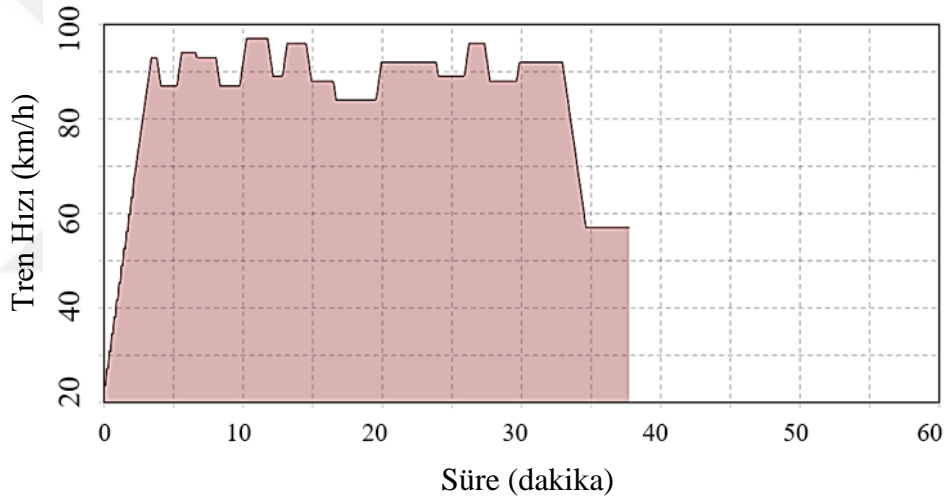


Şekil 4.18. Trenin yüksek ivme için hız zaman grafiği

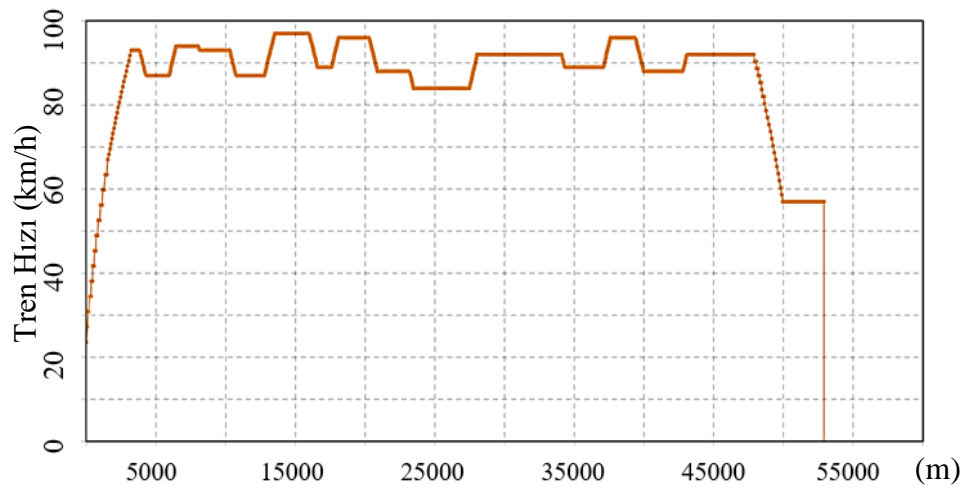


Şekil 4.19. Trenlerin yüksek ivme için hız yol grafiği

0.1 m/s² ivmesi için tren hız zaman ve hız km grafikleri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 de görülmektedir. (m)



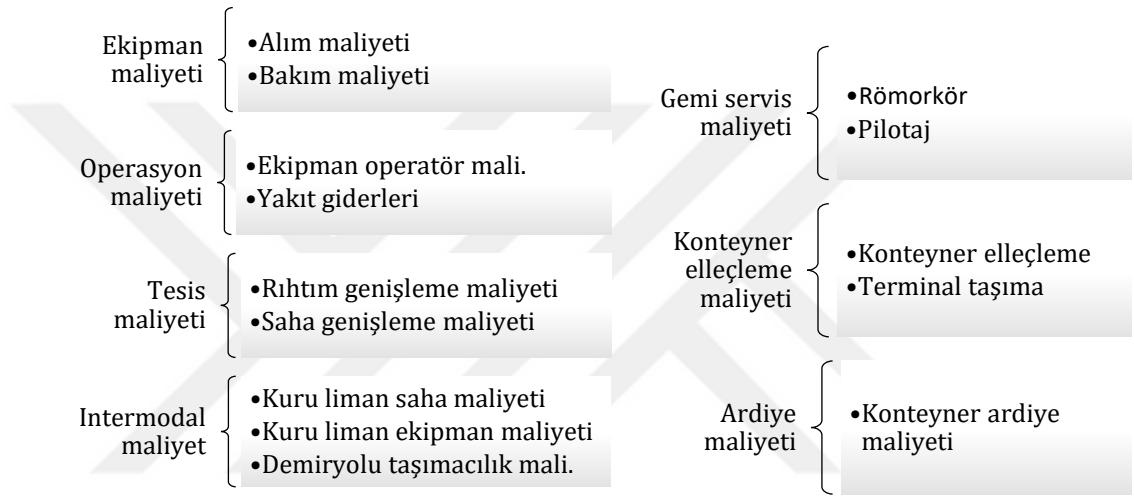
Şekil 4.20. 0.1 m/s² ivmesi için hız – zaman grafiği



Şekil 4.21. 0.1 m/s² ivmesi için hız yol grafiği

4.5. Maliyet Modeli

Bu çalışmada farklı alternatifler arasında karar vermek için özgün bir intermodal liman maliyet modeli geliştirilmiştir. Maliyet modelinde, terminal maliyetleri, demiryolu taşımacılığı maliyeti, kuru liman işletmeciliği maliyeti ve konteynerlerin zamanında teslim edilememesi veya tampon sahada konaklatılması gibi temel maliyetler hesaplanmıştır. Bununla beraber terminalin yıllık kazancının hesaplanması için de özgün bir terminal gelir modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelinin maliyet ve gelir kalemleri aşağıdaki Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Geliştirilen modelinin maliyet ve gelir kalemleri

Geliştirilen maliyet modelinde özellikle maliyet giderleri en ekonomik taşımacılık modelinin seçilmesi için kullanılacaktır.

4.5.1. Rıhtım Maliyet Modeli

DES1 ve DES2 modeli için rıhtım optimizasyon hesabında kullanılan maliyet modeli boş kalan rıhtımın gün bazında maliyeti ve bekleyen gemilerin demuraj maliyeti kullanılarak hesaplanır [58] Toplam maliyet Denklem (4.26) ile hesaplanır:

$$C_R^T = \sum_{i=0}^{N-M} (L_B - L_B^i) c_r + \sum_{i=0}^M c_{dm} D_i^w \quad (4.26)$$

Denklemden, C_R^T : Toplam yıllık rıhtım maliyeti, M : rıhtım uzunluğunun yetersiz olduğu gün sayısı, D_i^W gemilerin günlük toplam bekleme süresi, L_B : rıhtım tasarım uzunluğu, L_B^i : günlük ortalama rıhtım işgal uzunluğu, c_r : atıl rıhtım maliyeti ve c_{dm} gemi demuraj maliyetidir.

4.5.2. Liman Stok Sahası Maliyet Modeli

Stok saha kapasitesinin belirlenmesi için konteyneri slotu bazında bir yaklaşıma gidilmiştir. Optimum stok saha kapasitesinin tayininde günlük atıl konteyner slot maliyetleri ile sahanın yetersiz kalması durumunda tampon stok sahası günlük slot maliyetlerinin kullanıldığı Denklem (4.27) deki gibidir [59]

$$C_S^T = c_b^p \sum_{i=1}^{N-S_b} (Q_i - Q_s) + c_s^p \sum_{i=1}^{S_b} (Q_s - Q_i) \quad (4.27)$$

Denklemden C_S^T : stok sahası yıllık maliyeti, c_s^p : liman slot atıl kalma maliyeti (\$/gün), c_b^p : Liman tampon stok sahası maliyeti (\$/gün), Q_s : stok saha slot kapasitesi, Q_i : stok sahasında bulunan konteyner sayısı, S_b : sahanın boş olduğu gün sayısı, N : toplam gün sayısıdır.

4.5.3. Kuru Liman Stok Sahası Maliyet Modeli

Kuru liman saha kapasitesinin belirlenmesi için konteyneri slotu bazında bir yaklaşıma gidilmiştir. Optimum stok saha kapasitesinin tayininde günlük atıl konteyner slot maliyetleri ile sahanın yetersiz kalması durumunda tampon stok sahası günlük slot maliyetlerinin kullanıldığı Denklem (4.28) deki gibidir:

$$C_{SD}^T = c_b^d \sum_{i=1}^{N-S_b} (G_i - G_s) + c_s^d \sum_{i=1}^{S_b} (G_s - G_i) \quad (4.28)$$

Denklemden C_{SD}^T : kuru liman stok sahası yıllık maliyeti, c_s^d : kuru liman slot atıl kalma maliyeti (\$/gün), c_b^d : tampon stok sahası slot maliyeti, G_s : stok saha slot kapasitesi, G_i : stok sahasında bulunan konteyner sayısı, S_b : sahanın boş olduğu gün sayısı, N : toplam gün sayısıdır.

4.5.4. Demiryolu Taşımacılığı Maliyet Modeli

Demiryolu taşımacılığı maliyet modeli DES2 modeli için liman stok sahası ile kuru liman arasında işletilecek trenler için konteyner taşımacılık modelidir. Demiryolu taşımacılık maliyet Denklem (4.29) aracılığıyla hesaplanır:

$$C_D^T = \sum_{i=1}^{E[N_c^{im}]} c_{t1} G_i^m + \sum_{j=1}^{E[N_c^{ex}]} c_{t2} G_j^e \quad (4.29)$$

Denklemden c_{t1} ve c_{t2} ton başına yük taşıma maliyeti G_i^m ve G_j^e ise konteyner ağırlığıdır.

4.5.5. Yıllık Toplam Maliyet Modeli

Yıllık maliyet C_T kuru limanlı ve sadece liman gelişim senaryosuna göre Denklem (4.30) ile hesaplanır.

$$C_T = \begin{cases} C_P & \text{DES1 için} \\ C_P + C_D & \text{DES2 için} \end{cases} \quad (4.30)$$

Denklemden, C_P liman yıllık maliyeti ve C_D is kuru liman yıllık maliyettir. Kuru liman için geliştirilen yıllık toplam maliyet denklemi Denklem (4.31), liman için geliştirilen yıllık maliyet denklemi Denklem (4.32), liman için stok sahası maliyeti Denklem (4.33) ve kuru liman için stok sahası maliyeti Denklem (4.34) sırasıyla:

$$C_D = \left\{ m_{st} \sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^{N_{std}^t} C_{bd}^j + \sum_{i=1}^{N_{rs}^n} r_{rs} c_{rs} + \sum_{i=1}^{N_{rs}^e} m_{rs} c_{rs} + \sum_{i=1}^{N_{rtgd}^n} r_{rtgd} c_{rtgd} + \sum_{i=1}^{(E[N_c^{im}] + E[N_c^{ex}])} (c_{rtdo} + c_{rs} + c_{tr} + c_{trd}) \right\} \quad (4.31)$$

$$\begin{aligned}
C_P = & m_{st} \sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^{N_{st}^t} C_b^j + \sum_{i=1}^{N_{gc}^n} r_{gc} c_{gc} + \sum_{i=1}^{N_{gc}^e} m_{gc} c_{gc} + \sum_{i=1}^{N_{rtg}^n} r_{rtg} c_{rtg} + \\
& \sum_{i=1}^{N_{rtg}^e} m_{rtg} c_{rtg} + \sum_{i=1}^{N_{brt}} (c_{go} + c_{rto} + c_{tr}) \\
& + \sum_i^{N_{brt}} L_{b,i}^n c_b r_b + \sum_i^{N_{brt}} m_b L_{b,i}^e c_b
\end{aligned} \tag{4.32}$$

$$C_b^j = ((c_{fl} + c_{sc}) \times [(w_r \times (E[N_{rd}^{im}] + E[N_{rd}^{ex}]) + w_{hd}) + w_h] \times (w_{cl})) \tag{4.33}$$

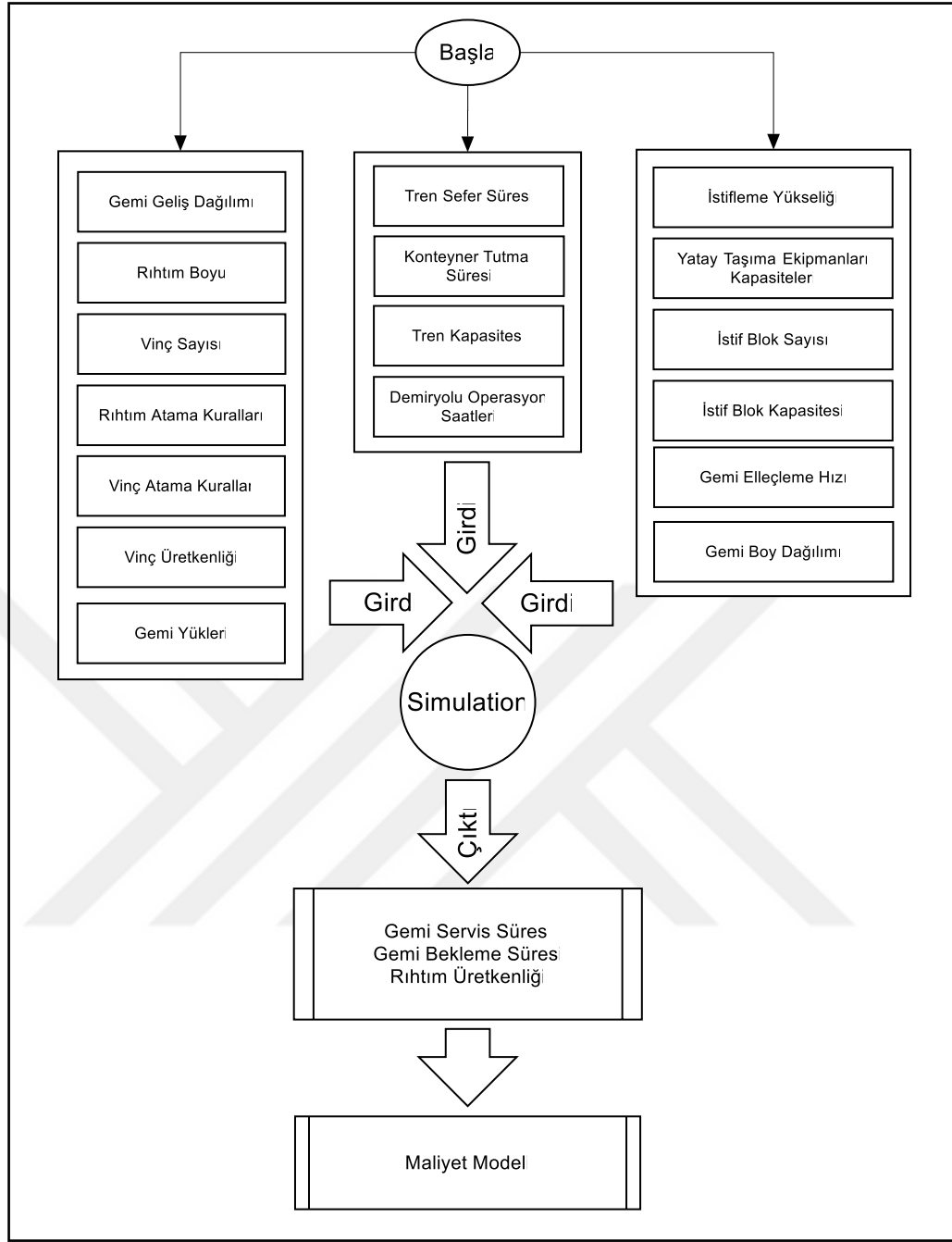
$$C_{bd}^j = ((c_{fld} + c_{scd}) \times [(w_r \times E[N_d^t] + w_{hd}) + w_h] \times (N_{td}^i w_{cl})) \tag{4.34}$$

Model maliyet analizlerinde kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Burada; dikkate alınan parametreler; $N_{std}^1(E[N_c^{im}])$: kuru limandaki ithal konteyner blok sayısı, $N_{std}^2(E[N_c^{ex}])$: kuru limandaki ihraç konteyner blok sayısı, C_{bd}^1 : kuru limandaki ithal blok yıllık maliyeti, C_{bd}^2 : kuru limandaki ihraç blok yıllık maliyeti, N_{rs}^n : Yıl içinde alınan RS sayısı, N_{rs}^e : Mevcut RS sayısı, r_{rs} : RS yıllık amortisman oranı, c_{rs} : RS birim maliyeti, m_{rs} , m_{rtg} : RS ve RTG bakım oranları, N_{rtgd}^n , N_{rtgd}^e ; yıl içinde alınan ve mevcut RTG sayıları, c_{rtg} : RTG birim maliyeti, r_{rtg} : RTG yıllık amortisman oranı, c_{rtdo} : RTG konteyner başına operasyon maliyeti, c_{rs} : RS konteyner başına operasyon maliyeti, c_{trd} : TK konteyner başına operasyon maliyeti, c_{tr} : Mekik tren taşımacılık maliyeti, c_b : Rıhtım genişleme birim maliyeti (\$/m), r_b : Rıhtım yıllık amortisman oranıdır.

4.6. DES Modelinin Alsancak Limanı Uygulaması

Geliştirilen DES1 ve DES2 modeli ile yapılacak işletme çalışmalarında kullanılacak veri setleri ve model çıktıları

Şekil 4.23'de görülmektedir. Çalışmada DES modellerine rıhtım, stok sahası, tren operasyonu ve kuru liman işletmeciliği için İzmir Alsancak limanına özgü olarak türetilen girdi parametreleri girilerek simülasyon çıktıları elde edilecektir.



Şekil 4.23. DES modelinin çalışmada kullanımı, girdi ve çıktılar

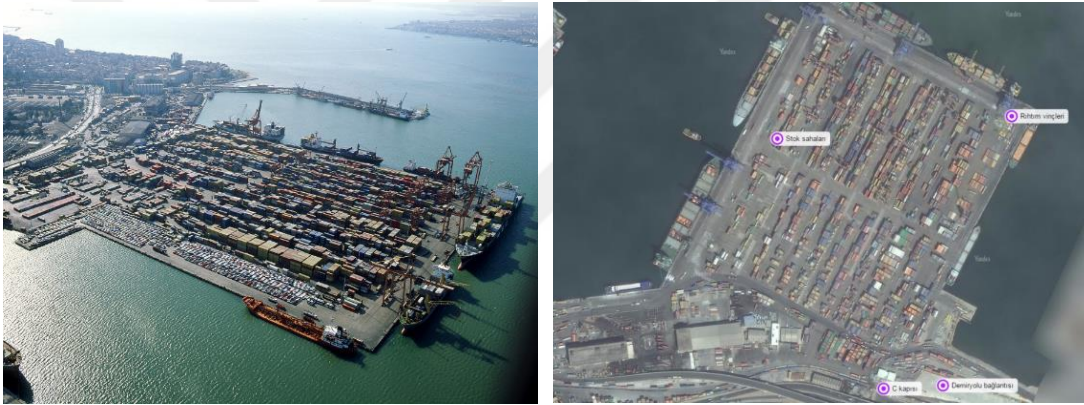
Simülasyon çıktıları maliyet modeli kullanılarak farklı işletmecilik senaryoları arasındaki farkların ortaya konması amacıyla konteyner başına ortaya çıkan işletmecilik maliyetleri değerlendirilecektir.

4.6.1. İzmir Alsancak Limanının Durumu ve Konteyner Taşımacılığı

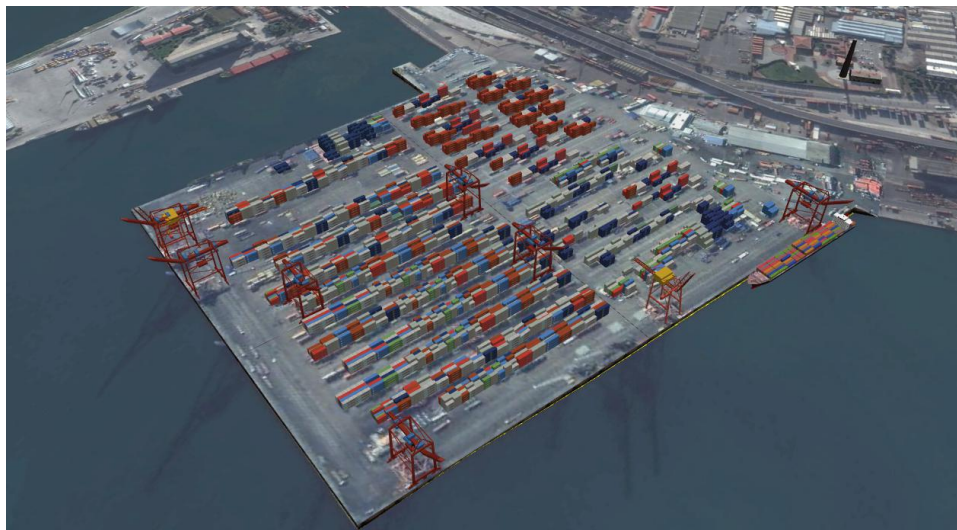
İzmir, Ege bölgesinin batı kıyısında bulunmakta olup, nüfus yoğunluğu bakımından Türkiye'nin üçüncü büyük şehridir. İzmir Alsancak Limanı, bölge

ihracatının yaklaşık %90'ının, ülke ihracatının ise yaklaşık %30'unun gerçekleştirildiği doğal bir limandır. Liman öncelikli olarak Ege Bölgesi olmak üzere, Marmara Bölgesi'nin güneyi, Anadolu ve Akdeniz Bölgesi'nin batısındaki dış ticaret şirketlerinin ihracat ve ithalat için kullandığı en önemli konteyner limanıdır.

