

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DENİZCİLİKTE EMNİYET, GÜVENLİK VE ÇEVRE
YÖNETİMİ DOKTORA PROGRAMI
DOKTORA TEZİ

RÖMORKÖRCÜLÜK HİZMETLERİNDE
KAYNAKLARIN SİMÜLASYON MODELLEMESİ
YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

Emin Deniz ÖZKAN

Danışman
Prof. Dr. Selçuk NAS

İZMİR - 2020

YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Römorkörcülük Hizmetlerinde Kaynakların Simülasyon Modellemesi Yöntemiyle Optimizasyonu” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

.../.../.....

Emin Deniz ÖZKAN

İmza

ÖZET

Doktora Tezi

Römorkörcülük Hizmetlerinde Kaynakların Simülasyon Modellemesi

Yöntemiyle Optimizasyonu

Emin Deniz ÖZKAN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Doktora Programı

Limarlarda römorkörcülük hizmetlerini sağlayan teşkilatların verimliliği, hizmet kalitesi açısından önem arz etmektedir. Verimliliği etkileyen faktörler arasında; liman bölgesindeki gemi trafik yoğunluğu, römorkörlerin sayısı ve çekme kuvvetleri, liman sahasının büyüklüğü, hizmet talebine cevap verme süresi, römorkörlerin park yerleri, meteorolojik şartlar, akıntılar vb. sayılabilir. Bununla birlikte, bu hizmetin kaynakları olan römorkörlerin yüksek maliyetleri nedeniyle, teşkilatlar yüksek yatırım maliyetleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Teşkilatların yetersiz sayıda römorkör bulundurması, gemilerin bekleme sürelerini arttıracak, hizmet kalitesini düşürecektir. Gereğinden fazla römorkör bulunması ise, yatırım ve işletme maliyetlerinin artmasına, römorkörlerin boşta kalması sonucunda da verimliliğin düşmesine neden olacaktır. Bu sebeplerden dolayı, hizmet verilecek liman bölgesine ait değişkenler dikkate alınarak en uygun kaynak kullanımlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, liman römorkörcülük hizmetlerindeki kaynak kullanımlarında verimliliğin tespit edilmesine yönelik bir simülasyon modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, hizmet düzeyine etki eden değişkenler arasındaki ilişkilerin matematiksel denklemlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Simülasyon modellemesi için ProModel yazılımı kullanılmıştır. Modelde kullanılacak istatistiksel dağılımların tespiti için, Türkiye’deki 3 farklı limana ait gemi operasyon verilerine uyum iyiliği testleri uygulanmıştır. Model

kurulumundan sonra, bağımsız değişkenlerin çeşitli kombinasyonlarından deney setleri oluşturulmuştur. Deneylerin simülasyonları yürütülmüş ve elde edilen sonuçların istatistiksel analizleri yapılmıştır. Korelasyon testi, normallik testleri ve çoklu doğrusal regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, simülasyon sonuçları grafikler yardımıyla görselleştirilerek elde edilen bulgular yorumlanmıştır. Değişen gemi sayıları ve saha büyüklüklerine göre, teşkilatların elinde bulundurması gereken minimum römorkör sayıları tespit edilmiştir. Teşkilatların kaynak olarak sahip olduğu römorkörler ile, gemi sayısının değiştiği çeşitli durumlarda, hizmet verebilecekleri maksimum saha büyüklükleri ile ilgili tespitler yapılmıştır. Bu tespitler yapılırken dikkate alınan performans ölçümleri, gemilerin açıktaki ve terminaldeki bekleme süreleridir. Çalışma sonuçlarının, farklı koşullar ve kısıtlardan oluşan çeşitli durumlarla ilgili olarak, hizmet sağlayıcılar ve İdare açısından bir karar destek görevi görmesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Römorkör, Liman, Teknik Seyir Hizmetleri, Liman Hizmetleri, Simülasyon, Modelleme, Optimizasyon.

ABSTRACT
Doctoral Thesis
Doctor of Philosophy(PhD)
Optimization of Resources in Towage Services by Simulation Modeling Method
Emin Deniz ÖZKAN

Dokuz Eylül University
Graduate School of Social Sciences
Department of Marine Transportation Engineering
Maritime Safety, Security and Environmental Management Program

The efficiency of the organizations that provide towage services in ports is important in terms of service quality. Factors affecting the efficiency can be listed as ship traffic density in the port area, number and bollard pull of tugboats, size of the port area, response time to service request, parking locations of the tugboats, meteorological conditions, currents etc. On the other hand, due to the high costs of tugs that are the sources of this service, organizations face high investment costs. The insufficient number of tugboats that the organizations have will increase the waiting times of the ships and decrease the service quality. Having more tugboats than necessary will increase the investment and operating costs, and decrease the efficiency as a result of tugboats being idle. Due to these reasons, it is necessary to determine the optimal resource utilization by considering the variables of the port area to be served.