TCDD İzmir Alsancak Limanı, İzmir İli, Konak İlçesi, İzmir Körfezinde içerisinde yer almaktadır Proje alanı $38^{\circ} 26' 39.25''$ Kuzey Enlemi ile $27^{\circ} 09' 17.39''$ Doğu Boylamında bulunmaktadır. Geniş bir hinterlanda sahip olan İzmir Alsancak limanı deniz ulaşımı açısından Ege denizinin merkezinde Karadeniz – Akdeniz rotası üzerinde bulunmaktadır. İzmir körfezinin coğrafi yapısı sayesinde doğal bir liman niteliğinde olan İzmir Alsancak limanı yılın 12 ayı boyunca kesintisiz hizmet verebilmektedir. Alsancak Limanının hava ve uydu fotoğrafları Şekil 4.24'de ve 3B modeli ise Şekil 4.25'de görülmektedir.



Şekil 4.24. Alsancak Limanının hava ve uydu fotoğrafları (maps.google.com)



Şekil 4.25. Alsancak Limanının 3B modeli [60]

Limanın temel yükleri içerisinde konteyner, genel kargo ve tekerlekli yükler önemli yer tutmaktadır. Genel vaziyet planında da gösterildiği üzere Alsancak Limanında 13 ile 22 no'lu rıhtım bölgelerinde konteyner gemileri elleçlenebilmektedir. Alsancak limanındaki rıhtımların tahsis özellikler tasarım derinlikleri ve mevcut derinlikleri, Tablo 4.10'da gösterilmektedir.

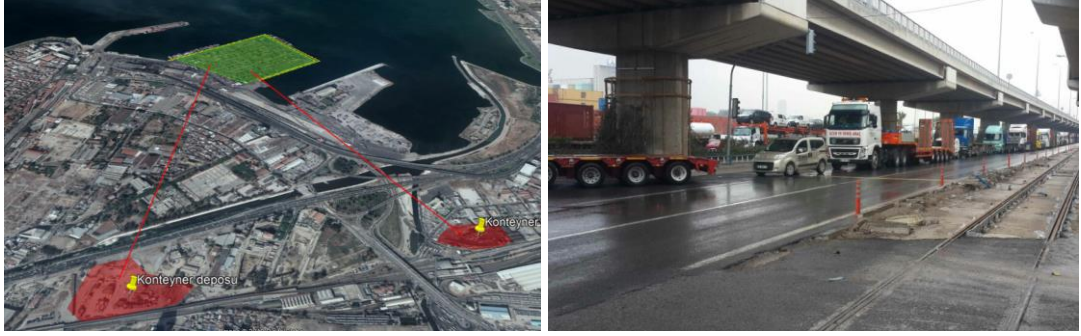
Tablo 4.10. Alsancak limanındaki rıhtımlar ve kullanım amaçları

No	Tip*	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Derinlik (m)	No	Tip	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Derinlik (m)
1	Yolcu	140	16	7	13	Kont.	143	26	9.5
2	Yolcu	191	16	8	14	Kont.	143	26	10
3	GKDY	139	20	10.5	15	Kont.	144	26	10
4	GKDY	125	20	10.5	16	Kont.	170	30	10
5	GKDY	153	31	10.5	17	Kont.	153	30	10
6	GKDY	75	20	10	18	Kont.	144	30	10
7	GKDY	125	20	9.5	19	Kont.	153	30	10
8	GKDY	120	20	9.5	20	Kont.	117	30	10.5
9	GKDY	127	13	9.5	21	Kont.	126	30	10.5
10	GKDY	127	13	6	22	Kont.	121	30	10.5
11	GKDY	97	13	7	23	GKDY	212	20	10
12	GKDY	125	26	8	24	GKDY	216	20	10

*GKDY: Genel kargo ve dökme yük rıhtımı, Kont.: Konteyner rıhtımı

Toplam 3,386 metre rıhtım uzunluğuna sahip olan İzmir Alsancak limanınının 1 ve 2 numaralı rıhtımları yolcu rıhtımı olarak belirlenmiştir. Konteyner yüküne ilişkin olan toplam konteyner gemilerinin rıhtım uzunluğu 1350 metre olarak ayrılmıştır.

Mevcut durumda İzmir Alsancak limanındaki konteyner lojistiği kaynaklı problemler liman başkanlığından yapılan görüşmeler ve saha gözlemleri ile incelenmiştir. Limanın en büyük problemi araştırmalarda mevcut lojistik operasyonları sağlıklı bir şekilde sürdürebilmek için gerekli olan yer sıkıntısı ve geleceğe yönelik kapasite artışı sınırlamalarıdır. Mevcut durumda limanın stok saha yetersizliği nedeni ile depolama sahaları liman dışına çıkmıştır. Şekil 4.26 (a)'da liman çevresindeki konteyner depolama sahaları gösterilmiştir.



Şekil 4.26. (a) Liman çevresi konteyner sahaları (b) Liman kamyon kuyruğu

Limana kaynaklı diğer bir önemli sıkıntı ise limandaki lojistik operasyonlardan kaynaklanan kamyon trafiğinin kent içerisine girmesidir. Özellikle liman çevresinde ve bağlantı yollarında ağır araç trafiği nedeniyle trafik sıkışıklığı önemli ölçüde artmaktadır. İncelemelerde görülmüştür ki mevcut durumda kente kamyon girişlerinin belirli saat sınırlamalarına tabi tutulması bile trafik sıkışıklığının azaltılmasına önemli bir etkisi bulunmamaktadır.

Limana çevresi detaylı olarak incelendiğinde, özellikle liman giriş kapılarında ve çevre viyadüklerde kamyon kuyrukları dikkat çekmektedir. Liman başkanlığından alınan bilgiler doğrultusunda, limanın işleyişini yavaşlatıldığı veya ani yük talebinin doğduğu durumlarda kamyon kuyruklarının uzunluğu önemli bir mertebeye ulaşmakta ve kent ulaştırma altyapısında sıkışıklığa neden olmaktadır. Liman kapısında bekleyen kamyonlar Şekil 4.26 (b) 'de görülmektedir.

4.6.2. İzmir Alsancak Limanına İlişkin İstatistikler

Limanda elleçlenen kargo (konteyner + dökme kargo) ton cinsindedir. 2018 yılı için demiryolu ile transfer edilen yük miktarı ve vagon sayısı Tablo 4.11'da gösterilmiştir.

Tablo 4.11. 2018 yılı liman demiryolu ile transfer edilen yük miktarı [61]

Aylar	Boşaltma (TON)					Yükleme (TON)					Vagon
	Karayolu	%	Demiryolu	%	Toplam	Karayolu	%	Demiryolu	%	Toplam	
1	298,288	95	15,834	5%	314,122	294,043	85	50,945	14.8	344,988	2,494
2	371,744	95	18,845	5%	390,589	310,458	82	69,140	18.2	379,598	3,307
3	413,133	96	16,176	4%	429,309	345,282	86	58,420	14.5	403,702	3,097
4	424,546	96	15,567	4%	440,113	355,266	83	73,940	17.2	429,206	9,516
5	426,453	96	18,729	4%	445,182	401,479	84	74,000	15.6	475,479	3,653
6	407,533	93	29,901	7%	437,434	474,245	83	100,044	17.4	574,289	6,561
7	401,488	96	17,624	4%	419,112	304,781	78	84,643	21.7	389,424	5,357
8	361,099	79	94,190	21%	455,289	554,379	95	29,199	5	583,578	6,562
9	273,784	75	90,256	25%	364,040	430,633	95	21,313	4.7	451,946	5,863
10	291,677	70	123,559	30%	415,236	569,721	95	27,021	4.5	596,742	7,109
11	312,002	78	88,456	22%	400,458	420,282	94	25,578	5.7	445,860	5,699
12	331,656	78	92,760	21.9	424,416	462,587	96	18,181	3.8	480,768	5,672

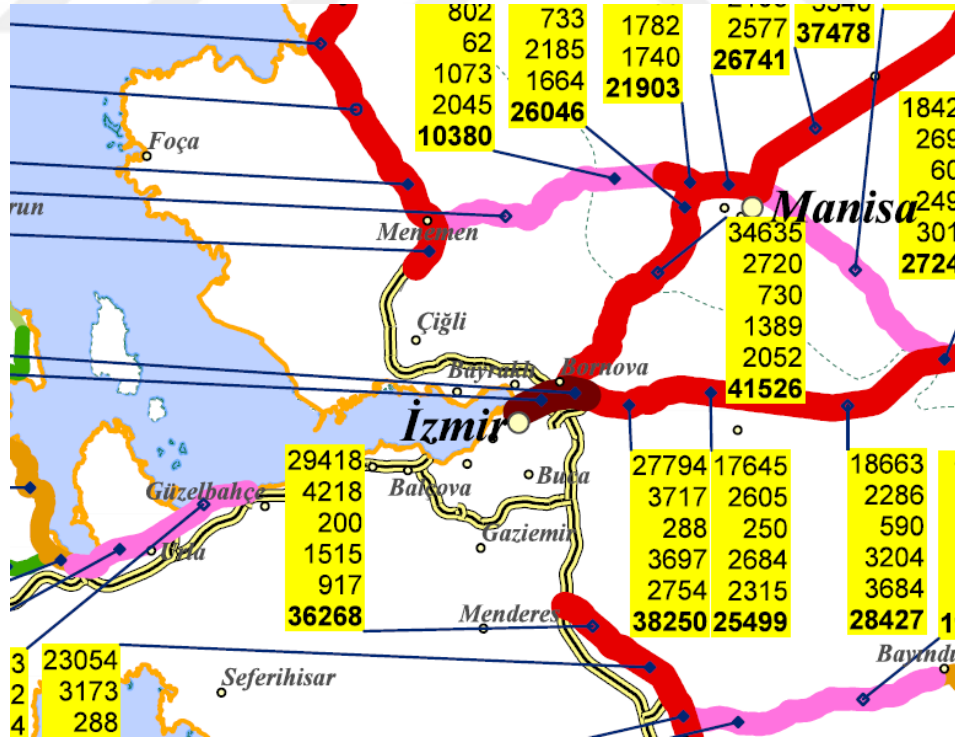
Limana bağlantılı demiryolu taşımacılığına bakıldığında limana gelen ve giden demiryolu kökenli kargoların yüzdeleri sırasıyla %12 ve %11'dir. Limanın diğer taşımacılık ağı da karayolu taşımacılığıdır. Benzer oranlar dikkate alındığında karayolu taşımacılık ağıyla bağlantılı kargo yüzdeleri sırasıyla %88 ve %89'dur. Geliştirilen DES modelleri taşımacılığın büyük oranda demiryoluna ağına sebep olacaktır. Özellikle DES2 modelinde kargonun tamamı demiryoluyla limana ulaşacak ve limandan ayrılacak biçimde tasarlanmıştır.

4.6.2.1 Kent İçi Ulaşım İstatistikleri

İzmir kentinin ulaşım ağı ile bağlantılı karayolları hatları; İstanbul Hattı, Ankara hattı, Muğla Hattı ve Aydın Hatlarıdır. Şekil 4.27’de Türkiye limanlarına karayolu bağlantılı ulaşım ağları görülmektedir. İzmir kentine hinterlandtan gelen ve kentten hinterlanda giden iki yönlü yıllık ortalama günlük taşıt istatistikleri yıllık ortalama günlük trafik cinsinden Şekil 4.28’da gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Türkiye limanlarına karayolu bağlantılı ulaşım hatları



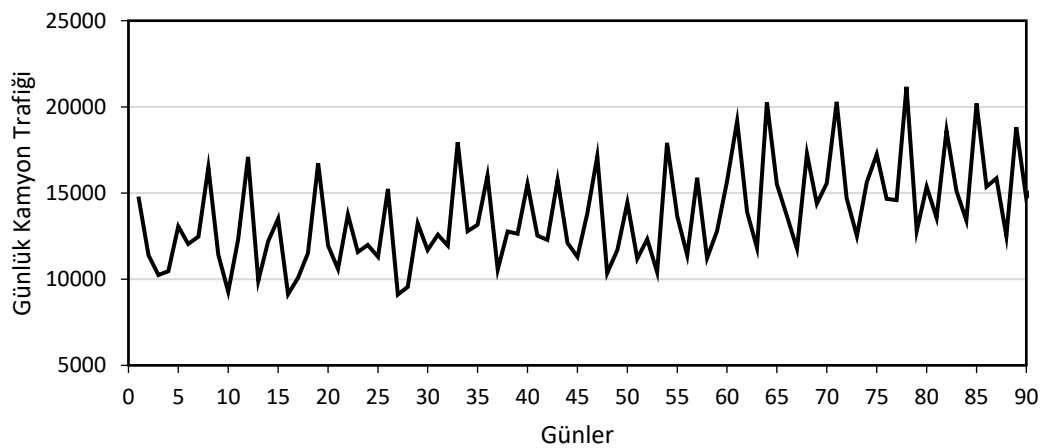
Şekil 4.28. 2018 yılı İzmir kentine giren ve çıkan taşıt istatistikleri [62]

Özellikle İzmir kentine giren ve çıkan kamyon ve ağır araç trafiği incelendiğinde, 2018 yılı için kente farklı karayolu koridorlarında giren ve çıkan ağır araç trafikleri KGM veri tabanından temin edilmiştir [62]. Kent içi ulaşımına yönelik istatistikler olarak İzmir kentine giriş çıkış yapan kamyon istatistikleri Tablo 4.12’de görülmektedir [62].

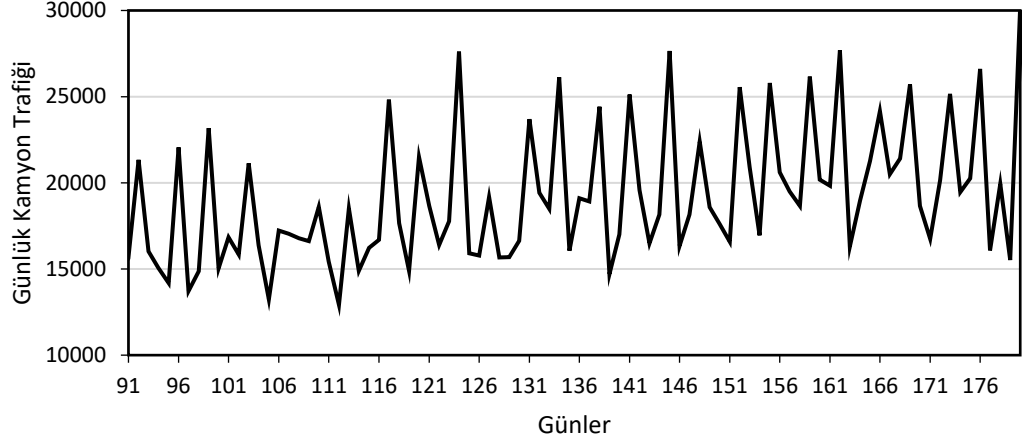
Tablo 4.12. 2018 yılı için İzmir kentine giren ve çıkan kamyon istatistikleri [62]

Hatlar	Menemen H.	Aydın H.	İstanbul H.	Ankara H.
Karayolu Kesimi	550-09	Menderes Ay.	565-11	300-02
YOGT (kamyon/gün)	5049	6346	2052	3684
Yıllık toplam kamyon	1,842,885	2,316,290	748,980	1,344,660

Tablo 4.12’de görülmektedir ki, İzmir kentine Menemen, Aydın, İstanbul ve Ankara hatlarından yoğun bir kamyon girişi bulunmaktadır. Özellikle Menemen ve Aydın hatlarında yoğun bir kamyon trafiği görülmektedir. Bir diğer önemli kamyon trafiği ise Kemalpaşa OSB ve Manisa OSB kaynaklı yük trafikleridir. 2018 yılı için Ocak-Mart dönemi mevcut günlük kamyon trafiği Şekil 4.29’da , Nisan-Haziran dönemi mevcut günlük kamyon trafiği Şekil 4.30’da , Temmuz-Eylül dönemi mevcut günlük kamyon trafiği Şekil 4.31’de, Ekim-Aralık dönemi mevcut günlük kamyon trafiği Şekil 4.32’de görülmektedir.



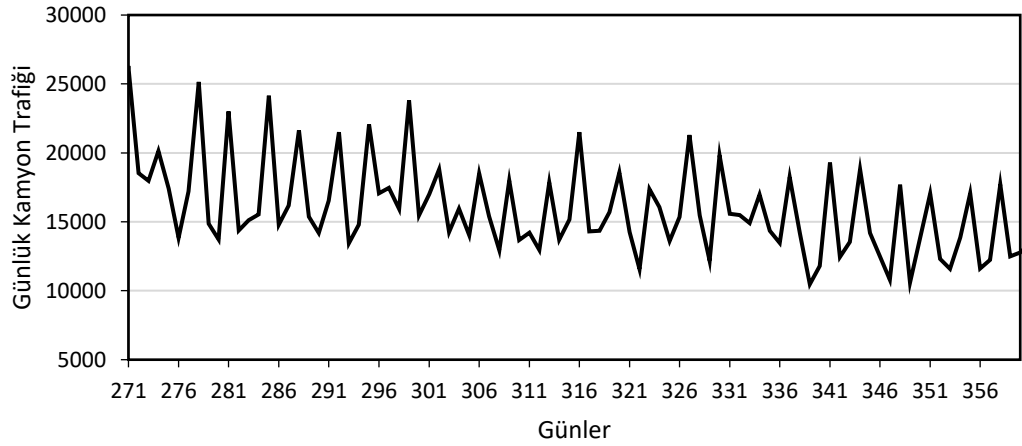
Şekil 4.29. Ocak – Mart dönemi kamyon trafiği



Şekil 4.30. Nisan – Haziran dönemi mevcut kamyon trafiği



Şekil 4.31. Temmuz – Eylül dönemi mevcut kamyon trafiği

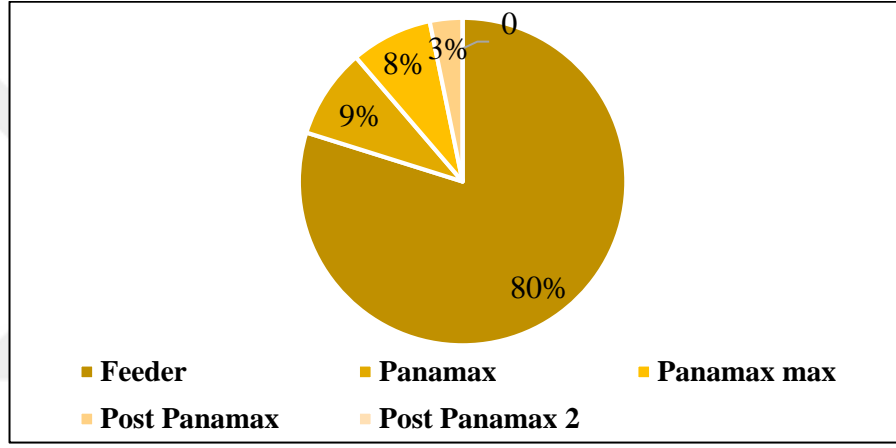


Şekil 4.32. Ekim – Aralık dönemi mevcut kamyon trafiği

Günlük kamyon trafikleri mevsimler ve haftalar bazında incelendiğinde özellikle yaz ve bahar döneminde trafik artışı, kış döneminde ise yaz dönemine oranla belirli bir kamyon trafiği azalışı görülmektedir.

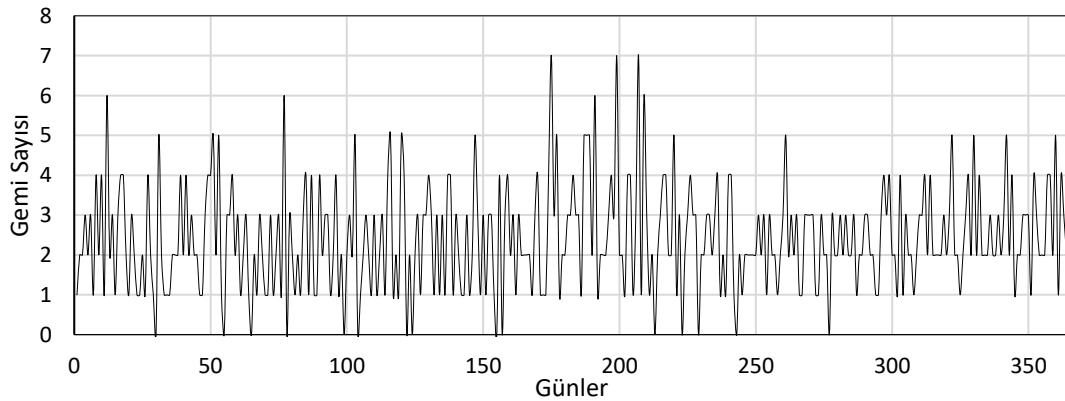
4.6.2.2 İzmir Kent Limanını Kullanan Gemi İstatistikleri

Limandan 2018 yılı boyunca hizmet alan gemiler liman başkanlığından ve liman gemi defterinden ayıklanmıştır. Limana 2018 yılı boyunca 928 adet konteyner gemisi gelmiştir. Gemiler boy ve kapasitelerine göre sınıflandırılarak gelen gemiler için uygun bir geliş dağılımı çıkarılması planlanmıştır. Gelen gemilerin tiplerine göre dağılımı Şekilde gösterilmiştir. Şekilden görülmektedir ki, Alsancak limanına %80 oranında ana “hub” limanları ile bölgesel limanlar arasında besleme hizmeti gören “feeder” tipinde konteyner gemileri hizmet vermektedir. Gemilerin rotaları incelendiğinde özellikle Pire limanı ile besleme hattı kurulduğu görülmektedir. Alsancak limanına gelen konteyner gemilerinin yüzdeleri Şekil 4.33’de gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Limana gelen konteyner gemilerinin sınıfları ve yüzdeleri [61]

Alsancak limanına aynı zamanda “Panamax”, “Panamax max” ve “post panamax” tipi orta boy konteyner gemileri de uğramaktadır. Bu gemilerin toplam gemi geliş dağılımı içindeki payı %20 civarında olmaktadır. 2018 yılı için limana gelen günlük konteyner gemisi sayısı Şekil 4.34’de görülmektedir.



Şekil 4.34. Limana 2018 yılında gelen konteyner gemisi sayıları

Liman gemi geliş istatistiklerine göre limana günde maksimum 6 konteyner gemisi gelebilmektedir. Yılın toplam 15 günü ise limana hiç gemi gelmemiştir. Konteyner gemilerinin geliş aralıklarındaki düzensizlikler nedeni ile limanda kimi zaman konteyner gemi kuyruğu görülebilmektedir. Limanda 2018 yılı için ortalama gemi hizmet bekleme süresi 2.89 saattir.

4.6.3. Simülasyon Öncesi Verilerin Değerlendirilmesi

Toplanan verilerin değerlendirilmesi aşamasında gemi geliş aralıkları gemi konteyner yükleri gemi boyu gemi elleçleme hızı verileri için uygun istatistiksel olasılık dağılımları türetilmiştir türetilen dağılımlar simülasyon programında girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Veriler için en uygun olasılık dağılımları bulunmasında EasyFit yazılımı kullanılmıştır en uygun olasılık dağılımı Ki-Kare uyumluluk testi ile belirlenmiştir.

4.6.3.1 Gemi Geliş Frekansları

Daha önce belirtildiği üzere gemi geliş aralıklarının negatif üssel dağılıma uyuması beklenmektedir EasyFit yazılımı kullanılarak en uygun olasılık dağılımı farklı gemi boy sınıfları için belirlemiştir. Gemi boy sınıfları için limana 2018 yılında gelen gemiler, toplam gemi sayısı Tablo 4.13’de gösterilmiştir.

Tablo 4.13. Gemi boy sınıfları için limana 2018 yılında gelen gemiler

Boy sınıfı (m)	Sayı
100 – 140	86
140 – 160	281
160 – 180	116
180 – 200	200
200 – 220	96
220 – 240	72
240 – 300	77
Toplam Gemi	928

Gemi boy sınıfları için türetilen gemi geliş aralığı olasılık dağılımları saat cinsinden ARENA yazılımı formatında Tablo 4.14’de gösterilmiştir.

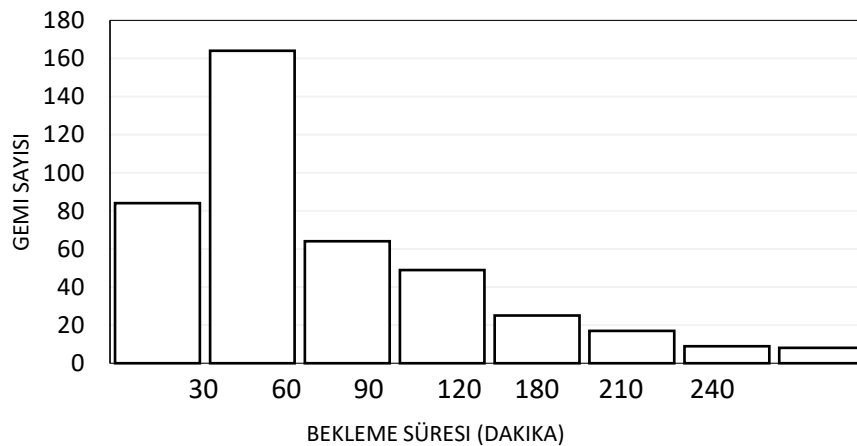
Tablo 4.14. Gemi boy sınıflarının gemi varış olasılık dağılımları

Boy sınıfı (m)	X^2 (p=0.005)	Gemi geliş aralıkları dağılımı
100-140	16.70	$\lambda=0.248$
140-160	12.10	$\lambda=0.771$
160-180	11.52	$\lambda=0.325$
180-200	14.16	$\lambda=0.542$
200-220	13.53	$\lambda=0.267$
220-240	9.14	$\lambda=0.191$
240-300	12.21	$\lambda=1.792$

Yapılan Ki-Kare uyumluluk testi sonuçlarına göre (p=0.005) anlamlılık derecesinde 7 farklı gemi boy sınıfı için gemi geliş aralıklarının gün cinsinden değerleri belirlenerek simülasyon modelinde kullanılmıştır. En yüksek gemi geliş aralığı değeri 1.792 gün olarak 240-300 metre boy sınıfı gemileri için bulunmuştur.

4.6.3.2 Gemi Hizmet Bekleme Süresi Frekansı

Limanda gemiler rıhtıma geldikten sonra hizmet almak için bekleme yapmaktadır. Bu bekleme süresine uygun bir istatistiksel dağılımın belirlenecektir. İstatistik defteri detaylı olarak incelenmiş geminin hizmet bekleme süresi kaydının alındığı görülmektedir. Liman başkanlığı tarafından alınan bilgiler doğrultusunda limana gelen her geminin bekleme yaptığı kabul edilmiştir. Bu bekleme özellikle konteyner gemilerinde vinç ve gemi koordinasyonunun sağlanması, evrak işleri, vinç çekme kurma operasyonlarının uzaması olarak sayılabilir. 2018 yılı için limanda demirleme talebi verip kabul beklemiş gemilerin bekleme süreleri frekans dağılımı Şekil 4.35’de gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Rıhtımda hizmet bekleyen gemilerin bekleme süresi frekans dağılımı

Rıhtımda bekleyen gemilerin ortalama bekleme süreleri, frekans dağılımı kullanılarak türetilacaktır. Bu değer özellikle model doğrulama çalışmasında model kalibrasyonunun doğru bir şekilde yapıp yapılmadığının belirlenmesi için önemli bir göstergedir.

4.6.3.3 Denizyolu Kökenli Konteyner İstatistikleri

Simülasyon çalışması için gemi yüklerinin gerçekçi bir şekilde simülasyon modelinde tanımlanması gerekmektedir. Gemi yükleri öncelikle yıllık olarak incelenmiş ve gemi boyları ile gemi yükleri arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Belirtilmelidir ki gemi boyu ile gemi konteyner kapasitesi arasında doğru bir ilişkisi bulunması beklenmekle beraber gelen gemi istatistikleri incelendiğinde gemi boyları ile gemi tahliye ve yüklenen konteyner miktarları arasında doğrudan bir ilişki bulunmamaktadır.

Tablo 4.15. Gemi boy sınıfları için ihraç konteyner yükleri

Boy Sınıf	Dağılım	Parametreler	X ²
100-140	Beta	$\alpha_1=0.54754$ $\alpha_2=2.2491$ $a=14.0$ $b=420.0$	7.481
140-160	Log Normal	$\sigma=0.64877$ $\mu=4.9347$	5.233
160-180	Üçgensel	$m=164.51$ $a=35.2$ $b=385.0$	2.073
180-200	Normal	$\sigma=108.89$ $\mu=191.82$	7.363
200-220	Gamma	$\alpha=5.3147$ $\beta=45.638$	2.636
220-240	Gamma	$\alpha=8.4492$ $\beta=36.49$	1.169
240-300	Weibull	$a=7.55E+7$ $b=1.76E+10$ $g=-1.76E+10$	3.152

Tablo 4.16 Gemi boy sınıfları için ithal konteyner yükleri

Boy Sınıf	Dağılım	Parametreler	X ²
100-140	Weibull	$\alpha=1.3003$ $\beta=90.727$	2.365
140-160	Log Normal	$\sigma=0.93762$ $\mu=5.1614$	6.837
160-180	Weibull	$\alpha=1.3712$ $\beta=239.97$	0.998
180-200	Weibull	$\alpha=1.2589$ $\beta=220.11$	2.743
200-220	Log Normal	$\sigma=0.784$ $\mu=5.4567$	2.108
220-240	Log Normal	$\sigma=0.96133$ $\mu=4.6748$	0.235
240-300	Beta	$\alpha_1=1.1259$ $\alpha_2=1.2607$ $a=146$ $b=1601.0$	0.956

Bu çalışmada gemi başına tahliye ve yüklenen konteyner sayıları oldukça büyük bir aralıkta değiştiği ve veri kümesi boyutunun büyük olmasından dolayı aslında gerçekte ayırık değişken olarak kabul edilmesi gereken konteyner yüklerine sürekli olasılık dağılımları uydurulmaya çalışılmıştır. Uydurulan olasılık dağılımları Arena simülasyon içerisinde tanımlanarak üretilen rassal konteyner yükleri en yakın tam sayıya yuvarlanarak gemi yükleri atanmıştır. Gemi boyları için türetilen gemi ithal ve ihraç konteyner sayıları Tablo 4.15 ve Tablo 4.16’de gösterilmiştir.

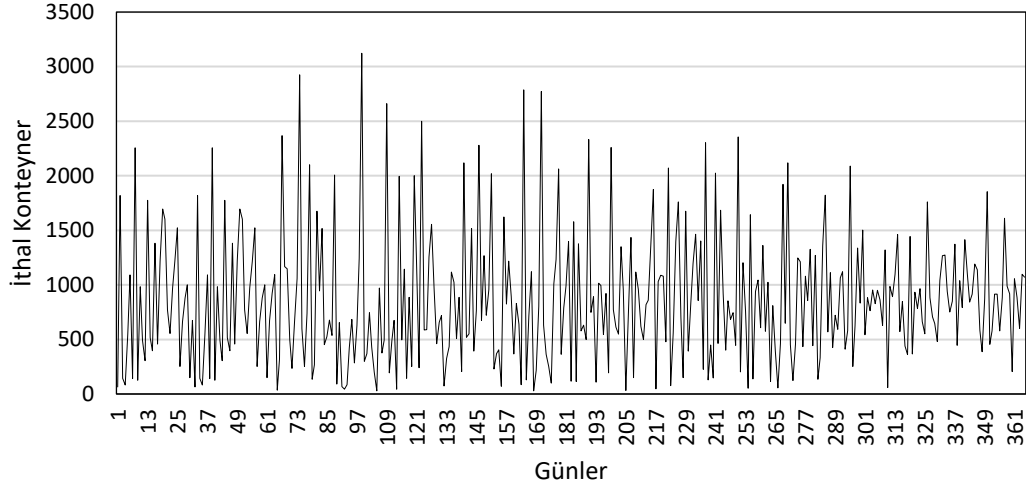
Konteyner yükleri için ağırlıklı olarak Weibull, Log Normal ve Gamma Ki-kare uyumluluk testi sonucunda gemi konteyner yükleri için uygun bulunmuştur. Bunların dışında bazı gemi yükleri için Üçgensel, Beta ve Normal dağılımlar da kullanılmıştır.

4.6.3.4 Karayolu ve Denizyolu Kökenli Konteyner İstatistikleri

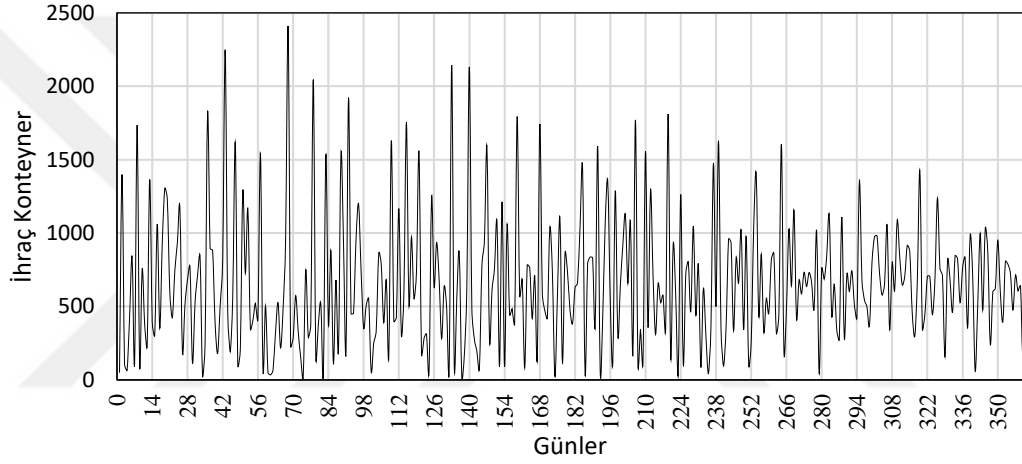
Çalışma kapsamında limandaki lojistik faaliyetlerin detaylı olarak incelenmesi için öncelikle 2018 yılı için vardiya kayıtları ve gemi geliş defteri Alsancak liman başkanlığından temin edilmiştir. Limanın günde 3 vardiya ile 24 saat kesintisiz hizmet vermesinden dolayı vinçlerin vardiya kayıtları bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Limanda faaliyet gösteren 5 adet GK ve 5 adet MHC için elleçlenen konteyner tipi ve sayıları elde edilmiştir. Karayolu kökenli konteyner istatistikleri ise limana hinterlandtan ulaşan ve hinterlandta dağıtılan ihraç ve ithal konteyner istatistikleridir.

Denizyolu Kökenli Konteyner İstatistikleri

Limana gelen ve limandan yüklenen günlük konteyner sayıları gemi geliş defterinden 2018 yılı için derlenmiştir. Konteyner istatistikleri denizyolu ve karayolu kökenli konteyner istatistikleri olarak ele alınmıştır. Denizyolu kaynaklı konteyner istatistikleri, Alsancak limanında hizmet alan konteyner gemilerinden indirilen ve gemilere yüklenen ithal ve ihraç konteyner istatistikleridir.



Şekil 4.36. 2018 yılı için gemilerden boşaltılan günlük konteyner sayıları

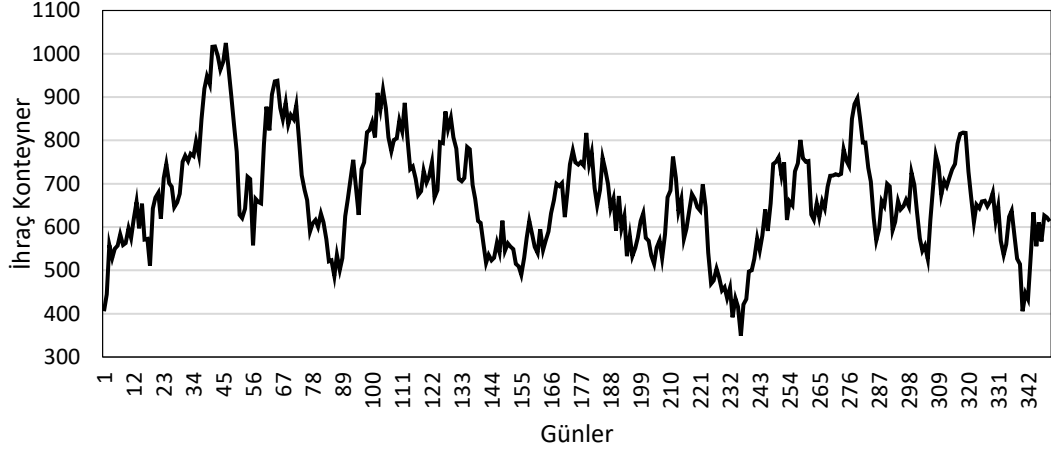


Şekil 4.37. 2018 yılı için gemilere yüklenen günlük konteyner sayıları

Konteyner gemilerinden boşaltılan konteyner sayılarının günlere göre değişimi incelendiğinde en az konteyner boşaltılan gün 63 konteyner, en çok konteyner boşaltılan gün ise 2378 konteyner boşaltıldığı görülmüştür. Konteyner gemilerine yüklenen konteyner sayılarının günlere göre değişimi incelendiğinde en az konteyner yüklenen günde 22 konteyner, en fazla konteyner yüklenen günde ise 2402 konteyner yüklendiği görülmüştür.

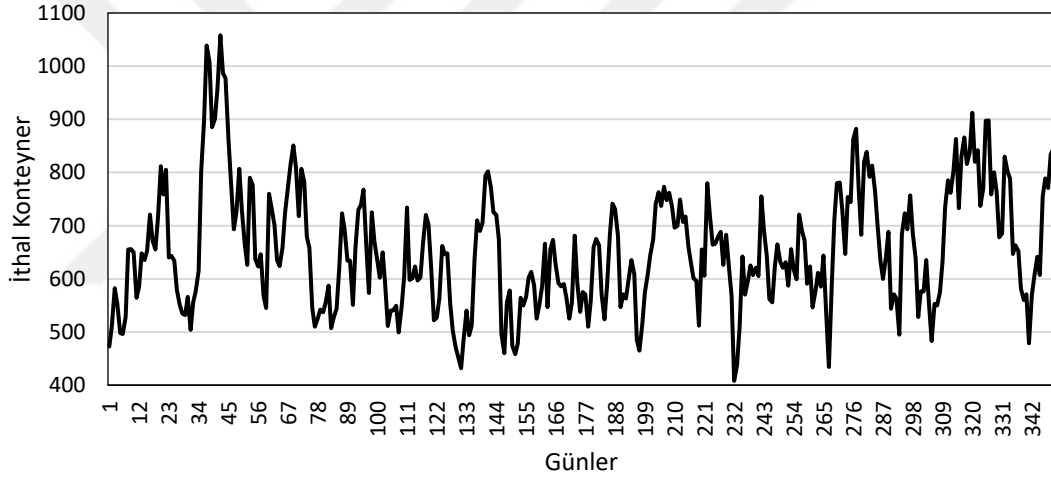
Karayolu Kökenli Konteyner İstatistikleri

Limana gelen ve limandan ayrılan ithal ve ihraç konteyner istatistikleri liman veri tabanından derlenmiştir. İzmir Alsancak limanına karayolu ile varan ihraç konteyner sayısının günlere göre değişimi Şekil 4.38’de görülmektedir.



Şekil 4.38. Alsancak limanına karayolu ile varan ihraç konteyner sayısı

İzmir Alsancak limanından karayolu ve demiryolu ile ayrılan ithal konteyner sayısının günlere göre değişimi Şekil 4.39’da görülmektedir.



Şekil 4.39. Alsancak limanından karayolu ile ayrılan ithal konteyner sayısı

İzmir Alsancak limanına karayolu ve demiryolu ile varan ihraç konteyner sayılarının günlere göre değişimi incelendiğinde en az konteyner aktarımı yapılan 163 konteyner, en çok konteyner aktarımı yapılan gün ise 1657 konteyner aktarıldığı görülmüştür. Alsancak limanından karayolu ve demiryolu ile ayrılan ithal konteyner sayılarının günlere göre değişimi incelendiğinde en az konteyner ayrılan günde 108 konteyner, en fazla konteyner ayrılan günde ise 1951 konteyner ayrıldığı görülmüştür.

4.6.3.5 Gemi Boylarının Olasılık Dağılımı

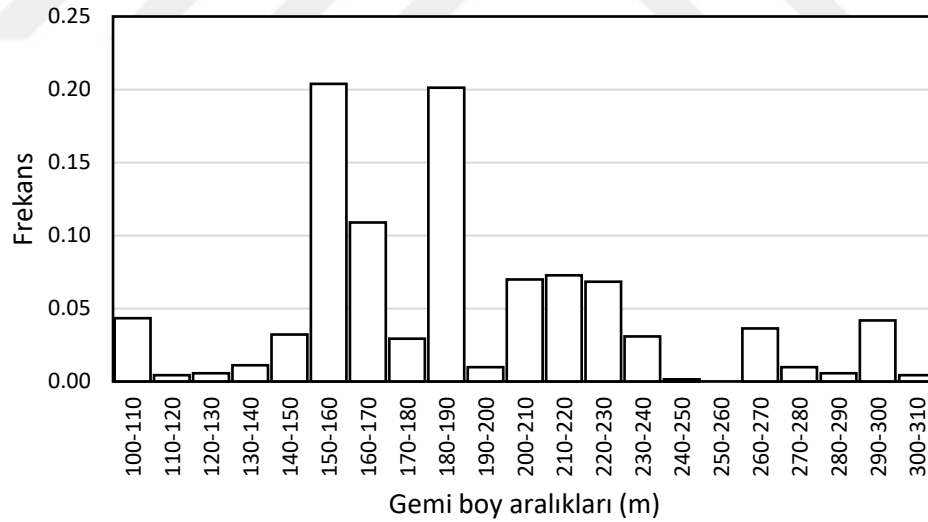
Limana 2018 yılı boyunca gelen konteyner gemilerinin boyları mevsimsel olarak incelenmiştir. Mevsimler için üretilen gemi boyları için istatistikler Tablo

4.17’de görülmektedir. Gemi boyları arasında mevsimsel farklılıklar görülemediği için tek bir denklem kullanılacaktır. Limana gelen ortalama gemi boyu 180 metredir. Limana aynı gemiler periyodik olarak gelmesinden dolayı mevsimler arasında belirgin bir gemi boyu farklılığı bulunmamaktadır.

Tablo 4.17. Mevsimler için gemi boyu özet istatistikleri

Parametreler	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Ortalama	180.86	183.59	183.02	184.60
Standart sapma	41.49	43.42	43.88	46.72
Minimum	103.00	102.00	101.00	101.00
Maksimum	325.00	295.00	304.67	295.00
Aralık	224.00	193.00	203.67	194.00

Gemi boyları öncelikle en yakın 10’un katları şeklinde yuvarlanmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere gemi boylarının özellikle 150 ile 160 ve 180 ile 190 metre arasında ağırlıklı olarak değerler aldığı, bununla beraber bazı gemi boyları aralığında limana gemi gelmediği veya çok az geldiği görülmektedir. Gemi boyları frekans dağılımı Şekil 4.40’de gösterilmiştir.



Şekil 4.40. Gemi boyları frekans dağılımı

Bu şartlar altında gemi boyları dağılımı için Arena programı içerisinde farklı gemi boy sınıfları için farklı gemi geliş aralığı olasılık dağılımı türetilmesi çözümüne gidilmiştir.