In this study, it is aimed to develop a simulation model for determining the efficiency in resource utilization in port towage services. In addition, it is aimed to present the mathematical equations of the relationships between the variables that affect the service level. ProModel software was used for simulation modeling. For the determination of statistical distributions to be used in the model, goodness of fit tests were applied to the ship operation data of three different ports in Turkey. Following the model building, experiments were generated from various combinations of independent variables. Simulations of the experiments were carried out and statistical analyses of the obtained results

were made. Correlation test, normality tests and multiple linear regression analyses were performed. In addition, the findings were interpreted by visualizing the simulation results with the help of graphics. According to the number of ships and the port area sizes, the minimum numbers of tugboats in which the organizations should have were determined. For various situations in which the number of ships varies, the determinations were made regarding the maximum port area sizes in which the organizations can serve with the tugboats that they have as resource. The performance measures taken into account while making these determinations are the waiting times of the ships while they are outside the terminal and in the terminal. The results of the study are expected to serve as a decision support tool for service providers and the Administration in relation to a variety of situations that consists of different conditions and constraints.

Keywords: Tugboat, Port, Technical-nautical Services, Port Services, Simulation, Modeling, Optimization.

RÖMORKÖRCÜLÜK HİZMETLERİNDE KAYNAKLARIN SİMÜLASYON MODELLEMESİ YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xiv
TABLolar LİSTESİ	xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xviii
EKLER LİSTESİ	xxi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

RÖMORKÖRCÜLÜK HİZMETLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

1.1. LİMAN HİZMETLERİ	3
1.1.1. Yük ile ilgili Hizmetler	4
1.1.1.1. Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri	4
1.1.1.1.1. Konteyner Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri	4
1.1.1.1.2. Kuru Dökme Yük Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri	7
1.1.1.1.3. Sıvı Dökme Yük Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri	8

1.1.1.1.4. Ro-Ro Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri	9
1.1.1.1.5. Kruvaziyer Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri	10
1.1.1.2. Diğer Hizmetler	10
1.1.2. Gemi ile ilgili Hizmetler	10
1.1.2.1. Kılavuzluk Hizmetleri	11
1.1.2.2. Römorkörcülük Hizmetleri	12
1.1.2.3. Palamar Hizmetleri	12
1.1.2.4. Diğer Hizmetler	12
1.2. RÖMORKÖRCÜLÜK HİZMETLERİ	13
1.2.1. Römorkör Tanımı ve Römorkörcülük Hizmetleri	13
1.2.2. Römorkörlerin Tarihsel Gelişimi	14
1.2.3. Römorkörlerde Yürütme Sistemi ve Çekme Kuvveti	16
1.2.4. Römorkörlerin Sınıflandırılması	17
1.2.4.1. Çalışma Alanlarına Göre Römorkörler	17
1.2.4.1.1. Liman Römorkörleri	17
1.2.4.1.2. Açık Deniz Römorkörleri	19
1.2.4.1.3. Nehir Römorkörleri	20
1.2.4.2. Yürütme Sistemlerine Göre Römorkörler	21
1.2.4.2.1. Konvansiyonel Römorkörler	21
1.2.4.2.2. Kombi Römorkörler	22
1.2.4.2.3. Azimuth Pervaneli Kıçtan Tahrikli (ASD) Römorkörler	23
1.2.4.2.4. Traktör Römorkörler	24
1.2.4.2.4.1. Azimuth Pervaneli Traktör Römorkörler	25
1.2.4.2.4.2. Voith Schneider Pervaneli Traktör Römorkörler	26
1.2.4.2.5. Z-Tech Römorkörler	27
1.2.4.2.6. Rotor Römorkörler	28
1.2.4.2.7. Gemi Yanaştırma Modülü	30
1.2.4.2.8. RAVE Römorkörler	30

1.2.4.2.9. EDDY Römorkörler	31
1.2.5. Römorkörcülük Hizmetlerinin Sınıflandırılması	32
1.2.5.1. Liman Römorkörcülük Hizmetleri	32
1.2.5.2. Eskort Hizmetleri	33
1.2.5.3. Açık Deniz Römorkörcülük Hizmetleri	35
1.2.5.4. Ulaştırma Hizmetleri	35
1.2.5.5. Kurtarma ve Yangın Söndürme Hizmetleri	36
1.2.6. Dünya’da Römorkörcülük Hizmetleri	37
1.2.7. Türkiye’de Römorkörcülük Hizmetleri	38
1.2.7.1. Limanlar Yönetmeliği	40
1.2.7.2. Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri Hakkında Yönetmelik	42

İKİNCİ BÖLÜM

SİMÜLASYON MODELLEMESİ YÖNTEMİ, REGRESYON MODELLERİ VE LİTERATÜR TARAMALARI

2.1. SİMÜLASYON MODELLEMESİ YÖNTEMİ	44
2.1.1. Tanımlar	44
2.1.1.1. Sistem	44
2.1.1.2. Model	45
2.1.1.3. Modelleme	46
2.1.1.4. Simülasyon Kavramı	47
2.1.1.5. Simülasyon Modellemesi	48
2.1.2. Simülatör Kavramı	52
2.1.3. Simülasyonun Tarihsel Gelişimi	53
2.1.4. Simülasyonun Uygulama Alanları	54
2.1.5. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları	55
2.1.6. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması	57
2.1.6.1. Statik Model ve Dinamik Model	57
2.1.6.2. Deterministik Model ve Stokastik Model	58
2.1.6.3. Sürekli Model ve Kesikli Model	59

2.1.7. Kesikli Olay Simülasyonu	60
2.1.8. Simülasyon Modellemesi Yönteminin Adımları	62
2.1.8.1. Problemin Formülasyonu	64
2.1.8.2. Kavramsal Model	64
2.1.8.3. Verilerin Toplanması	65
2.1.8.4. Simülasyon Modelinin Geliştirilmesi	65
2.1.8.5. Model Doğrulama	66
2.1.8.6. Model Geçerleme	66
2.1.8.7. Deneylerin Tasarımı	68
2.1.8.8. Simülasyonun Yürütülmesi ve Çıktı Analizi	69
2.1.8.9. Dokümantasyon ve Raporlama	69
2.1.9. Simülasyon Dilleri, Simülasyon Yazılımları ve Programlama Dilleri	70
2.2. REGRESYON MODELLERİ	71
2.2.1. Basit Doğrusal Regresyon Modeli	72
2.2.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli	72
2.3. LİTERATÜR TARAMALARI	73
2.3.1. Tez Çalışmaları	73
2.3.2. Römorkörcülük Hizmetlerinde Simülasyon ve Optimizasyon Çalışmaları	80
2.3.2.1. Römorkörcülük Hizmetlerinde Optimizasyon Çalışmaları	82
2.3.2.2. Römorkörcülük Hizmetlerinde Simülasyon Çalışmaları	84

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

LİMAN RÖMORKÖRCÜLÜK HİZMETLERİ İLE İLGİLİ BİR SİMÜLASYON MODELİ

3.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI	89
3.2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ	90
3.3. ARAŞTIRMANIN SÜRECİ	90
3.4. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ	93
3.4.1. ProModel Simülasyon Yazılımı	93

3.4.1.1. ProModel’de Genel Modelleme Elemanları	94
3.4.1.2. ProModel’de İleri Düzey Modelleme Elemanları	96
3.4.2. Simülasyon Modelinin Geliştirilmesi	97
3.4.2.1. Modelin Algoritması	98
3.4.2.2. Modelin Varsayımları	100
3.4.2.3. Modelde Kullanılan İstatistiksel Dağılımlar	101
3.4.2.3.1. İstatistiksel Dağılımlar ile ilgili Literatür Taraması	102
3.4.2.3.1.1. Gelişler Arası Süre Dağılımının Belirlenmesi	103
3.4.2.3.2. Liman Verilerinin Analizi	104
3.4.2.3.2.1. Modeldeki Gemi Büyüklük Sınıflarına Ait Yüzdelerin Belirlenmesi	105
3.4.2.3.2.2. Servis Süresi Dağılımlarının Belirlenmesi	106
3.4.2.3.2.3. Yanaşma Manevrası Süreleri ve Kalkış Manevrası Sürelerine Ait Dağılımların Belirlenmesi	109
3.4.2.3.3. Römorkörlerin Hızı	113
3.4.3. Modelin Doğruluğu ve Geçerliliği	113
3.4.4. Deneylerin Tasarımı ve Simülasyonun Çalıştırılması	114
3.4.4.1. Modeldeki Değişkenler	115
3.4.4.2. Isınma Süresinin Belirlenmesi	116
3.4.4.3. Simülasyon Deneylerinin Yürütülmesi	118
3.5. SİMÜLASYON SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZLERİ VE BULGULARIN YORUMLANMASI	119
3.5.1. Değişkenler Arası İlişkilerin İncelenmesi	120
3.5.2. Normallik Testleri	121
3.5.2.1. Veri Dönüştürme	123
3.5.3. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizleri	125
3.5.3.1. Regresyon Modeli 1: Bağımlı Değişkenin Açıkta Bekleme Süresi Olduğu Model	126
3.5.3.2. Regresyon Modeli 2: Bağımlı Değişkenin Terminalde Bekleme Süresi Olduğu Model	129