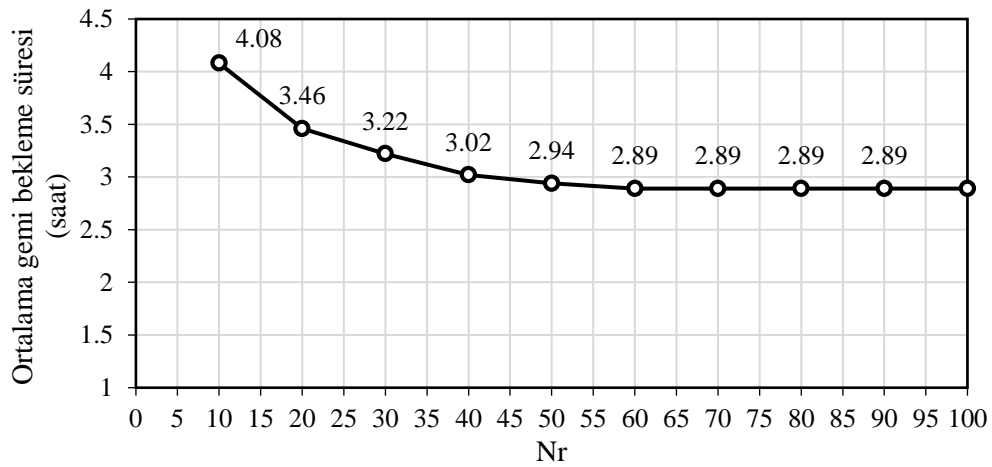
4.6.4. DES Modellerinin Doğrulması

Simülasyon çalışmalarında, modelin çalıştırılmadan önce doğruluğunun değerlendirilmesine (verification) doğrulama aşaması, model performansının gerçek sistem performansı ile örtüşüp örtüşmediğinin test edilmesine ise (validation) onaylama aşaması adı verilmektedir. Doğrulama aşamasında modelin geçerli ve mantıklı sonuçlar verip vermediği çeşitli senaryolar için model koşulları yapılarak model çıktılarının beklenen sınırlar içerisinde kalıp kalmadıkları kontrol edilir. Model içerisindeki varlık akışları, modelin adım adım çalıştırılması ile (step by step execution) araştırmacı tarafından kontrol edilir ve benzetim modelinin tasarlanan model şartlarında çalışıp çalışmadığı doğrulanmaktadır. Bir diğer aşama olan validation (onaylama) aşamasında ise modelin gerçek sistemi modelleme performansı test edilmektedir. Onaylama aşamasında gerçek sistem çıktıları ile model çıktıları karşılaştırılarak DES modelinin gerçek sisteme benzer şekilde çalıştığı yargısına varılmaya çalışılmaktadır. Bu adımlarında DES modelinin gerçek sistem ile tamamen örtüşmesi beklenmemek birlikte, kabul edilebilir ölçüde bir benzetim sağlanması yeterli olmaktadır. Model doğrulama aşamasında modelin benzetim performansının yeterli olup olmadığı konusunda genellikle karar verici modeli hazırlayan kişi veya kurum olup bu karar genellikle modellemenin ayrıntısına ve sistemin karmaşıklığına bağlı bir seçimdir. Özellikle kavramsal bir model için benzetim çalışması yapılması durumunda, gerçek sistem kısmen veya tamamen mevcut olmamaktadır. Bu durumda gerçek sistem çıktıları ile benzetim model çıktılarının örtüşüp örtüşmediği doğrulaması yapılamamaktadır. Bu çalışmada, DES modelinin doğrulama aşamasında aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır:

1. DES1 modeli kuru liman olmayacak şekilde işletilmiştir.
2. DES1 çıktısı aracılığıyla modelde üretilen varlıklar ve modelden çıkan varlık için giriş çıkış analizi yapılmıştır. Bu amaçla gemilerden oluşturulan tahliye konteynerlerinin kuru limandan hinterlanda dağıtılması sırasında model sayacıları ile modele giren ve çıkan konteyner sayılarının örtüşüp örtüşmediği kontrol edilmiştir. Aynı kuru limanda üretilen ve gemilere yüklenen ihraç konteynerler için gerçekleştirilmiştir.

3. DES1 modelinde üretilen gemilerin sayısı, limanda hizmet alan ve hizmet alamayan gemi sayılarının toplamına eşit olduğu model koşulları ile kontrol edilmiştir.
4. DES1 işletim çalışması sonucunda ortalama gemi bekleme süresi ile gerçek liman verisi karşılaştırılmıştır.

DES1 modeli için model hedef replikasyon sayısı 100 olarak ($N_r = 100$) kabul edilerek ortalama gemi bekleme sürelerinin replikasyon sayısı ile değişimi Şekil 4.41’de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. Ortalama gemi bekleme süresinin N_r ile değişimi

DES1 işletmesinin sonunda, liman verisi ve DES1 model için performans ölçütleri $N_r = 100$ için Tablo 4.18’de gösterilmiştir. DES1 için ortalama gemi bekleme süresi $N_r = 100$ için 2.91 saat/gemi olarak bulunmuştur. Replikasyon sayısının artırılması ile ortalama bekleme süresinin 2.91 saat/gemi mertebesinde sabit kaldığı görülmüştür.

Tablo 4.18. Liman verileri ile DES performans ölçütlerinin karşılaştırılması

Performans ölçütü	Teorik	Gerçek	Güven Aralığı N_r
Ort. gemi bekleme süresi (saat)	2.89	2.52	(±0.65)
Toplam ihraç konteyner (2018)	235,060	235,501	(±8506)
Toplam ithal konteyner (2018)	224,980	229,951	(±9391)

Simülasyon modeli tarafından gemi sınıfları için üretilen gemi sayıları ve liman verisinin karşılaştırması Tablo 4.19’de verilmektedir.

Tablo 4.19. Boy sınıfları için gemi sayısı ve liman verisin karşılaştırılması

Gemi boy sınıfı	Teorik (DES1)	Gerçek	Güven Aralığı N_r
100-140	89 (± 7.86)	86	(± 7.86)
140-160	286 (± 14.11)	279	(± 14.11)
160-180	108 (± 7.12)	116	(± 7.12)
180-200	199 (± 9.21)	198	(± 9.21)
200-220	101 (± 6.43)	96	(± 6.43)
220-240	79 (± 4.35)	72	(± 4.35)
240-300	88 (± 6.55)	77	(± 6.55)

$N_r = 100$, $\pm 90\%$ güven aralığı

Çalışmada, DES1 model sonuçları ile gerçek veriler karşılaştırıldığında, teorik ve gerçek veriler arasında çok düşük farklar olduğu görülmüştür. Özellikle gemi boy sınıfları için üretilen ve gerçek gemi sayıları değerlendirildiğinde, 100-140, 140-160 metre boy aralığı için sonuçların güven aralığında kaldığı, 160-180 metre boy aralığı için gerçek değer ile model çıktısı arasındaki farkında güven aralığı sınır değerinde kaldığı görülmektedir. Çalışmada, DES1 modelinin gerçekliğinin sınanması için ayrıca Bağımlı Örneklem t-testi yapılmıştır.

Bağımlı örneklem t-testi, bir değişkenin, iki farklı durumda gözlemlenen değerlerinin ortalamalarını karşılaştırır. Bu iki durum genellikle uygulanacak bir yöntemin öncesi ve sonrası şeklinde olur. Yapılan t-Test için bağımlı örneklem istatistikleri Tablo 4.20’de gösterilmektedir.

Tablo 4.20. t-testi için bağımlı örneklem istatistikleri

	Ortalama	Örnek Sayısı	Std.Sapma	Std. Hata
DES1	135.73	7	77.71	29.37
Gerçek	132.00	7	77.73	29.38

Yapılan t-testi sonucunda (Sig.2t) değeri %95 güven aralığı için .157 bulunmuştur. Buna göre çıkararak %95 güvenle DES1 modeli çıktıları ile gerçek sistem arasında %95 güvenle istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (.157>.05).

DES1 hazırlandıktan sonra model doğrulama ve kalibrasyon çalışmalarında şu görülmüştür. Örneklerle açıklama gerekirse modelde herhangi bir gemiye yüklenecek 100 konteyner olması durumunda bu konteynerler gemi gelişinden yaklaşık 10 gün önce limana gelmeye başlar ve gemi gelişinden önce hazır olmalıdır. İstiflerde sadece

RTG ve SC'lerin hizmet verdiği kabul edildiğinden dolayı yoğun konteyner trafiğinde bu ekipmanlar hem gemilere yüklenecek konteynerleri istiflerden elleçlerler hem de limana gelen ihraç konteynerleri istiflere yerleştirirler. Saha vinçleri önünde hizmet bekleyen kuyruklarda öncelik gemilere yüklenecek ihraç konteynerlere verilmiştir.

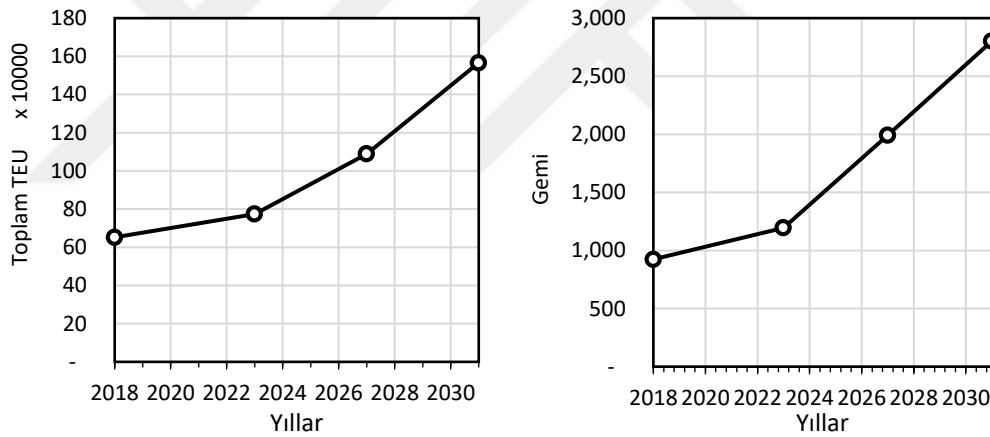
DES2 modeli için işletme çalışmaları yapılırken temel kabul gemilerin servis önceliğinin bulunması ve mümkünse gemilerin bekleme yapmaması ilk hedeftir. DES2 stok saha yetersizliğinden, tren kapasite ve sefer planlama seçimlerinden ötürü gemiye öncede planlanan konteynerlerin kısmen yüklenemediği veya gemi tahliye işlemini tamamladıktan sonra yüklemek için stok sahasında konteyner bulamadığı görülebilmektedir. Bu gibi durumlarda simülasyon çalışmalarında genel olarak geminin operasyonun tamamlanması için bekletildiği göz önüne alınmaktadır. Bu kabul DES2 kapsamında değerlendirilirse çeşitli mantık hatalarına sebebiyet vermektedir. Örnek olarak tren seferlerinin gece vakti yapılması halinde rıhtımda yüklemesini bitiren gemi, sahaya gelecek konteynerleri saatlerce beklemek zorunda kalacaktır. Bu durumda rıhtım az sayıda konteynerin nakliyesi için saatlerce işgal edilmiş olacak, yeni gelen gemiler kuyruğa girecek ve gemi operasyonel faaliyetleri dışında bir bekleme yapacaktır. Bu nedenle bu çalışmada *rıhtımda hizmet alan gemi stok sahasında yükleyecek konteyner bulamadığı durumlarda limandan ayrılmaktadır.*

Kabul gereği taşımacılığı yapılamayan her bir konteyner için sistem operatörü önceden taahhüt ettiği taşımacılık sözünü yerine getirememiş olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle taşımacılığı yapılamayan konteynerler sayılarak belirli bir ceza koşulu olarak model seçim sürecine sunulabilmektedir.

Tahliye edilen konteynerler DES1 ve DES2 için farklı güzergahlar izlemektedir. DES1 kapsamında tahliye konteynerlerin akışı basittir gemiden tahliye edilen konteyner uygun bir istife yerleştirildikten sonra önceden belirlenen bir tutma süresi boyunca limanda bekler. Bekleme süresi sonunda konteyner limana ulaşan kamyon veya treyler ile model dışarısına çıkarılır. DES2'de ise tahliye konteynerler stok saha istiflerine yerleştirildikten sonra trene yüklenmeyi beklemektedirler. Trenin ana amacı stok sahasından mümkün olduğunca konteyneri kuru limana en kısa sürede taşımaktır.

4.7. Liman Konteyner Trafik Projeksiyonu

Bir planlama çalışmasında limanın geleceğine yönelik konteyner ticaret talebini gerçekçi bir şekilde tahmin etmek en önemli aşamaların başında gelmektedir. Bu çalışmada daha önce hazırlanmış olan İzmir ve diğer Türkiye limanları için yapılan ticaret talep tahmini modelinin çıktıları kullanılacaktır. Yapılan ticaret talep projeksiyonunda model girdileri olarak Gayri Safi Milli Hasıla, Türkiye'nin ve İzmir Alsancak limanın ticaret hacmi kullanılmıştır. Projeksiyon hedefi olarak Türkiye'nin resmi gelişme hedefleri literatürden derlenerek değerlendirilmiştir. Tahmin modeli için Türkiye'nin 2023 ekonomik hedefleri doğrultusunda yapay sinir ağıları kullanılarak çok değişkenli bir regresyon modeli geliştirilmiştir. Çalışma hakkında detaylı bilgi bu tez çalışmasının dışında olup ilgili yayından edinilebilir [63]. Projeksiyon çalışması sonucunda yıllara göre Alsancak limanı konteyner talebi tahmini ve gemi sayısı Şekil 4.42'da gösterilmiştir.



Şekil 4.42. Alsancak limanı konteyner talebi tahmini ve gemi sayısı

Yapılan projeksiyon çalışması sonucunda her yıl için farklı bir gelişim senaryosu hazırlanıp simülasyon modellerinde değerlendirilmesi planlanmaktadır. Toplam yıllık konteyner sayısı ile gemi sayısı arasında ilişki kurulması amacı ile simülasyon modelinde gemileri üreten bloklara, gemi trafiğini arttırmak amacı ile bir simülasyon sabiti tanımlanmıştır. Bu yaklaşım ile gemiler arasındaki geliş süreleri belirli bir sabit oranında her gemi tipi için aynı oranda azaltılarak toplam yıllık gemi sayısı arttırılacaktır. Çalışmada kabul olarak gemilerin yıllara oranla konteyner yüklerinin sabit kaldığı, artma veya azalma eğilimine girmediği kabul edilmektedir.

4.7.1. Model Parametreleri

İşletmecilik senaryolarında kullanılan model parametreleri, konteyner gemileri, rıhtım, vinçler, demiryolu taşımacılığı, stok sahası gibi başlıklar altında Tablo 4.21’de gösterilmiştir

Tablo 4.21. İşletmecilik senaryoları için kabul edilen model parametreleri

Konteyner gemilerine ilişkin model parametreleri	
Gemi seyir süresi (Gün)	10
Rıhtım kuyruk stratejisi	FCFS
Gemi boyları (Metre)	100 – 300 metre
Gemi yükleri	Olasılık dağılımları
Gemi elleçleme süreleri (Saat)	Olasılık dağılımları
Ortalama gemi tonajı (Ton)	28,385
Simülasyon hedef gemi bekleme süresi (Saat)	1
Boş konteyner oranı (%)	40

Tablo 4.22. İşletmecilik senaryoları için kabul edilen model parametreleri 2

Konteyner yüklerine ilişkin parametreler	
TEU Faktörü	1.41
İthal konteyner tutma süresi (Gün)	10
İhraç konteyner tutma süresi (Gün)	10
Ortalama konteyner ağırlığı (Ton/TEU)	8
Liman ve Kuru Liman Stok Sahasına İlişkin Parametreler	
İstif kat sayısı	4
TEU başına düşen alan (m ²)	6.51
İstif blok kapasitesi (TEU)	600
Trene ilişkin parametreler	
Lokomotif tipleri	DE33000 – EC 68000
Lokomotif gücü (kW)	3300 – 6800 (bg)
Vagon sayısı	30 - 40
Lokomotif ve vagon maksimum hızı	130 km/h

GK ile Stok sahasında konteyner elleçlemede ve terminal içi konteyner taşımacılığında kullanılan ekipmanların karakteristik bilgileri model parametreleri olarak Tablo 4.24’de görülmektedir. Çalışmada terminal yatay taşımacılık için kullanılan terminal traktörlerinin maliyeti TEU başına \$5 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 4.23. Maliyetlere ilişkin parametreler

Maliyete İlişkin Parametreler	
Yıllık iskonto oranı (amerikan doları) (%)	4
Tesis ekonomik ömürleri (yıl)	20
Liman kamulaştırma maliyeti (\$/m ²)	200
Kuru liman saha kamulaştırma maliyeti (\$/m ²)	20
Liman tampon slot maliyeti (\$/slot/gün)	0.5
Kuru liman tampon stok maliyeti (\$/slot/gün)	0.2
Liman slot maliyeti (\$/slot/gün)	0.14
Kuru liman slot maliyeti (\$/slot/gün)	0.03
Gemi demuraj maliyeti (\$/gemi/saat)	700

Tablo 4.24. Konteyner terminal elleçleme ekipmanları karakteristikleri

Ekipman Karakteristikleri	RTG	GK	RS	SC
2018 Birim Maliyetler (10 ³ \$)	1,000	10,000	750	800
Ekonomik Ömür	20	25	15	15
Ekipman Bakım Maliyeti Oranı (%)	6	10	6	6
Operatör Yıllık Maliyet (10 ³ \$)	8	10	8	8
Kapasite Kullanım Oranı (%)	75	75	75	75
Rezerv Ekipman Oranı (%)	20	20	20	20
TOH*	2.5	1.3	3	2.2
Saha gereksinimi [18] ** (m ² /TEU)	15	-	21	16
Saha İnşaatı Maliyeti (\$/m ²)	70	-	20	50
Elleçleme Maliyeti (\$/TEU)	1	3	2	1
Terminal Taşıma Maliyeti (\$/TEU)		-	3	3
Saha Bakım Maliyet Oranı (%)	0.75	-	0.6	0.6

*TOH: TEU başına konteyner istifleme için ortalama hareket

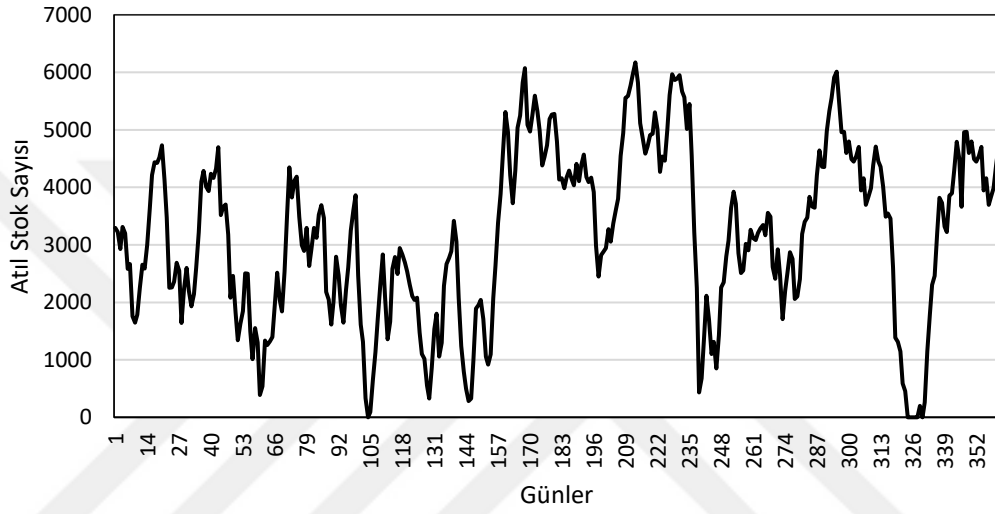
**UNCTAD Port Development: Handbook for Planners in Developing Countries

Çalışmada terminalde rıhtım ile stok sahası arasında konteyner taşımacılığı yapılacak terminal traktörlerinin kiralama usulü ile hizmet vereceği kabul edilerek bu ekipmanların amortisman maliyetinin hesaplanması yerine TEU başına birim taşımacılık ücreti hesabı yapılmıştır.