3.5.4. Bulguların Yorumlanması	132
3.5.4.1. Açıkta Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişki	132
3.5.4.1.1. Açıkta Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişkinin Römorkör Sayısı Açısından Değişimleri	132
3.5.4.1.2. Açıkta Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişkinin Gemi Geliş Sayısı Açısından Değişimleri	135
3.5.4.2. Terminalde Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişki	138
3.5.4.2.1. Terminalde Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişkinin Römorkör Sayısı Açısından Değişimleri	138
3.5.4.2.2. Terminalde Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişkinin Gemi Geliş Sayısı Açısından Değişimleri	141
3.5.4.3. İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişki	144
3.6. TARTIŞMA	146
SONUÇ	149
KAYNAKÇA	155
EKLER	

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ABS	Açıkta Bekleme Süresi
AGV	Automated Guided Vehicle
AHTS	Anchor-Handling Tug/Supply Vessels
ALV	Automated Lifting Vehicle
ASD	Azimuth Stern Drive
ATB	Articulated Tug/Barge
bkz.	Bakınız
CEC	Commission of the European Communities
dk	Dakika
DWT	Detveyt Tonaj
EDDY	Efficient Double-ended Dynamic
ERV	Emergency Response Vessel
ETA	European Tugowners Association
FEU	Forty-Foot Equivalent Unit
GRT	Gros Tonaj
GGs	Gelen Gemi Sayısı
ITB	Integrated Tug/Barge
kW	Kilowatt
LNG	Liquefied Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
POB	Pilot on Board
RAVE	Robert Allan Voith Escort
RMG	Rail-Mounted Gantry Crane
Ro-Ro	Roll-on / Roll-off
RS	Römorkör Sayısı
RTG	Rubber-Tyred Gantry Crane
SB	Saha Büyüklüğü
TBS	Terminalde Bekleme Süresi

TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TDİ	Türkiye Denizcilik İşletmeleri
TEU	Twenty-Foot Equivalent Unit
vb.	ve benzeri
VLCC	Very Large Crude Carrier
VSP	Voith Schneider Propeller



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1: Türkiye’de 2010-2019 Yılları Arasındaki 150 GRT ve Üzeri Römorkör Sayısı ve DWT Gelişimi	40
Tablo 2: Gros Tonaja Göre Gemi ve Deniz Araçlarının Alması Gereken Römorkör Sayısı ve Römorkörlerin Çekme Kuvveti	41
Tablo 3: Varlıklar, Kaynaklar ve Kuyruklar ile ilgili Örnekler	52
Tablo 4: Farklı Sistemlerdeki Sistem Durumunun Unsurları	60
Tablo 5: Olay Listesine Bir Örnek	61
Tablo 6: Tezler ile ilgili Literatür Taraması	74
Tablo 7: Römorkörcülük Hizmetleri ile ilgili Literatür Taraması	80
Tablo 8: Tezde İncelenecek Olan Değişkenler ve Esinlenilen Çalışmalar	88
Tablo 9: Gemi Büyüklük Sınıfları	101
Tablo 10: İstatistiksel Dağılımlar ile ilgili Literatür Taraması	102
Tablo 11: Limanlara Gelen Gemi Sayıları (1 yılda)	105
Tablo 12: Modelde Kullanılan Gemi Büyüklük Sınıflarına Ait Yüzdelere	105
Tablo 13: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Servis Süresi için Uyum İyiliği Testleri	107
Tablo 14: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Servis Süresi için Uyum İyiliği Testleri	108
Tablo 15: 3.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Servis Süresi için Uyum İyiliği Testleri	108
Tablo 16: Simülasyon Modeline Girilen Servis Süresi Dağılımları	109
Tablo 17: 3.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Süresi için Uyum İyiliği Testleri	112
Tablo 18: Genel Bir Isınma Süresinin Belirlenmesi için Yapılan Deneyler	117
Tablo 19: Simülasyon Deneylerinde Bağımsız Değişkenlerin Değişim Aralıkları	118
Tablo 20: İstatistiksel Analizler için Dikkate Alınan Deneyler	119
Tablo 21: Değişkenlerin Korelasyon Analizi Sonuçları	120
Tablo 22: ABS Değişkenine Ait Normallik Testi Sonuçları	122
Tablo 23: TBS Değişkenine Ait Normallik Testi Sonuçları	123

Tablo 24: Ln(ABS) Değişkenine Ait Normallik Testi Sonuçları	124
Tablo 25: Ln(TBS) Değişkenine Ait Normallik Testi Sonuçları	125
Tablo 26: 1.Regresyon Modelinin Özeti	126
Tablo 27: 1.Regresyon Modeline Ait ANOVA Testi	126
Tablo 28: 1.Regresyon Modeline Ait Katsayılar Tablosu	127
Tablo 29: 2.Regresyon Modelinin Özeti	129
Tablo 30: 2.Regresyon Modeline Ait ANOVA Testi	129
Tablo 31: 2.Regresyon Modeline Ait Katsayılar Tablosu	130
Tablo 32: Gemlik Körfezi için Önerilen Durumda ve Mevcut Durumda Römorkörlerin Boşta Bekleme Oranları	147

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Bir Konteyner Terminalinde Operasyon Alanları ve Yük Akışı	5
Şekil 2: Bir Konteyner Terminalinin Şematik Enine Kesit Görünümü	6
Şekil 3: Bir Demir Cevheri İhracat Terminali	8
Şekil 4: Bir Ro-Ro Terminalindeki Operasyonel Süreçler	9
Şekil 5: Bir Römorkörün Genel Özellikleri	13
Şekil 6: The Charlotte Dundas, 1802	15
Şekil 7: Römorkörlerin Tarihsel Gelişimi	16
Şekil 8: Liman Römorkörlerinin Başlıca Tipleri	18
Şekil 9: Bir Demir Elleçleme Römorkör/İkmal Gemisi	19
Şekil 10: Uzak Mesafe Nehir Taşımacılığında Kullanılan Bir Römorkör (Line Haul Towboat)	20
Şekil 11: Çift Pervaneli ve Sabit Nozullu Bir Konvansiyonel Römorkör	22
Şekil 12: Kombi Römorkör	23
Şekil 13: ASD Römorkör ve Pervane Birimleri	24
Şekil 14: Azimuth Pervaneli Traktör Römorkör	25
Şekil 15: VSP Traktör Römorkörü ve Pervane Birimleri	26
Şekil 16: Z-Tech Römorkör	28
Şekil 17: Rotor Römorkör	29
Şekil 18: Gemi Yanaştırma Modülü	30
Şekil 19: RAVE Römorkör	31
Şekil 20: EDDY Römorkör	31
Şekil 21: Dolaylı Çekme Yöntemi ile Verilen Bir Eskort Hizmeti	34
Şekil 22: Bir ATB Sisteminin Yandan ve Üstten Görünümü	36
Şekil 23: Türkiye’deki 150 GRT ve Üzeri Römorkör Sayısının Yıllara Göre Değişimi	40
Şekil 24: Bir Sistemin İncelenmesinde Farklı Yollar	49
Şekil 25: Basit Bir Sistem	51
Şekil 26: Kesikli Olarak Değişen ve Sürekli Olarak Değişen Durum Değişkenlerinin Karşılaştırılması	60
Şekil 27: Otobüs Modeli	62