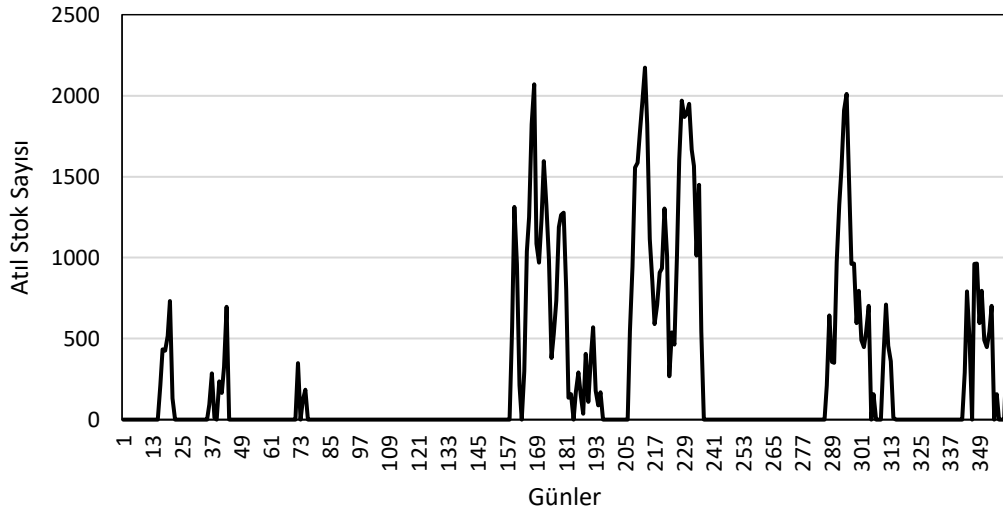
4.8. DES1 Modeline İlişkin Bulgular

4.8.1. Liman Stok Sahasına İlişkin Bulgular

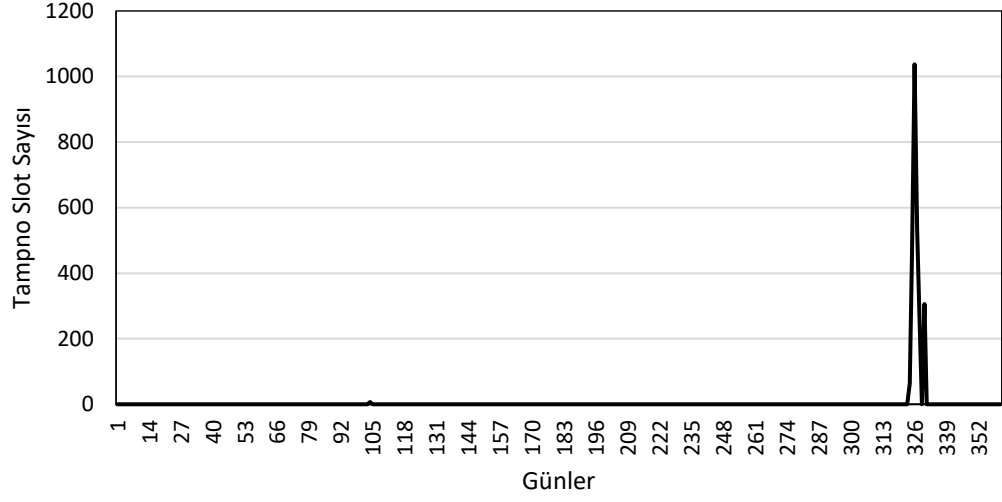
DES1 modeli kullanılarak limandaki stok saha kapasitelerinin günlük değişimi bulunmuş, bu veri kullanılarak stok saha kapasiteleri için atıl ve tampon slot maliyetlerini dikkate alan bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. 2018 yılı için yapılan hesaplamalar ithal stok sahasının optimizasyonu için aşağıdaki gibidir



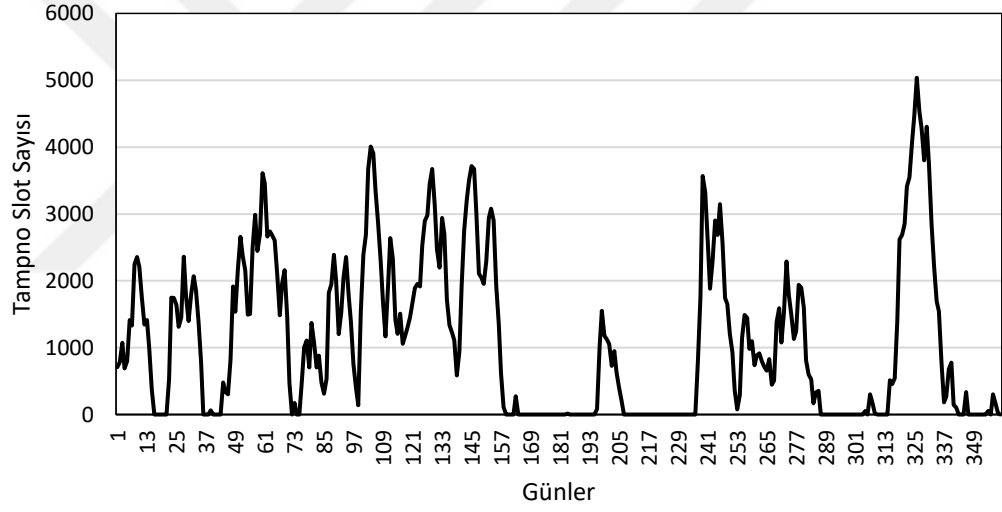
Şekil 4.43. 10,000 slot kapasitesi için atıl slot sayısı



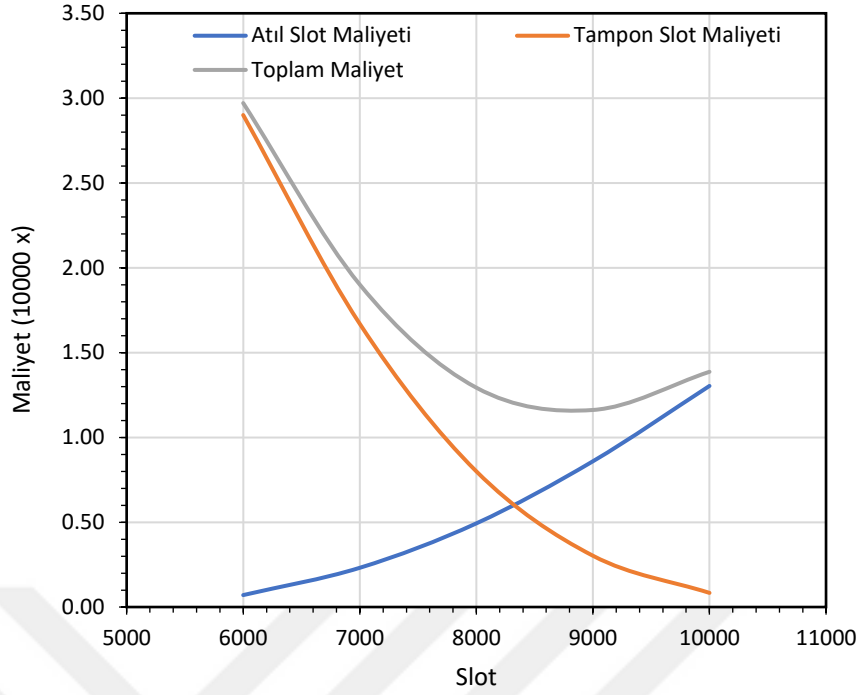
Şekil 4.44. 6,000 slot kapasitesi için atıl slot sayısı



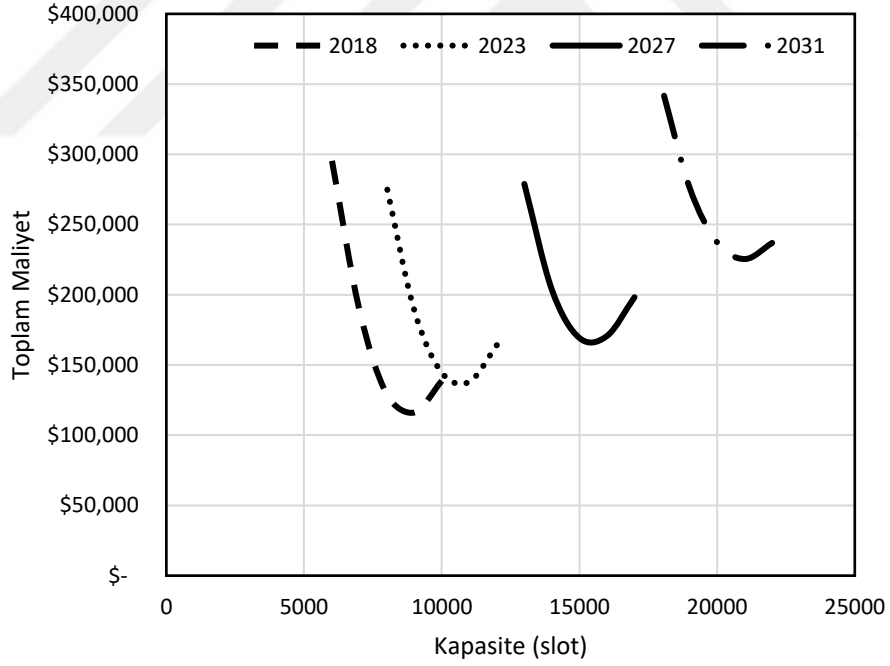
Şekil 4.45. 10,000 slot kapasitesi için tampon slot sayısı



Şekil 4.46. 6,000 slot kapasitesi için tampon slot sayısı



Şekil 4.47. Toplam maliyetin saha kapasitesi ile değişimi

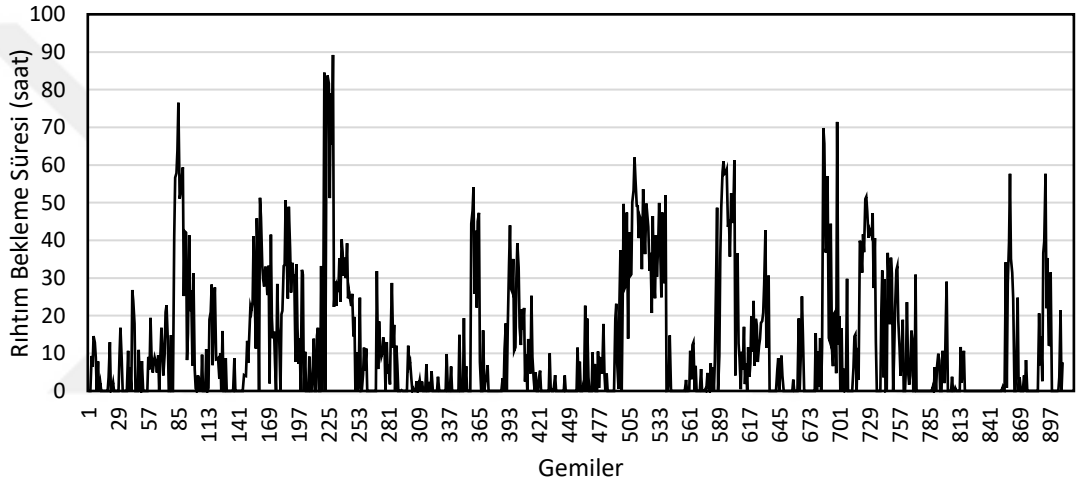


Şekil 4.48. Farklı yıllar için optimum saha slot sayıları

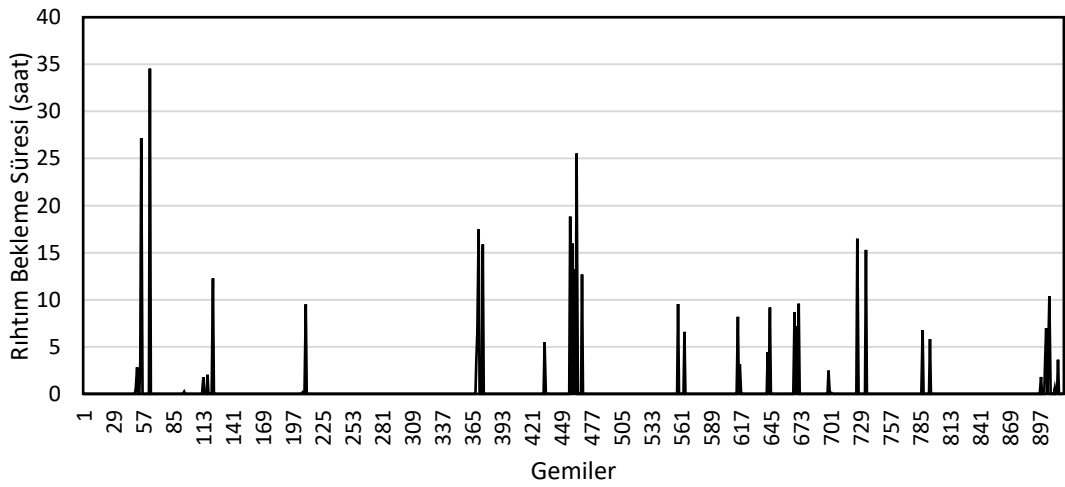
Şekil 4.48 incelendiğinde optimum saha kapasitesinin 2018 yılı için 9,000 slot mertebesinde ve 2031 yılında 21,000 slot mertebesinde olduğu sonucuna varılmıştır. Optimum değer bulunması için toplam maliyet eğrileri için 2. Derece polinom türetilerek minimum değer analitik olarak hesaplanmıştır.

4.8.2. Rıhtım Boyuna İlişkin Bulgular

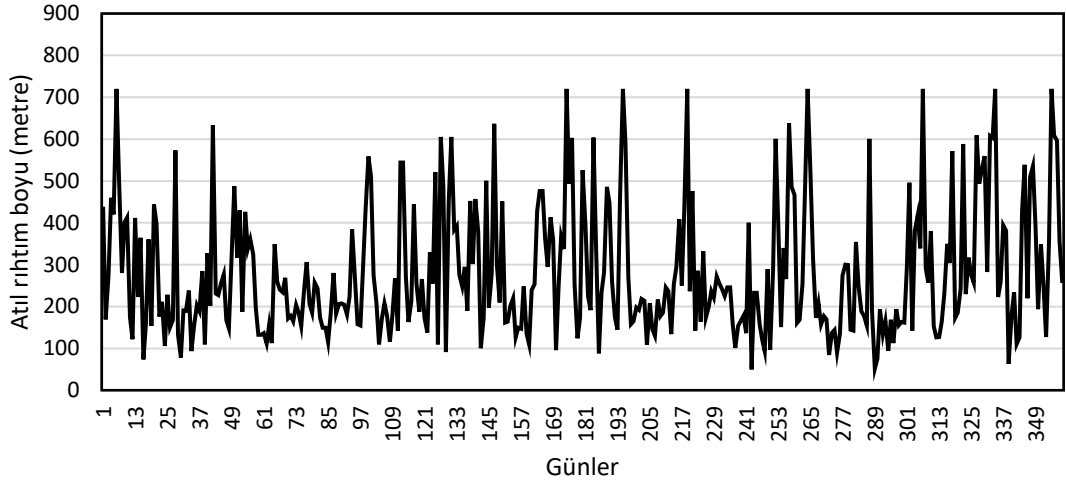
Rıhtımın boyutlandırılması için rıhtımın günlük boş kalan metresi ve kuyrukta bekleyen gemilerin bekleme maliyetleri (demuraj) birlikte değerlendiren bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmada toplam rıhtım uzunluğu 1350 metre seçilerek sırasıyla %80, %90 rıhtım boy azalışı ve %10 ve %20 boy artışı senaryoları için DES1 modeli çalıştırılmıştır. Model çıktıları olarak günlük atıl kalan rıhtım uzunlukları ve sistemdeki gemiler için rıhtım bekleme süreleri değerlendirmeye alınmıştır. Gemilerin rıhtım bekleme süreleri 1080 ve 1620 metre rıhtım boy uzunlukları için Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de görülmektedir. Atıl rıhtım boyları 1080 ve 1620 metre rıhtım uzunlukları için Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de sunulmuştur.



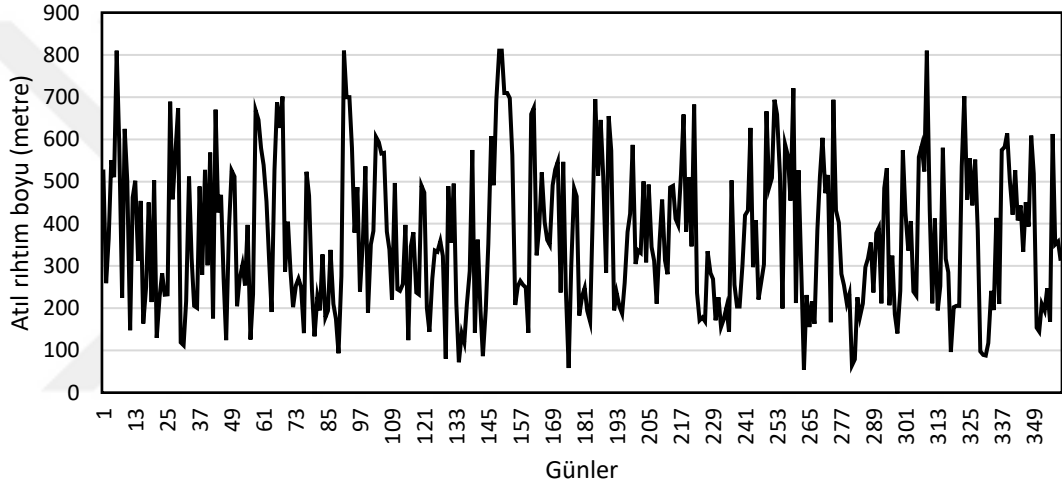
Şekil 4.49. 1080 metre rıhtım uzunluğu için gemi bekleme süreleri



Şekil 4.50. 1620 metre rıhtım uzunluğu için gemi bekleme süreleri



Şekil 4.51. 1080 metre için günlük atıl rıhtım uzunluğu



Şekil 4.52. 1620 metre için günlük atıl rıhtım uzunluğu

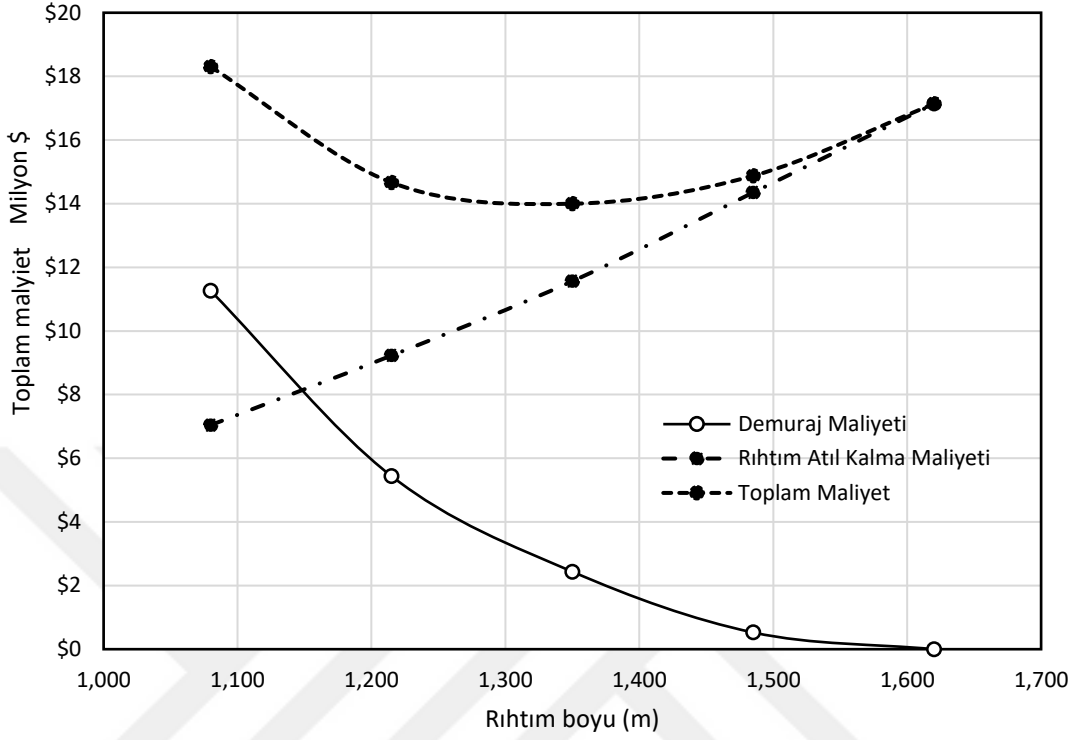
Optimizasyon çalışmasında günlük rıhtım atıl kalma maliyeti hesaplanmıştır. Rıhtım atıl kalma maliyeti, toplam yıllık rıhtım maliyetinin toplam rıhtım uzunluğuna tesis ömrü 20 yıl için 365 güne bölünmesi ile 1 metre rıhtım atıl kalma uzunluğu \$56/gün/metre hesaplanmıştır. Gemi demuraj maliyeti, rıhtımda bekleyen her gemi için \$700/gemi/saat olarak kabul edilmiştir. Bu kabuller çerçevesinde 2018 yılı için rıhtım boy optimizasyonu görülmektedir.

Tablo 4.25. Farklı toplam rıhtım boyları için toplam maliyet hesabı

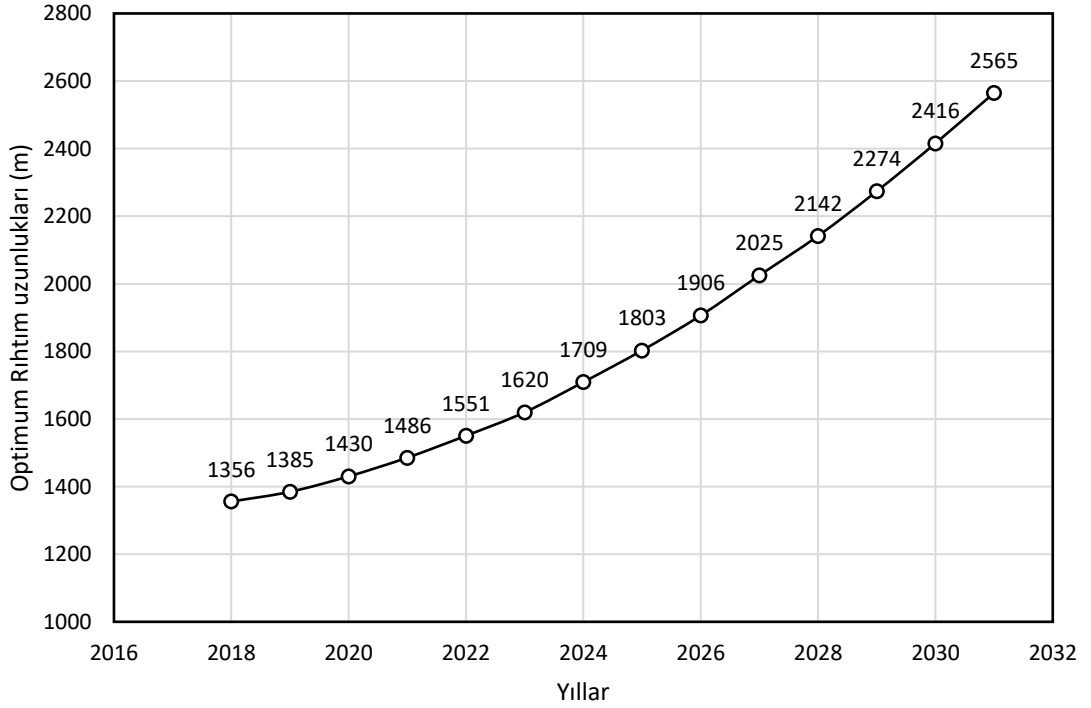
Uzunluk	Bek. Süresi	Demuraj	YAR (\$)	RM (\$)	Toplam (\$)
1080	12.43	11,258,862	100,608	7,042,573	18,301,435
1215	6.00	5,436,000	131,841	9,228,895	14,664,895
1350	2.83	2,435,781	165,184	11,562,879	13,998,660
1485	0.58	525,480	205,002	14,350,147	14,875,627
1620	0.00	-	244,765	17,133,577	17,133,577

YAR: Yıllık Atıl Rıhtım (Metre x Gün) RM: Rıhtım Atıl Kalma Maliyeti

Toplam maliyetin farklı toplam rıhtım boyları ile değişimi Şekil 4.53'de görülmektedir.