Şekil 28: Simülasyon Modelleme Süreci	63
Şekil 29: Araştırmanın Süreci	92
Şekil 30: Simülasyon Modelinin Algoritması	99
Şekil 31: Römorkörcülük Hizmet Sahası ve Mesafeler	101
Şekil 32: Verileri İncelenen Liman Bölgeleri	104
Şekil 33: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Grafikleri	110
Şekil 34: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Grafikleri	111
Şekil 35: Modelin Değişkenleri	116
Şekil 36: ABS Değişkenine Ait Histogram Grafiği	122
Şekil 37: TBS Değişkenine Ait Histogram Grafiği	123
Şekil 38: Ln(ABS) Değişkenine Ait Histogram Grafiği	124
Şekil 39: Ln(TBS) Değişkenine Ait Histogram Grafiği	125
Şekil 40: ABS Değişkeninin Simülasyon ve Regresyon Sonuçlarına Ait Saçılım Grafiği	128
Şekil 41: TBS Değişkeninin Simülasyon ve Regresyon Sonuçlarına Ait Saçılım Grafiği	131
Şekil 42: TBS Değişkeninin 60 Dakikanın Altındaki Değerleri için Simülasyon ve Regresyon Sonuçlarına Ait Saçılım Grafiği	131
Şekil 43: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri	133
Şekil 44: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 5.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri	134
Şekil 45: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri	135
Şekil 46: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 3 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri	136
Şekil 47: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 6 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri	137
Şekil 48: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 10 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri	138

Şekil 49: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri	139
Şekil 50: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 5.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri	140
Şekil 51: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri	141
Şekil 52: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 3 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri	142
Şekil 53: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 6 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri	143
Şekil 54: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 10 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri	144
Şekil 55: İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000, 5.000 ve 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumlarında RS Açısından Değişimleri	145

EKLER LİSTESİ

EK 1: Gemlik Körfezi Liman Bölgesine Ait 2018 Yılı Verilerinin Talep Edilmesi ile ilgili Resmi Yazı	ek s.1
EK 2: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Grafikleri	ek s.2
EK 3: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Grafikleri	ek s.3
EK 4: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu	ek s.4
EK 5: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu	ek s.6
EK 6: 3.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu	ek s.8
EK 7: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu	ek s.10
EK 8: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu	ek s.11
EK 9: 3.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu	ek s.13
EK 10: Genel Isınma Süresinin Belirlenmesi için Yapılan Deneylerde Sistemde Bulunan Ortalama Gemi Sayısının Zamana Göre Değişimi	ek s.14
EK 11: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin, GGS Sabit Tutulduğunda RS Açısından Değişimleri	ek s.16
EK 12: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin, RS Sabit Tutulduğunda GGS Açısından Değişimleri	ek s.21
EK 13: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin, GGS Sabit Tutulduğunda RS Açısından Değişimleri	ek s.25
EK 14: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin, RS Sabit Tutulduğunda GGS Açısından Değişimleri	ek s.30
EK 15: İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin, GGS Sabit Tutulduğunda RS Açısından Değişimleri	ek s.34

GİRİŞ

Limanlardaki yanaşma ve kalkış manevralarında, boğaz veya kanal gibi kısıtlı suyollarında ve açık deniz yapılarında, kendi imkanlarıyla emniyetli bir şekilde manevra yapacak kabiliyete sahip olmayan gemilere ve diğer deniz araçlarına, römorkörler yardımıyla manevra desteği sağlanmaktadır. Römorkörler yüksek manevra kabiliyetlerine sahip ve yürütme sistemleri oldukça güçlü olan deniz araçlarıdır. Römorkörler ile verilen hizmetler; liman römorkörcülük hizmetleri, eskort hizmetleri, açık deniz römorkörcülük hizmetleri, mavnaların ulaştırılmasında verilen römorkörcülük hizmetleri, kurtarma ve yangın söndürme hizmetleri şeklinde sıralanabilir.

Liman römorkörcülük hizmetlerinde, römorkörlerin itme ve çekme kabiliyetleri sayesinde yanaşma ve kalkış manevralarında gemilere manevra desteği verilmektedir. Türkiye’de liman römorkörcülük hizmetleri, yetkilendirilmiş özel veya kamu kuruluşları tarafından sağlanmaktadır. Ülkemizde liman römorkörcülük hizmetlerinin özel teşkilatlar tarafından da verilmeye başlaması, römorkörcülük endüstrisinin büyümesini sağlamıştır.

Römorkörcülük hizmeti sağlayacak olan bir teşkilat, ilk yatırım aşamasında yüksek maliyetlerle karşı karşıya kalabilmektedir. Teşkilatların uygun sayıda römorkör yatırımı yaparak rekabetçi gücünü arttırması mümkündür. Bunun haricinde, römorkörcülük hizmetlerinin verimliliği; hizmet kalitesi, işletme maliyetleri, seyir emniyeti ve çevre koruma açısından önem taşımaktadır. Römorkörcülük hizmetlerinde verimliliği etkileyen faktörlerden bazıları şu şekilde sıralanabilir: hizmet veren römorkörlerin sayısı ve çekme kuvvetleri, hizmet verilen sahanın büyüklüğü, liman bölgesindeki gemi trafik yoğunluğu, manevra sahası ve yanaşma yerlerinin özellikleri, meteorolojik şartlar, akıntılar vb.