Şekil 4.53. Farklı rıhtım boyları için toplam maliyetin değişimi



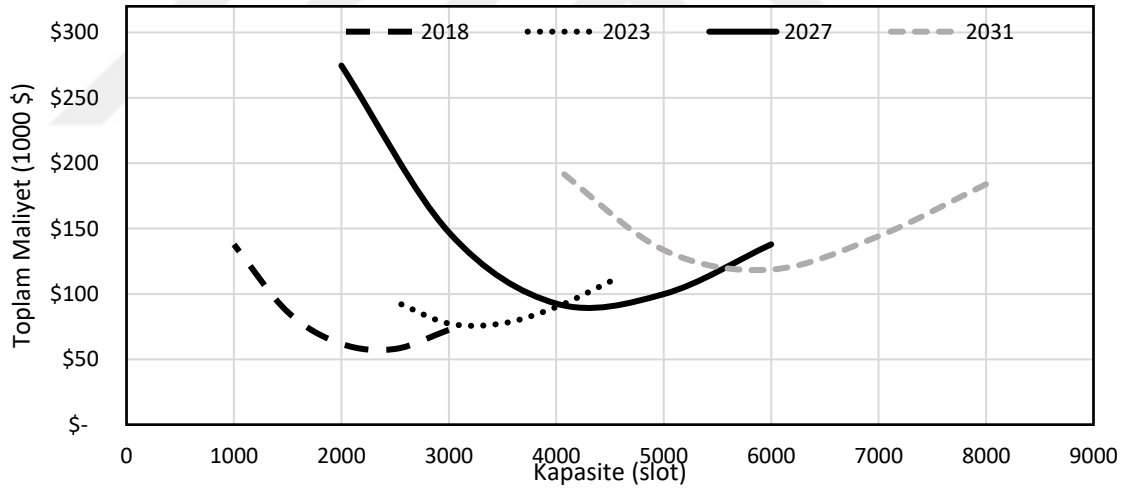
Şekil 4.54. Yıllara göre optimum rıhtım uzunlukları

Optimizasyon çalışmasında minimum maliyeti bulmak için toplam rıhtım maliyet eğrisi için 3. derece bir polinom fonksiyonu türetilmiştir ($y = -0.0538x^3 + 270.27x^2 - 433639x + 2E+08$) $R^2 = 0.9983$. Fonksiyonu minimum yapan değer değerlendirmeye alındığında, 2018 yılı için optimum rıhtım boyunun 1356 metre olduğu belirlenmiştir. Yıllara göre optimum rıhtım uzunlukları Şekil 4.54’de gösterilmiştir. Şekil 4.54 incelendiğinde yıllara göre olan toplam rıhtım uzunluklarının üssel olarak konteyner ticaret artışına paralel bir şekilde arttığı görülmektedir.

4.9. DES2 Modeline İlişkin Bulgular

4.9.1. Liman Stok Sahasına İlişkin Bulgular

DES2 modeli için hesaplanan liman stok saha kapasiteleri DES1 modeline benzer bir şekilde hesaplanmıştır. DES2 modelinde ihraç ve ithal stokları için tek bir kapasite belirlenmiştir. Yıllara göre DES2 modeli liman optimum saha kapasiteleri Şekil 4.55’de gösterilmiştir.

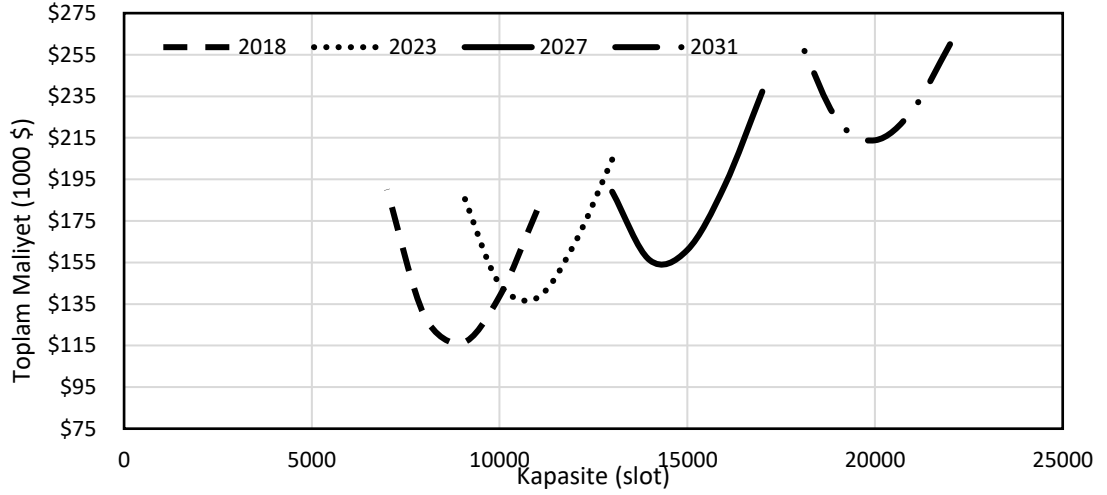


Şekil 4.55. DES2 modeli için optimum liman saha kapasitesi

Saha kapasiteleri yapılan çalışma sonucunda 2018 yılı için toplam 2363 slot ve 2031 yılı için toplam 6040 slot olarak belirlenmiştir.

4.9.2. Kuru Liman Stok Sahasına İlişkin Bulgular

Kuru liman stok sahası kapasiteleri DES1 modeline benzer bir şekilde hesaplanmıştır. DES2 modeli için kuru liman stok sahası kapasitesi optimizasyonu Şekil 4.56’da gösterilmiştir.

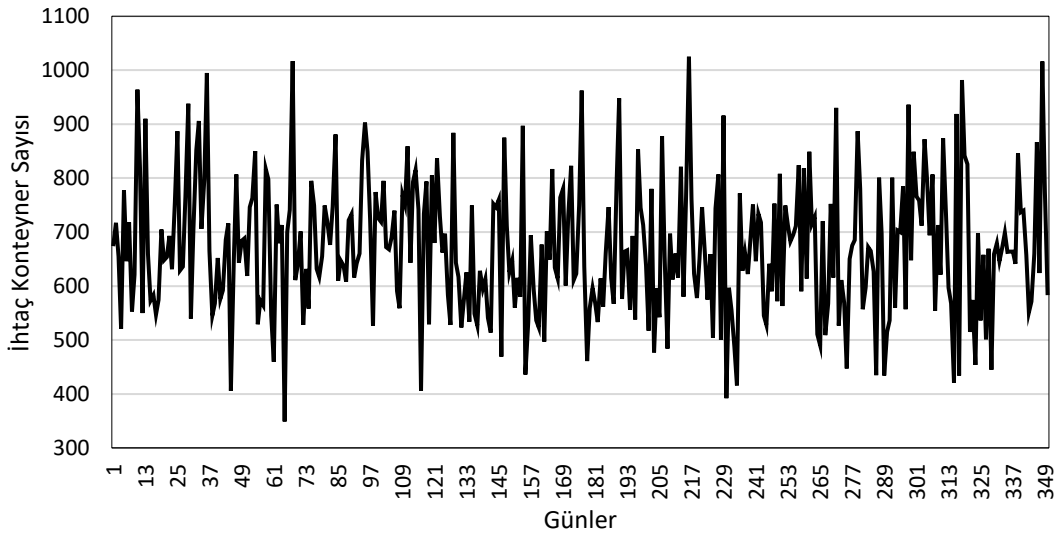


Şekil 4.56. DES2 modeli kuru liman saha kapasitesi optimizasyonu

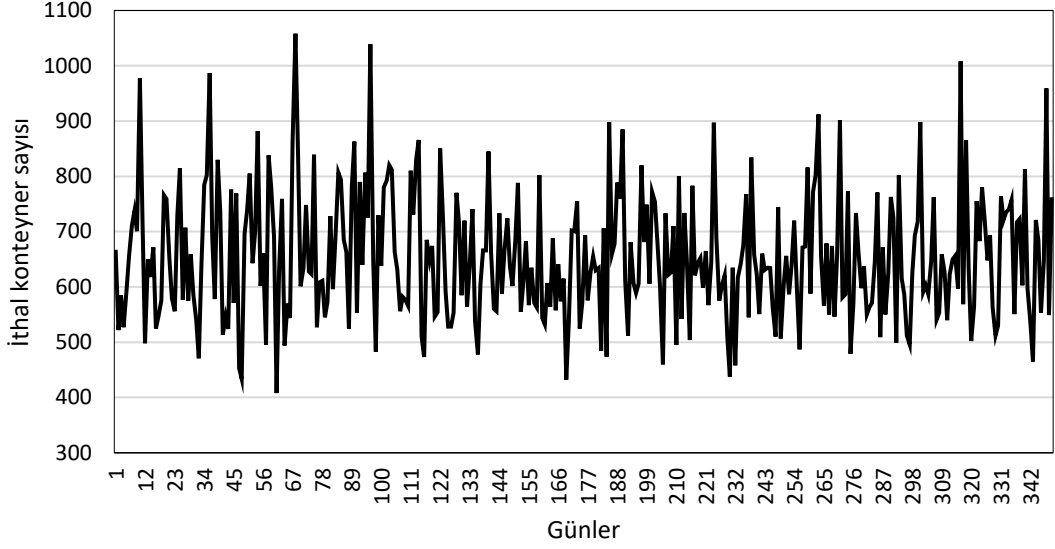
Şekil 4.56 farklı slot kapasiteleri için toplam maliyetler hesaplanarak minimum toplam maliyete denk gelen slot kapasitesi o yıl için optimum kapasite olarak belirlenmiştir.

4.9.3. Demiryolu Taşımacılığına İlişkin Bulgular

DES2 modeli ile yapılan kuru liman bağlantılı demiryolu işletmeciliği modeli kapsamında günlük kuru limandan limana gönderilen ihraç ve limandan kuru limana gönderilen ithal konteyner sayılar 2018 yılı için Şekil 4.57 ve Şekil 4.58'de gösterilmiştir.



Şekil 4.57. Demiryolu liman yönüne taşınan ihraç konteyner sayısı



Şekil 4.58. Demiryolu ile kuru liman yönüne taşınan ithal konteyner sayısı

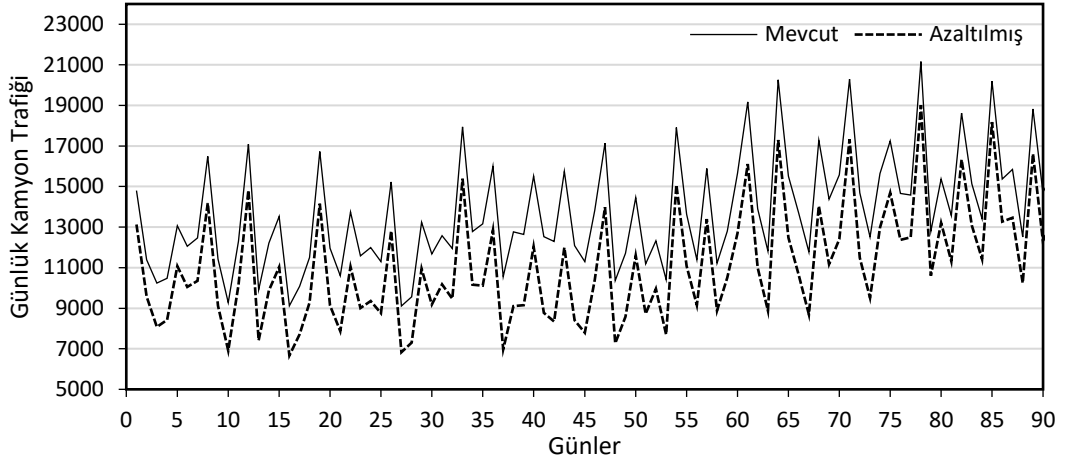
DES2 model işletmesinde demiryolu ile taşınan günlük konteyner sayılarının, belirlenen demiryolu kapasitesi ile uyumlu olarak artıp azaldığı görülmektedir. Modelde kapasiteden fazla boşaltılan ithal konteynerler demiryolu kapasitesinin yeterli olmadığı durumlarda liman stok sahasında 1 günden fazla beklemek zorunda kalmaktadır.

4.9.4. Rıhtım Boyuna İlişkin Bulgular

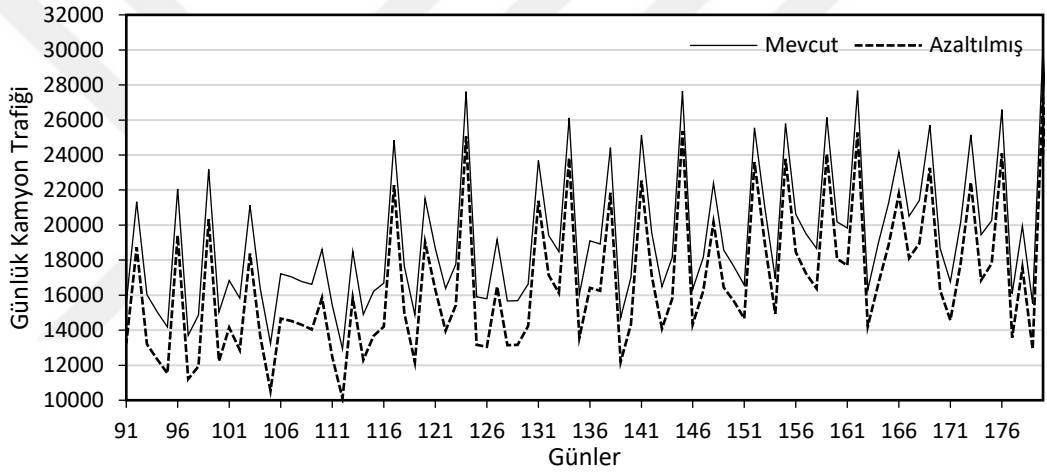
DES2 modeli için rıhtım boyunun optimizasyonu DES1 modeline benzer şekilde yapılmıştır. Her iki modelde de benzer rıhtım boyları kullanılmıştır.

4.10. Kenti İçi Trafik Simülasyon Bulguları

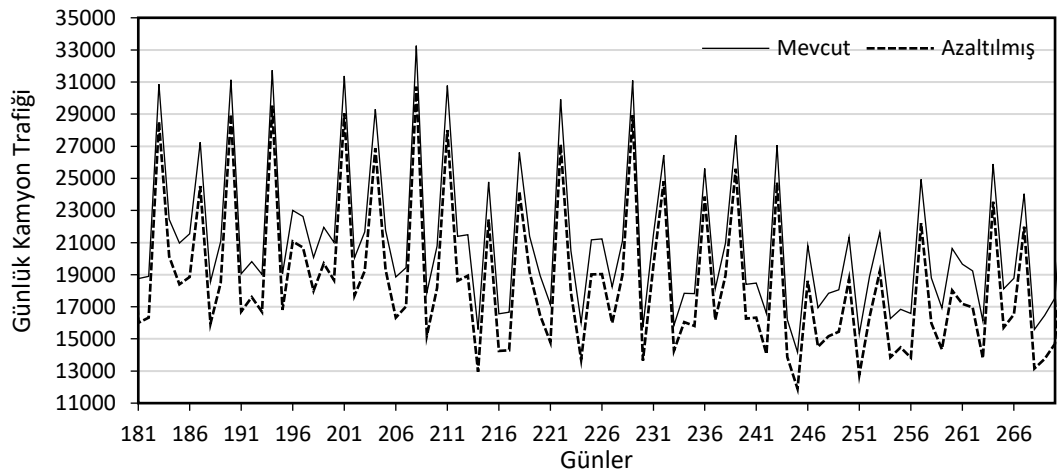
Kent içinde DES2 modelinin uygulanması sonucunda azaltılacak günlük kamyon trafiği ve mevcut kamyon trafiği Ocak-Mart dönemi için Şekil 4.59 , Nisan-Haziran dönemi için Şekil 4.60'de , Temmuz-Eylül dönemi için Şekil 4.61'de, Ekim-Aralık dönemi için Şekil 4.62'de görülmektedir.



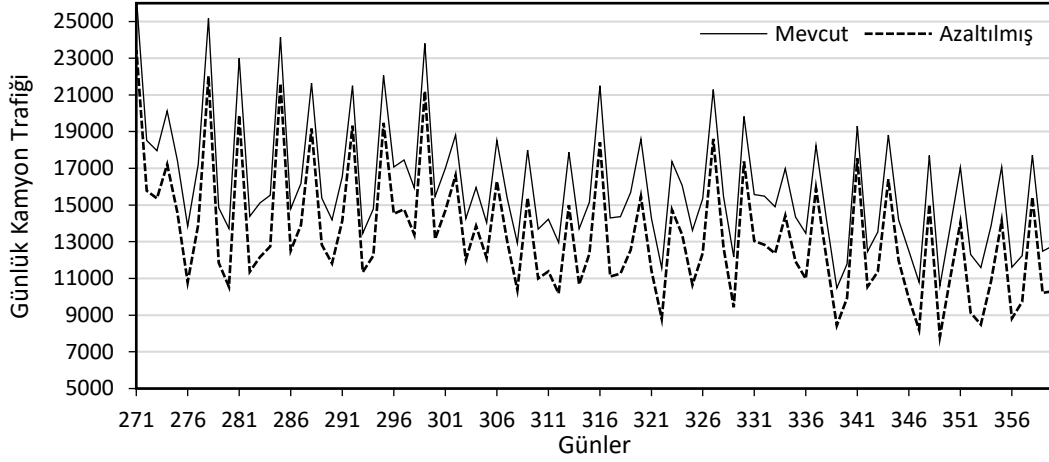
Şekil 4.59. Ocak-Mart dönemi mevcut ve azaltılmış kamyon trafikleri



Şekil 4.60. Nisan-Haziran dönemi mevcut ve azaltılmış kamyon trafikleri



Şekil 4.61. Temmuz-Eylül dönemi mevcut ve azaltılmış kamyon trafikleri



Şekil 4.62. Ekim-Aralık dönemi mevcut ve azaltılmış kamyon trafikleri

DES2 modelinin uygulanması sonucunda mevcut durumda 2018 yılı için 17,131 olan yıllık ortalama günlük kent içi kamyon trafiği, 14,378 seviyesine düşecektir. Bu bulgulara göre kuru liman uygulaması sonucunda %16 mertebesinde kent içi kamyon trafiğinde düşüş beklenmektedir.

4.11. Simülasyon Bulgularına Göre Maliyet Analizi

Maliyet modeli liman gelişme senaryoları dahilinde 2018 ve 2031 yılları için uygulanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan; Rıhtım Maliyet Modeli, Stok Saha Maliyet Modeli, Demiryolu Taşımacılığı Maliyet Modeli ve Kuru Liman Maliyet Modeli sonuçları ayrı ayrı hesaplanarak sunulmuştur.