Bu araştırmada, liman römorkörcülük hizmetlerinde kaynakların etkin kullanımına yönelik bir simülasyon modeli geliştirilmesi ve simülasyon deneylerinden elde edilen bulguların, hizmet sağlayıcılar ve İdare için bir karar desteği sağlaması hedeflenmektedir. Her limana uyarlanabilecek teorik bir model ortaya koymaya çalışılmıştır.

Tezin birinci bölümünde, römorkörcülük hizmetlerine değinilmiştir. Römorkörcülük hizmetlerinin, liman hizmetlerinin gemi ile ilgili hizmetler kısmına girdiği bilinmektedir. Bu sebeple öncelikle, liman hizmetleri, yük ile ilgili hizmetler ve gemi ile ilgili hizmetler olmak üzere iki başlık altında anlatılmıştır. Daha sonra, römorkörler ve römorkörcülük hizmetleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ardından, Dünya’da ve Türkiye’deki römorkörcülük hizmetlerine değinilmiştir.

İkinci bölümde; simülasyon modellemesi yöntemi, regresyon modelleri ve literatür taramalarına yer verilmiştir. Öncelikle, araştırmanın yöntemini oluşturan simülasyon modellemesi yöntemi anlatılmıştır. Simülasyonda sıklıkla karşılaşılan kavramlar, simülasyonun tarihsel gelişimi, uygulama alanları, avantaj ve dezavantajları, simülasyon modellerinin sınıflandırılması, kesikli olay simülasyonu, simülasyon modellemesi yönteminde izlenen adımlar, simülasyon dilleri, yazılımları ve programlama dilleri hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında, simülasyon sonuçlarının istatistiksel analizlerinde regresyon analizi kullanılacağı için, bazı regresyon modellerine yer verilmiştir. Son kısımda ise, tezin konusu ve yöntemi kapsamında gerçekleştirilen literatür taramaları sonucu elde edilen çalışmalar anlatılmıştır.

Tezin son bölümü, uygulama kısmından oluşmaktadır. Bu bölümde öncelikle araştırmanın amacı, önemi, süreci ve yönteminden bahsedilmiştir. Sonrasında, simülasyon modelinin geliştirilmesi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ardından, modelin doğruluğu ve geçerliliği, deneylerin tasarımı ve yürütülmesinden bahsedilmiştir. Simülasyon sonuçlarının istatistiksel analizlerinde; değişkenler arası ilişkiler, normallik testleri, veri dönüştürme ve elde edilen regresyon modelleri anlatılmaktadır. Bulguların yorumlanması kısmında ise, çeşitli değişkenler arasındaki ilişkilerin grafikleri verilerek, en uygun kaynak kullanımları ile ilgili tespitlere yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

RÖMORKÖRCÜLÜK HİZMETLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Teknik seyir hizmetleri kapsamında verilen römorkörcülük hizmetleri, liman hizmetlerinin gemi ile ilgili hizmetler kapsamına girmektedir. Bu bölümde öncelikle liman hizmetleri anlatılmış, sonrasında römorkörcülük hizmetlerine yer verilmiştir.

1.1. LİMAN HİZMETLERİ

Literatürde liman (deniz limanı) kavramı ile ilgili çeşitli tanımlamalar mevcuttur. Stopford (2009: 81)'a göre bir liman; yüklerin yüklenmesi ve boşaltılması için gemilerin kıyıya yanaştırıldığı, genellikle koy veya nehir ağzı gibi korunaklı bir derin su alanı olan coğrafi bir bölgedir. Bichou (2009: 2) ise limanı; ticari gemilere ve bunların yüklerine tesisler ve hizmetler sağlamakla birlikte çok modlu, dağıtım ve lojistik faaliyetleri de sağlayan, kara ile bir deniz veya su yolu bağlantısı arasındaki arayüz olarak tanımlamaktadır.