Tablo 4.26'de Tek liman (DES1 modeli) simülasyon çıktıları, Tablo 4.27'de Liman + Kuru Liman (DES2 modeli) senaryosu için simülasyon çıktıları, Tablo 4.28'da Rıhtım maliyet modeli sonuçlar, Tablo 4.29'de Liman stok saha maliyet modeli sonuçları (RTG kullanım senaryosu), Tablo 4.30'de Liman stok saha maliyet modeli sonuçları (SC kullanım senaryosu), Tablo 4.31'de Kuru liman maliyet modeli sonuçları (RTG kullanım senaryosu) Tablo 4.32'de Kuru liman maliyet modeli sonuçları (RS kullanım senaryosu), Şekil 4.63'da Demiryolu taşımacılığı maliyet modeli sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 4.26. Liman simülasyonu sonuçları (DES1)

Limn Simülasyon Sonuçları	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
İthal Saha Kapasitesi (kont.)	9,235	9,382	9,683	10,108	10,658	11,223	12,130	13,053	14,099	15,391	16,565	17,985	19,528	21,154
İhraç Saha Kapasitesi (kont.)	9,072	9,529	9,840	10,305	10,925	12,804	12,629	13,714	14,953	15,120	17,896	19,600	21,459	23,897
İthal Saha Kapasitesi (TEU)	13,021	13,228	13,653	14,253	15,028	15,824	17,104	18,404	19,880	21,702	23,357	25,358	27,535	29,827
İhraç Saha Kapasitesi (TEU)	12,792	13,437	13,874	14,530	15,404	18,054	17,807	19,336	21,084	21,319	25,234	27,636	30,257	33,695
Ortalım İstif Kat Yüksekliği	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Konteyner İstif Blok Kapasite (kont.)	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
İhraç Konteyner İstif Blok Sayı	10	10	10	11	11	12	13	14	15	16	17	19	20	22
İthal Konteyner İstif Blok Sayı	11	11	12	12	13	14	15	16	17	18	20	21	23	25
İstif Blok Alanı	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218
Toplam Saha Alanı	149,152	152,234	157,248	164,195	173,075	183,887	196,631	211,308	227,918	246,460	266,934	289,341	313,681	339,953

Tablo 4.27. Liman simülasyon sonuçları (DES2)

Limn Simülasyon Sonuçları (İKAl)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Limn Saha Kapasitesi (kont.)	6,500	6,522	6,545	6,583	6,636	6,754	6,785	6,882	6,994	7,064	7,262	7,417	7,588	7,793
Limn Saha Kapasitesi (TEU)	9,165	9,196	9,229	9,282	9,357	9,523	9,567	9,704	9,861	9,960	10,239	10,459	10,699	10,988
Konteyner İstif Blok Kapasite (kont.)	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
İstif Blok Sayısı	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	12	12
Ortalım İstif Kat Yüksekliği	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
İstif Blok Alanı	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218
Toplam Saha Alanı	72,175	69,141	72,175	72,175	72,175	72,175	72,175	79,393	79,393	79,393	79,393	79,393	86,610	86,610

Tablo 4.28. Rıhtım maliyet modeli sonuçları

Rıhtım Maliyet Kalemleri	Bugünkü Değeri	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Rıhtım İnşaat Maliyeti	\$ 6,078,262	\$ -	\$ 180,436	\$ 247,220	\$ 311,112	\$ 379,721	\$ 421,900	\$ 564,878	\$ 616,666	\$ 707,036	\$ 844,492	\$ 864,385	\$ 1,017,044	\$ 1,134,590	\$ 1,248,805
Rıhtım Bakım Maliyeti	\$ 6,415,370	\$ 337,500	\$ 360,022	\$ 386,784	\$ 417,811	\$ 453,509	\$ 492,744	\$ 540,698	\$ 593,159	\$ 652,237	\$ 720,552	\$ 792,593	\$ 875,149	\$ 966,884	\$ 1,067,728
Rıhtım Vnci		5	5	5	5	5	6	6	7	7	8	9	10	10	11
Rıhtım Vnci Fiyatı	\$ 60,000,000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 12,166,529	\$ -	\$ 13,159,318	\$ -	\$ 14,233,118	\$ 14,802,443	\$ 15,394,541	\$ -	\$ 16,650,735
Vinç Bakım Maliyeti	\$ 59,400,000	\$ 3,000,000	\$ 3,120,000	\$ 3,244,800	\$ 3,374,592	\$ 3,509,576	\$ 4,379,950	\$ 4,555,148	\$ 5,526,913	\$ 5,747,990	\$ 6,831,897	\$ 7,993,319	\$ 9,236,724	\$ 9,606,193	\$ 10,989,485
Vinç Operasyon Maliyeti	\$ 19,148,968	\$ 925,310	\$ 962,443	\$ 1,019,653	\$ 1,099,230	\$ 1,203,644	\$ 1,335,561	\$ 1,497,848	\$ 1,693,594	\$ 1,926,122	\$ 2,199,000	\$ 2,516,064	\$ 2,881,429	\$ 3,258,415	\$ 3,699,540
Vinç Operatör Maliyeti	\$ 990,000	\$ 50,000	\$ 52,000	\$ 54,080	\$ 56,243	\$ 58,493	\$ 72,999	\$ 75,919	\$ 92,115	\$ 95,800	\$ 113,865	\$ 133,222	\$ 153,945	\$ 160,103	\$ 183,158

Tablo 4.29. Liman stok saha maliyet modeli sonuçları (RTG kullanım senaryosu)

	Bugünkü Değeri	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Saha İnşaa Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 447,829,466	\$ 181,977,751	\$ 6,250,525	\$ 6,574,000	\$ 9,957,596	\$ 13,601,361	\$ 29,559,460	\$ 9,211,498	\$ 26,251,789	\$ 31,098,591	\$ 20,642,632	\$ 58,123,767	\$ 47,794,103	\$ 54,147,505	\$ 67,269,585
Saha Bakım Maliyeti (DES1) (\$/Yıl)	\$ 4,351,963.88	\$ 203,273	\$ 218,386	\$ 234,465	\$ 254,966	\$ 280,358	\$ 324,591	\$ 347,864	\$ 391,102	\$ 441,484	\$ 482,201	\$ 566,415	\$ 642,459	\$ 728,641	\$ 832,928
Saha bakım Maliyeti (DES2) (\$/Yıl)	\$ 2,845,822	\$ 203,273	\$ 211,404	\$ 219,860	\$ 228,655	\$ 237,801	\$ 247,313	\$ 257,205	\$ 267,493	\$ 278,193	\$ 289,321	\$ 300,894	\$ 312,929	\$ 325,447	\$ 338,465
Yıllara Göre RTG Sayısı		9	9	9	10	10	11	11	12	14	15	16	18	19	21
RTG Amortizman Maliyeti	\$ 21,000,000	\$ 9,000,000	\$ -	\$ -	\$ 1,124,864	\$ -	\$ 1,216,653	\$ -	\$ 1,315,932	\$ 2,737,138	\$ 1,423,312	\$ 1,480,244	\$ 3,078,908	\$ 1,601,032	\$ 3,330,147
RTG Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 11,040,000	\$ 540,000	\$ 561,600	\$ 584,064	\$ 674,918	\$ 701,915	\$ 802,991	\$ 835,111	\$ 947,471	\$ 1,149,598	\$ 1,280,981	\$ 1,421,035	\$ 1,662,610	\$ 1,825,177	\$ 2,097,993
RTG Operasyon + Operator Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 9,686,484	\$ 470,655	\$ 489,542	\$ 518,479	\$ 558,614	\$ 611,181	\$ 677,513	\$ 759,046	\$ 857,325	\$ 974,009	\$ 1,110,887	\$ 1,269,874	\$ 1,453,030	\$ 1,642,016	\$ 1,863,091
Terminal Kamyonu Operasyon Maliyeti	\$ 95,744,839	\$ 4,626,551.44	\$ 4,812,217.27	\$ 5,098,266.34	\$ 5,496,149.56	\$ 6,018,221.96	\$ 6,677,802.70	\$ 7,489,238.58	\$ 8,467,971.40	\$ 9,630,609.28	\$ 10,995,002.22	\$ 12,580,322.12	\$ 14,407,147.48	\$ 16,292,075.87	\$ 18,497,700.90

Tablo 4.30. Liman stok saha maliyet modeli sonuçları (SC kullanım senaryosu)

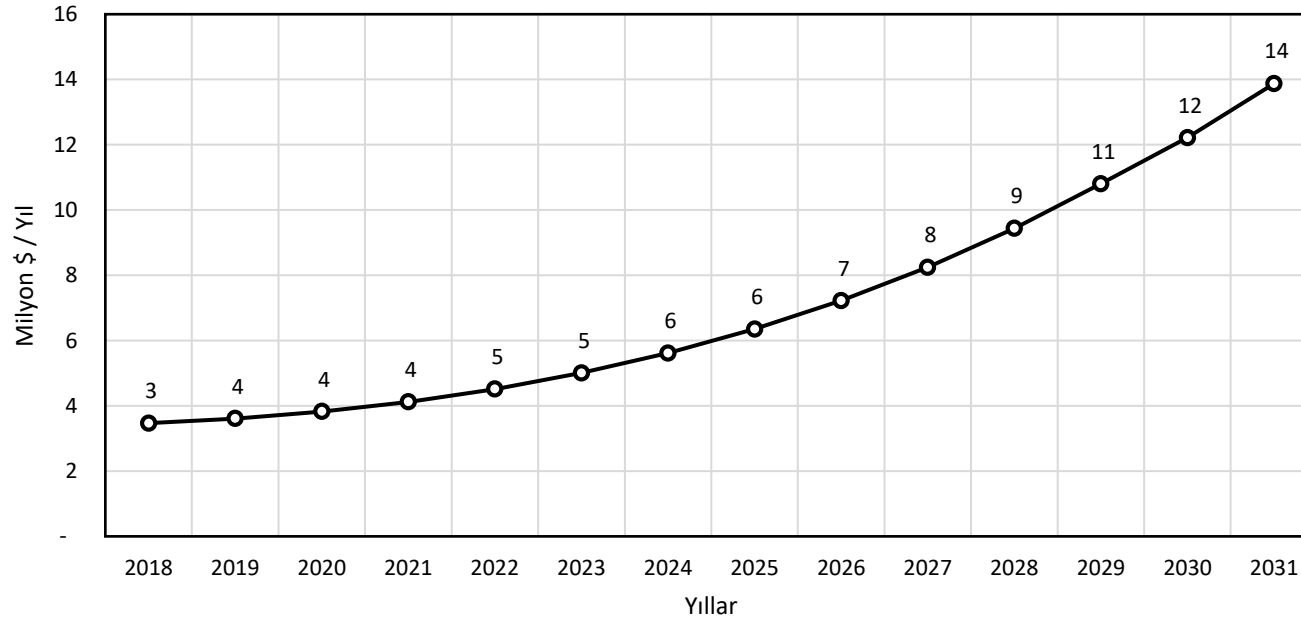
	Bugünkü Değeri	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Saha İnşaa Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 457,357,752	\$ 185,849,618	\$ 6,383,515	\$ 6,713,873	\$ 10,169,460	\$ 13,890,752	\$ 30,188,385	\$ 9,407,488	\$ 26,810,338	\$ 31,760,263	\$ 21,081,837	\$ 59,360,443	\$ 48,810,998	\$ 55,299,579	\$ 68,700,853
Saha Bakım Maliyeti (DES1) (\$/Yıl)	\$ 2,652,626	\$ 123,900	\$ 133,111	\$ 142,912	\$ 155,408	\$ 170,885	\$ 197,846	\$ 212,031	\$ 238,386	\$ 269,095	\$ 293,913	\$ 345,243	\$ 391,594	\$ 444,124	\$ 507,690
Saha bakım Maliyeti (DES2) (\$/Yıl)	\$ 1,734,596	\$ 123,900	\$ 128,856	\$ 134,010	\$ 139,370	\$ 144,945	\$ 150,743	\$ 156,773	\$ 163,044	\$ 169,565	\$ 176,348	\$ 183,402	\$ 190,738	\$ 198,367	\$ 206,302
Yıllara Göre SC Sayısı		13	14	14	14	15	16	17	19	20	22	25	27	29	32
SC Amortizman Maliyeti	\$ 25,600,000	\$ 10,400,000	\$ 832,000	\$ -	\$ -	\$ 935,887	\$ 973,322	\$ 1,012,255	\$ 2,105,491	\$ 1,094,855	\$ 2,277,299	\$ 3,552,586	\$ 2,463,126	\$ 2,561,652	\$ 3,996,176
SC Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 13,296,000	\$ 624,000	\$ 698,880	\$ 726,835	\$ 755,909	\$ 842,298	\$ 934,389	\$ 1,032,500	\$ 1,200,130	\$ 1,313,826	\$ 1,503,017	\$ 1,776,293	\$ 1,995,132	\$ 2,228,637	\$ 2,557,553
SC Operasyon + Operator Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 38,409,936	\$ 1,858,621	\$ 1,933,207	\$ 2,047,959	\$ 2,207,459	\$ 2,416,648	\$ 2,680,854	\$ 3,005,818	\$ 3,397,716	\$ 3,863,192	\$ 4,409,387	\$ 5,043,971	\$ 5,775,175	\$ 6,529,639	\$ 7,412,401

Tablo 4.31. Kuru liman maliyet modeli sonuçları (RTG kullanım senaryosu)

	Bugünkü Değeri	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Kuru Liman Saha İnşaa Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 62,542,595	\$ 23,194,743	\$ 1,466,319	\$ 1,816,434	\$ 2,192,211	\$ 2,595,144	\$ 3,026,805	\$ 3,488,845	\$ 3,983,007	\$ 4,511,119	\$ 5,075,107	\$ 5,676,997	\$ 6,318,917	\$ 7,003,108	\$ 7,731,924
Kuru Liman Saha Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 4,133,380	\$ 173,961	\$ 191,916	\$ 213,216	\$ 238,187	\$ 267,178	\$ 300,566	\$ 338,755	\$ 382,177	\$ 431,298	\$ 486,613	\$ 548,655	\$ 617,993	\$ 695,236	\$ 781,035
Kuru Liman Saha Kiralama Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 78,731,051	\$ 3,313,535	\$ 3,655,550	\$ 4,061,263	\$ 4,536,886	\$ 5,089,097	\$ 5,725,061	\$ 6,452,470	\$ 7,279,570	\$ 8,215,198	\$ 9,268,821	\$ 10,450,574	\$ 11,771,299	\$ 13,242,595	\$ 14,876,860
Yıllara Göre RTG Sayısı		9	9	9	10	10	11	11	12	14	15	16	18	19	21
RTG Amortizman Maliyeti	\$ 21,000,000	\$ 9,000,000	\$ -	\$ -	\$ 1,124,864	\$ -	\$ 1,216,653	\$ -	\$ 1,315,932	\$ 2,737,138	\$ 1,423,312	\$ 1,480,244	\$ 3,078,908	\$ 1,601,032	\$ 3,330,147
RTG Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 11,040,000	\$ 540,000	\$ 561,600	\$ 584,064	\$ 674,918	\$ 701,915	\$ 802,991	\$ 835,111	\$ 947,471	\$ 1,149,598	\$ 1,280,981	\$ 1,421,035	\$ 1,662,610	\$ 1,825,177	\$ 2,097,993
RTG Operasyon + Operator Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 9,686,484	\$ 470,655	\$ 489,542	\$ 518,479	\$ 558,614	\$ 611,181	\$ 677,513	\$ 759,046	\$ 857,325	\$ 974,009	\$ 1,110,887	\$ 1,269,874	\$ 1,453,030	\$ 1,642,016	\$ 1,863,091
Terminal Kamyonu Operasyon Maliyeti	\$ 95,744,839	\$ 4,626,551	\$ 4,812,217	\$ 5,098,266	\$ 5,496,150	\$ 6,018,222	\$ 6,677,803	\$ 7,489,239	\$ 8,467,971	\$ 9,630,609	\$ 10,995,002	\$ 12,580,322	\$ 14,407,147	\$ 16,292,076	\$ 18,497,701

Tablo 4.32. Kuru liman maliyet modeli sonuçları (RS kullanım senaryosu)

	Bugünkü Değeri	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Kuru Liman Saha İnşaa Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 25,017,038	\$ 9,277,897	\$ 586,528	\$ 726,573	\$ 876,884	\$ 1,038,058	\$ 1,210,722	\$ 1,395,538	\$ 1,593,203	\$ 1,804,448	\$ 2,030,043	\$ 2,270,799	\$ 2,527,567	\$ 2,801,243	\$ 3,092,770
Kuru Liman Saha Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 1,322,682	\$ 555,667	\$ 61,413	\$ 68,229	\$ 76,220	\$ 85,497	\$ 96,181	\$ 108,401	\$ 122,297	\$ 138,015	\$ 155,716	\$ 175,570	\$ 197,758	\$ 222,476	\$ 249,931
Kuru Liman Saha Kiralama Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 110,223,471	\$ 4,638,949	\$ 5,117,770	\$ 5,685,768	\$ 6,351,641	\$ 7,124,735	\$ 8,015,086	\$ 9,033,458	\$ 10,191,398	\$ 11,501,278	\$ 12,976,350	\$ 14,630,803	\$ 16,479,819	\$ 18,539,633	\$ 20,827,603
Yıllara Göre RS Sayısı		18	18	19	19	20	22	23	25	28	30	33	37	40	43
RS Amortisman Maliyeti	\$ 32,250,000	\$ 13,500,000	\$ -	\$ 811,200	\$ -	\$ 877,394	\$ 1,824,979	\$ 948,989	\$ 1,973,898	\$ 3,079,280	\$ 2,134,968	\$ 3,330,550	\$ 4,618,362	\$ 3,602,322	\$ 3,746,415
RS Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 16,875,000	\$ 810,000	\$ 842,400	\$ 924,768	\$ 961,759	\$ 1,052,873	\$ 1,204,486	\$ 1,309,605	\$ 1,480,423	\$ 1,724,397	\$ 1,921,471	\$ 2,198,163	\$ 2,563,191	\$ 2,881,858	\$ 3,221,917
RS Operasyon + Operator Maliyeti (\$/Yıl)	\$ 19,260,968	\$ 933,310	\$ 970,763	\$ 1,028,306	\$ 1,108,229	\$ 1,213,003	\$ 1,345,294	\$ 1,507,970	\$ 1,704,122	\$ 1,937,070	\$ 2,210,387	\$ 2,527,906	\$ 2,893,745	\$ 3,271,223	\$ 3,712,861



Şekil 4.63. Demiryolu taşımacılığı maliyet modeli sonuçları

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Analizi Sonuçları

Liman maliyet analiz tek liman (DES1 modeli) ve liman + kuru liman (DES2 modeli) gelişim senaryoları için farklı elleçleme ekipmanları kombinasyonları ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda liman stok sahası inşaat maliyetinin değişimine göre tek liman ve liman + kuru liman senaryolarının birim konteyner başına elleçleme maliyetlerinin değişimi Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Burada kuru liman ile liman gelişiminin ekonomik bir şekilde işletilmesi için liman saha inşaat maliyetinin 2018 yılı için $\$106.5/m^2$ değerinden daha yüksek olması gerekmekte, bu maliyet değerinin altındaki durumlarda ise mevcut liman sahalarının büyütülmesi daha ekonomik olmaktadır.

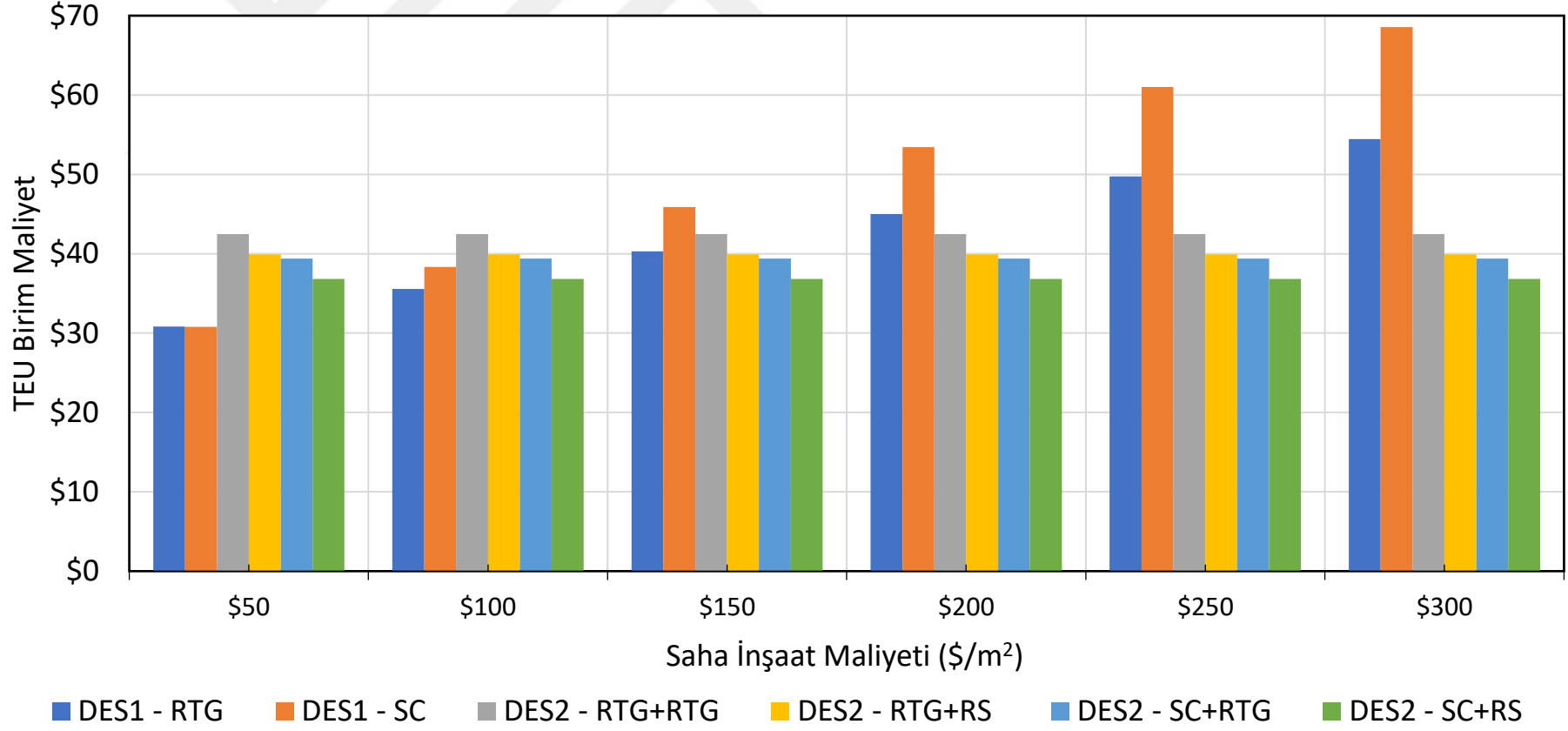
5.2. Demiryolu Kapasite Analizi Sonuçları

Yapılan demiryolu simülasyon çalışması sonuçlarına göre, liman ve kuru liman yönleri için farklı vagon sayıları (N_V) ve DE33000, E68000 lokomotif tiplerine göre sefer süreleri, günlük sefer sayıları ve sefer başına tek yönde taşınabilen TEU cinsinden konteyner yükü Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Vagon sayısı ve lokomotif tiplerine göre sefer süreleri ve günlük yük

	DE33000		E68000	
N_V (adet)	30	40	30	40
Liman yönü (min)	36.00	39.08	28.93	32.49
Kuru liman yönü (min)	39.79	45.61	35.02	35.74
T_s (min)	20	20	20	20
T_{tot} (min)	95.79	104.69	83.95	88.23
$N_{gün}$	5.0	4.6	5.7	5.4
TEU	451	550	515	653

Sonuçlar doğrultusunda, E68000 lokomotifinin DE33000 lokomotifine oranla günlük %9 daha fazla sefer ve yük taşımacılığı yapabildiği görülmüştür. 30 vagonlu katar için her iki lokomotif arasındaki toplam sefer süresi farkı 12 dakika ve 40 vagon için ise 16 dakika olmaktadır. Bu noktada E68000 lokomotifinin elektrikli lokomotif olması nedeni dizel elektrik muadiline oranla çevresel ve ekonomik anlamda avantajı vardır ve kullanılması önerilmektedir.



Şekil 5.1. DES1 ve DES2 gelişim senaryoları elleçleme maliyetleri

Demiryolu kapasitesinin belirlenmesinde günlük işletilecek lokomotif sayısının belirlenmesi gerekmektedir. 2018, 2023 ve 2031 yılları için liman ve kuru liman yönüne işletme ihtiyacı duyular E68000 sayıları 40 vagon seti Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Kapasite artışına göre ortalama günlük yük, lokomotif ve vagon sayısı

Yıllar	İthal (TEU)	İhraç (TEU)	n _{LP}	n _{LD}	n _L	n _c
2018	2138	2496	4	4	4	320
2023	2544	2970	4	5	5	400
2031	5183	5998	8	8	8	640

Çalışmada gereken vagon sayıları yıldaki günler içerisinde günlük yük dalgalanmasına göre değişiklik gösterebilmektedir.

Tablo 5.3. Simülasyon çalışması analiz sonuçları

Yıl	Gemi Sayısı	Rıhtım Boyu (m)	DES1	DES2		Kamyon Trafiği	
			Liman Saha (m ²)	Liman Saha (m ²)	Kuru Liman (m ²)	Kamyon Trafiği (YOGT)	Azaltıl. Trafik (YOGT)
2018	924	1356	279,725	33,318	DES2	17,254	14,666
2019	940	1385	285,505	35,262	405,930	17,545	14,563
2020	995	1430	294,909	37,585	430,460	18,584	15,611
2021	1069	1486	307,937	40,287	459,878	19,970	16,775
2022	1162	1551	324,590	43,367	494,184	21,702	18,229
2023	1195	1620	344,867	46,826	527,724	22,314	18,521
2024	1403	1709	368,769	50,664	577,462	26,206	22,013
2025	1552	1803	396,295	54,881	626,433	28,978	24,341
2026	1719	1906	427,445	59,477	680,292	32,096	26,961
2027	1992	2025	462,219	64,451	745,323	37,191	30,868
2028	2109	2142	500,618	69,804	802,675	39,374	33,074
2029	2331	2274	542,641	75,537	871,199	43,532	37,438
2030	2573	2416	588,288	81,647	944,612	48,037	40,832
2031	2802	2565	637,560	85,164	1,020,737	52,325	43,953

İzmir Alsancak Limanı'nın mevcut faaliyetlerini tamamıyla aynı bölgede sürdürmesi halini esas alan DES1 modellemesi sonucu limanda yer alacak tesislerin boyutları ve konumları DES1 PROJEKSİYONU'nda (Şekil.5.2) ve benzer biçimde İzmir Alsancak Limanı-Demiryolu-Manisa Kuru Liman bağlantılı DES2 PROJEKSİYONU'nda (Şekil.5.3) görülmektedir.

DES1 MODEL PROJESİYONU



Şekil 5.2. DES1 model projeksiyonu ile planlanan stok sahaları

DES2 MODEL PROJESİYONU



Şekil 5.3. DES2 modeli ile küçültülen ve kente temin edilen atıl sahalardan

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kent içi limanların bölgesel/ulusal ulaşım ağı, intermodal taşımacılık ve bölgesel/ulusal ticarete ve ekonomiye katkıları bilinmektedir. Bir taraftan kent içi limanların kentle birlikte yaşaması olgusunu muhafaza ederken, diğer taraftan da limanlardan kaynaklanan olumsuzlukların kent yaşamına zarar vermesinin önlenmesi amaçlanmaktadır. Bunun için de simülasyon ve optimizasyon yöntemlerinden yararlanarak limanların hem fonksiyonlarını sürdürmesi hem de teknik ve ekonomik açıdan optimum fiziksel büyüklüğe sahip olması yoluna gidilmektedir.

Bu tez kapsamında: *liman kökenli kargo taşımacılığında doğan trafiğin kent içi ulaşımında sıkışıklığın önlenmesi, limanların kargo (konteyner) stok sahalarının projeksiyona bağlı olarak artma ihtiyacı, uygun alanların kamulaştırılması, kamulaştırma maliyetlerinin kent içi özellikle kıyı kesimlerinde yüksek olması, elleçleme ve depolama maliyetlerinin de alan kamulaştırma maliyetlerinin artışına bağlı olarak artış göstermesi, limanların diğer limanlara karşı rekabetinde bu elleçleme-depolama maliyetinden dolayı dezavantajlı duruma düşmesi, ulusal karayolu ve demiryolu ağında trafik artışı, ithalat ve ihracat yüklerinin iç bölgelere sevkiyatında karşılaşılan zorluklar, gümrükleme ve kontrollerde görülen aksaklıklar göz önüne alınarak böylesi tetikleyici problemlerin çözülmesi için özgün bir simülasyon modeli (Kesikli Olay Simülasyonu- Discrete-Event Simulation DES) uygulaması yoluna gidilmiştir. Bu model; iki alt modelden DES1 (kent içi limanın faaliyetinin tamamını kent içinde sürdürmesi, genişlemeden doğan yüksek maliyetli kamulaştırma alanı ve artan rihtim uzunlukları kent içi ve kıyı uzunluğunu kullanarak sağlaması esasına dayanan model) ve DES2 (liman fonksiyonlarının bir kısmını kent içinde bir kısmını da demiryolu kordonu vasıtasıyla kuru limanda sürdürmesi, düşük maliyetli kamulaştırma alanı ve artan rihtim uzunluklarını kent içi ve kıyı uzunluğunu kullanarak sağlaması esasına dayanan model) modelinden oluşmaktadır.*

Özgün olarak geliştirilen ARENA yazılım tabanlı DES modeli ile optimum rihtim uzunluğu, optimum liman stok alanı, demiryolu kapasitesi ve kuru liman optimum stok alanı hesaplanabilmektedir. Bu modelleme ile her bir optimizasyon için maliyet modeli üretilmiş ve sisteme deniz yoluyla gemi trafiğine bağlı olarak varan/ayrılan konteynerler ile karayoluyla kamyon trafiğine bağlı olarak varan/ayrılan

konteynerlerin elleçleme, stoklama ve ulaştırma işlemleri yürütülmüştür. Denizyolu-demiryolu ve karayolu bağlantılı intermodal sistem DES modelinde hesaba katılmıştır. DES modeli ile rıhtım ve stok alanları (seçilen modele göre liman ardındaki ve kuru limandaki alanları) ile demiryolu bağlantısı arasında *entegrasyon* yapılmıştır. Modelin işletiminde değinilen problemleri bünyesinde barındıran kent içi limanlardan; İzmir Alsancak limanı üzerine modelleme çalışması yapılmıştır. Simülasyon sonucunda 2018-2031 yılları arasındaki veriler kullanılarak aşağıda değinilen sonuçlar elde edilmiştir:

Gemi Sayısı: 2018 yılında 924 gemi sayısı 2031 yılında 2,802 gemi sayısına ulaşılmıştır. Yapılan ticaret artışı ve gemi sayısı projeksiyonu Türkiye'nin 2023 yılı büyüme hedeflerine dayandırılmıştır.

Rıhtım Boyu: 2018 yılındaki mevcut rıhtım boyu 1,356m iken simülasyon sonucunda optimum rıhtım boyu 2,565m ye ulaşmıştır. DES1 ve DES2 projeksiyonlarda optimum rıhtım boylarının yıllara göre artış değerleri ve plandaki konumları değiştirilmeksizin alınmıştır.

Kent içi Ulaşım ve Kamyon Trafığı: Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü istatistikleri kullanılarak kent içi kamyon YOGT; 17,254 iken bu değer 2031 yılında 52,325'e ulaşmıştır. DES 2 modelinde kuru limana konteynerleri getiren ve kuru limandan konteynerleri götüren kamyonlar kent içi trafiğe girmediklerinden dolayı kent içi trafikteki kamyon YOGT azalarak 2018 yılında 14,666'a ve 2031 yılında da 43,953 değerine düşerek kent içi kamyon trafiğinden kaynaklanan sıkışma önlenmiştir.

Stok Sahası: optimum stok alanının belirlenmesinde liman stok alanı ve liman ve kuru liman bütünleşik stok alanı seçilen modellere bağlı olarak hesaplanmıştır: *Liman Stok Alanı;* DES1 modelinde liman stok sahası büyüklüğü 2018 yılında 279,725 m² iken bu değer 2031 yılında 637,560 m² değerine ulaşmıştır. 357,835 m² alanın yıllar içinde projeksiyona bağlı olarak kamulaştırılmasının ve kamulaştırma bedeli ödenmesinin (\$71,567,000) gereği ortaya çıkmıştır. *Liman ve Kuru Liman Bütünleşik Stok Alanı:* DES2 modelinde liman stok sahası büyüklüğü 2018 yılında mevcut değer 279,725 m² iken bu değer iç bölgede kuru limanda ağırlıklı olarak stoklama yapıldığından

(gelen/giden konteynerler bir gün liman stok sahasında diğer stoklama günlerini kuru limanda yaptıklarından) dolayı düşerek 33,318 m² ye gerilemiştir. 246,407 m² alan kent içi aktivitelere ve sosyal tesislere terk edilerek kentin yaşam kalitesi yükseltilmiş ve yeşil limana dönüştürülmüştür. Bununla beraber, kuru limanın kullanımı ile konteyner stoklamasında düşük maliyetli kamulaştırma alanı temin edilmiş ve yüksek oranda stoklama günü sağlanmıştır. 2018 yılında kuru limanda stok alanı 387,835m² büyüklüğü ve \$3,878,350 kamulaştırma bedeli (RS elleçleme ekipmanı için) optimum olarak bulunmuştur. Bu değer 2031 yılında ise 1,020,737 m² ve \$10,207,370 kamulaştırma bedeline ulaşmıştır. Benzer hesaplama 2031 yılında ise 85,164 m² optimum stok alanına gerek duyulmuş ve projeksiyon dahilinde kamuya ve kent içi kullanıma dönüştürülen alan 194,561 m² değerine ulaşmıştır.

Demiryolu Kapasitesi: DES1 modeli karayolu taşımacılığına dayalı olarak planlandığından dolayı DE33000 ve E68000 lokomotifler yalnızca DES2 modelinde kullanılmıştır. 2018 yılı için bir günlük konteyner sevkiyatında optimum 4 lokomotif (E68000 tipi 2 tren orijinden 2 tren de destinasyondan hareket etmek üzere) ve lokomotif başına 80 vagon olmak üzere toplam 320 vagon optimum olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2031 yılında ise 8 lokomotif ve 640 vagona yükselmiştir.

Şehircilik ve Yeşil Liman: DES1 projeksiyonunda mevcut alan = 279,800 m², genişleme alanı 1 = 208,208 m², genişleme alanı 2 = 53,531 m² ve genişleme alanı 3 = 144 766 m² ve DES2 projeksiyonunda ise stok alanları S1 = 106,869 m², S2 = 91,583 m², S3 = 14,949 m², ek depo sahası = 13.807 m², demiryolu şebekesi = 91,583 m² arıtma binası = 15,095 m², idari bina = 10,452 m² ve CFS binası = 15,295 m² olarak planlandığında geri kalan alanlar kent içi kullanıma ve sosyal hizmet veren tesis alanlarına dönüştürülmüştür. Yeşil alanların toplamı DES2 modeli uygulandığında toplam 75,633 m² ve sosyal tesis-konut alanları ise 198,297 m² olarak hesaplanmıştır.

Limn Ekonomisi ve Elleçleme Ekipman Seçimi: Modellemede DES1 için 2 adet ve DES2 için ise 4 adet farklı elleçleme ekipmanları kombinasyonlarına göre farklı maliyetler hesaplanmıştır. Sonuçta elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur; (a) Limanda terminal traktörü maliyetinin olmadığı SC elleçleme sistemi mevcut kabullere göre RTG ekipman sisteminden birim konteyner başına daha ucuza elleçleme yapmaktadır. (b) Kuru limanda RTG ve RS sistemleri incelenmiş, RS

sisteminin RTG sistemine oranla daha fazla stok alanı gereksinimine rağmen terminal traktörü maliyetinin olmaması nedeniyle en ekonomik çözüm olduğu görülmüştür. (c) Liman stok sahası maliyeti için yapılan hassasiyet analizinde farklı saha maliyetleri için (DES1 RTG) (DES1 SC) (DES2 RTG ve RTG) (DES2 RTG ve RS) (DES2 SC ve RTG) ve (DES2 SC ve RS) modelleri için elde edilen bulgular; (1) DES1 RTG modelinin $\$106.5/m^2$ değerinden düşük olması durumunda en ekonomik model olduğu görülmüş, bu değerden yüksek saha inşaat maliyetleri için, (DES2 RTG RS) modelinin en ekonomik model olduğu görülmüştür. (2) Çalışmada hesaba katılan $\$200/m^2$ liman saha bedeli için, en ekonomik çözüm (DES2 RTG ve RS) modeli olup birim TEU başına maliyeti $\$36.83/TEU$ bulunmuştur.

Bu çalışma göstermiştir ki; kent içi limanlarının bir projeksiyon dahilinde fonksiyonlarını sürdürmek kaydıyla optimum tesis kapasitelerinin simülasyonla belirlenmeleri ve kent içi trafik ve alan sorunlarının çözümlenmeleri mümkündür. Geliştirilen DES modeli de; kent içi trafik sıklığı, kuru liman stok alanı, elleçleme ekipmanı, demiryolu kordonu, maliyet modeli ve birim maliyetler ve konteyner operasyon prensipleri benzer kent içi limanlarda başarıyla kullanılabilir. DES modeli için geliştirilen kodlamada hesap parametrelerinin değiştirilmesiyle farklı operasyon prensipleri ve elleçleme ekipmanlarına göre de modelleme yapılabilmekte ve daha uygun fiziksel büyüklüklere ulaşılabilmektedir.

KAYNAKLAR

1. OECD. Intermodal transport, National peer review Turkey. 2009; .
2. Meisel F. Seaside Operations Planning in Container Terminals. London: 2009.
3. Kim KH, Günther O. Container Terminals and Cargo Systems. 2007.
4. Bichou K. Port operations, planning and logistics. 2002; 383.
5. Türkiye İhracatçılar Meclisi. Türkiye lojistik master planı için strateji belgesi. 2011; 123.
6. Euromed. Container types. no date; .
7. Bose J. Handbook of terminal planning. Hamburg: Springer; 2011.
8. Branch AE. Element of Port Operations and Management. 1986.
9. Jaržemskis A, Vasiliauskas AV, Jařemskis A, Vasiliauskas AV. Research on dry port concept as intermodal node. *Transport* 2007; 22:207–213.
10. Bird JH. The Major Seaports of the United Kingdom. 1963.
11. Charlier J. The Regeneration of Old Port Areas for New Port Users in European Cities in Transition. London: Belhaven Press; 1992.
12. Norcliffe G, Bassett K, Hoare T. The emergence of postmodernism on the urban waterfront: Geographical perspectives on changing relationships. *J Transp Geogr* 1996; 4:123–134.
13. Wiegmans B, Witte P, Spit T. Characteristics of European inland ports: A statistical analysis of inland waterway port development in Dutch municipalities. *Transp Res Part A Policy Pract* 2015; 78:566–577.
14. Kalkınma Bakanlığı. Onuncu Kalkınma PLanı. 2013; .
15. Roso V, Lumsden K. the Dry Port Concept: Moving Seaport Activities Inland? *Transp Commun Bull Asia Pacific* 2009; .
16. Ulaştırma Bakanlığı. Ulaştırma kıyı yapıları master plan çalışması. 2009; .
17. Woxenius J, Roso V, Lumsden K. The dry port concept—connecting seaports with their hinterland by rail. *ICLSP, Dalian* 2004; 22–26.
18. United Nations. Port Development—A Handbook for Planners in Developing Countries. 1985; .
19. Roso V. The emergence and significance of dry ports: the case of the Port of Goteborg. *World Rev Intermodal Transp Res* 2009; 2:296.
20. Wiegmans B, Witte P, Spit T. Inland port performance: A statistical analysis of Dutch inland ports. *Transp Res Procedia* 2015; 8:145–154.
21. Ballis A, Golias J. Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals. *Transp Res Part A Policy Pract* 2002; 36:593–611.
22. Raa B, Dullaert W, Schaeren R Van. An enriched model for the integrated berth allocation and quay crane assignment problem. *Expert Syst Appl* 2011; 38:14136–14147.
23. Telford T. Port engineering and operation. 1985; .
24. van Ham H, Rijsenbrij J. Development of containerization: Success through vision, drive and technology. 2012.
25. Rowbotham M. Introduction to Marine Cargo Management. 2014.
26. OECD. Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030, International Futures Programme Main Findings. 2013; .
27. Commision of European Communities. WHITE PAPER: European transport policy for 2010: time to decide. *Comm Eur Communities* 2001; .
28. UNCTAD. Handbook of the Management and Operations of Dry Ports. 1991; .
29. Rutten BJ. The design of a terminal network for intermodal transport. *Transp Logist* 1998; 1:279–298.

30. UNCTAD. Handbook on the management and operation of dry ports. Unctad 1991; 93.
31. Lin J, Gao B, Zhang C. Simulation-based investment planning for Humen Port. *Simul Model Pract Theory* 2014; 40:161–175.
32. Kelton D, Sadowski R, Sadowski D. *Simulation with Arena*. McGraw Hill; 2010.
33. Altiok T, Melamed B. *Simulation modeling and analysis with Arena*. Amsterdam: Elsevier; 2010.
34. Tahar RM, Hussain K. Simulation and analysis for the Kelang Container Terminal operations. *Logist Inf Manag* 2000; 13:14–20.
35. United Nations. *Port pricing*. 1975; .
36. Kozan E. Optimum capacity for intermodal container terminals. *Transp Plan Technol* 2006; 29:471–482.
37. Shabayek AA, Yeung WW. A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. *Eur J Oper Res* 2002; 140:1–11.
38. Huang WC, Kuo TC, Wu SC. A comparison of analytical methods and simulation for container terminal planning. *J Chinese Inst Ind Eng* 2007; 24:200–209.
39. Dragović B, Tzannatos E, Park NK. Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool. *Flex Serv Manuf J* 2017; .
40. Yıldırım MS, Gökkuş Ü, Aydın MM. Determining the Number of Berths In A Port with Using Soft Computing and Simulation Methods. *II Int Acad Res Congr* 2017; 625–626.
41. Cheong CY, Tan KC, Liu DK. Solving the berth allocation problem with service priority via multi-objective optimization. *2009 IEEE Symp Comput Intell Sched CI-Sched 2009 - Proc* 2009; 95–102.
42. Cortes P, Munuzuri J, Nicolas Ibanez J, Guadix JJ. Simulation of freight traffic in the Seville inland port. *Simul Model Pract Theory* 2007; 15:256–271.
43. Gambardella LM, Rizzoli AE, Zaffalon M. Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal. *Simulation* 1998; 71:107–116.
44. Legato P, Canonaco P, Mazza RM. Yard crane management by simulation and optimisation. *Marit Econ Logist* 2009; .
45. Longo F, Huerta A, Nicoletti L. Performance analysis of a Southern Mediterranean seaport via discrete-event simulation. *Stroj Vestnik/Journal Mech Eng* 2013; 59:517–525.
46. Gokkus Ü, Yildirim MS. Determination of the Optimum Berth Number of the Izmir Seaport by Deterministic and Probabilistic Methods Based on Artificial Neural Networks. *Int J Hybrid Inf Technol* 2015; 8:11–24.
47. Sgouridis SP, Makris D, Angelides DC. Simulation Analysis for Midterm Yard Planning in Container Terminal. *J Waterw Port, Coastal, Ocean Eng* 2003; 129:178–187.
48. Piccoli C. Assessment of Port Marine Operations Performance by Means of Simulation. Case study: The Port of Jebel Dhanna/Ruwais–UAE. 2014; .
49. Pietrobon N. *Simulation Analysis for Integrated Container Terminal Activities*. 2014.
50. Pietrobon N. *Simulation Analysis for Integrated Container Terminal Activities*. Thesis Mech Eng 2014; .
51. Altiok T, Melamed B. *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. *Simul Model Anal with ARENA* 2007; .

52. Alderton P. Port Management and Operations. Third. London: Informa; 2008.
53. Pouryousef H, Lautala P, White T. Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe. J Mod Transp 2015; 23:30–42.
54. TCRP 100. Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP Report 100). 2003.
55. International Union of Railways. Code 406R. 2013; 56.
56. TLMSAŐ. TlomsaŐ rn Portfy. 2019; 3.
57. Sakarya niversitesi. Demiryolu I Demiryolu MhendisliĐi Ders Notları. 2012; 44.
58. Nicolau S. Berth Planning by Evaluation of Congestion and Cost. J Waterw Harb Div 1967; 93:107–132.
59. Yildirim MS, Gokkus . Determination of the storage area requirements for İzmir container port by implementing the neural networks. Int J u- e- Serv Sci Technol 2015; 8:175–184.
60. Google Inc. Google Earth. 7122041 2018; .
61. Deniz Ticaret İstatistikleri. 2018; .
62. KGM. Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Gre Yıllık Ortalama Gnlk Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri. 2018; .
63. GkkuŐ , Yildirim S, Aydın M. Estimation of Container Traffic at Seaports by Using Several Soft Computing Methods : A Case of Turkish Seaports. 2017; 2017:.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Sinan YILDIRIM
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1986
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : msyildirim35@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : İzmir Milli Piyango Anadolu Lisesi, 2005
Lisans : ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2010
Yüksek Lisans : ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2013

Mesleki Deneyim

Gümüşhane Üniversitesi : 2012 - 2013
MCBÜ : 2014 - 2019 (halen)