Liman ekonomik bir birimdir. Nasıl ki bir imalat şirketi bir ürün üretiyorsa, limanlar da bir aktarma hizmeti sunmaktadır. Bu aktarma hizmetinin miktarı genellikle limanın iş hacmi (port's throughput), yani limandan geçen yolcu ve yüklerin sayısı (miktarı) olarak anılmaktadır. Limanlar yük ve yolcuların gemilere ve gemilerden aktarılmasında işgücü, taşınabilir sermaye (vinçler vb.) ve altyapı (rıhtımlar vb.) gibi kaynakları kullanmaktadır (Talley, 2009: 1).

Limanlar taşımacılık sektörünün ana bileşenlerinden biridir ve günümüzde, büyüyen dünya ekonomisiyle bağlantılıdır. Temel olarak, küresel ekonomik sisteme entegrasyon aracıdır (Dwarakish ve Salim, 2015: 296). Talley (2009: 7) bir limanın ekonomik önemini; bölgedeki istihdamı, işgücü gelirlerini, işletme kazançlarını ve vergileri arttırarak bölgesel ekonomik kalkınmanın "itici gücü" şeklinde vurgulamaktadır.

Bir liman, bir gemi kapasiteli küçük bir rıhtımdan, birçok terminal ile sanayi ve hizmetler kümesinden oluşan çok büyük ölçekli bir merkeze kadar değişkenlik gösterebilmektedir (Bichou, 2009: 1). Limanlar varlıkları, rolleri, işlevleri ve kurumsal organizasyonları bağlamında birbirinden çok farklıdır ve tek bir limanda

bile gerçekleştirilen faaliyetler veya hizmetler geniş kapsamlıdır veya olabilmektedir (Bichou ve Gray, 2005: 76).

Limanlarda verilen hizmetler, ilgili literatür (Bichou ve Gray, 2005: 82; CEC, 1997: 23; Esmer ve Karataş Çetin, 2013: 398; TCDD, 2017) dikkate alınarak yük ile ilgili ve gemi ile ilgili hizmetler olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

1.1.1. Yük ile ilgili Hizmetler

Özellikle 20. yüzyılda belirli bir yük tipinde (konteyner, kuru dökme yük, sıvı dökme yük, tekerlekli yük, yolcu vb.) uzmanlaşmış gemilerin gelişimi ile birlikte, bu gemilere hizmet veren “terminal” kavramı ortaya çıkmıştır (Esmer ve Karataş Çetin, 2013: 401-402). Bu açıdan, yük ile ilgili hizmetlerden özellikle yükleme ve boşaltma hizmetlerinin terminal tiplerine göre incelenmesi faydalı olacaktır.

1.1.1.1. Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri

Limanlarda verilen en önemli hizmetlerden biri, yük elleçleme olarak da ifade edilen yükleme ve boşaltma hizmetleridir. Bu hizmetler, yüklerin gemilerden liman alanlarına veya tam tersine taşınması ile ilgili tüm faaliyetleri kapsamaktadır. Bu kısımda yükleme ve boşaltma hizmetleri; konteyner, kuru dökme yük, sıvı dökme yük, tekerlekli yük (Ro-Ro) ve yolcu (kruvaziyer) terminalleri kapsamında incelenmiştir.

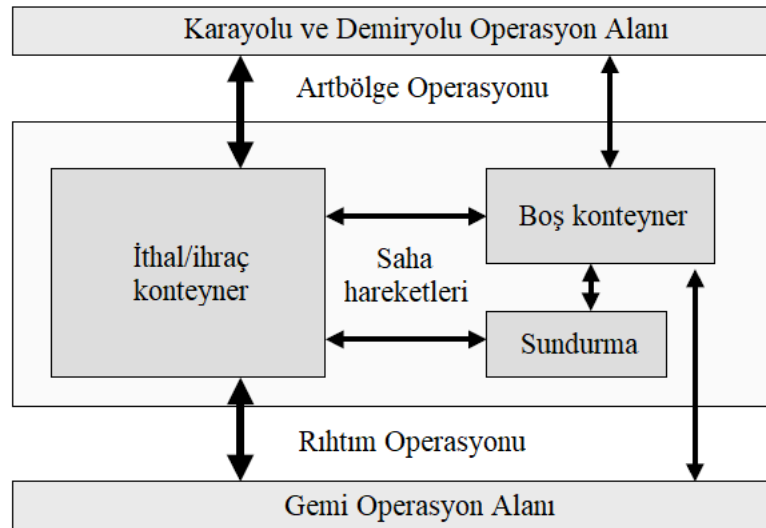
1.1.1.1.1. Konteyner Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri

Konteyner terminalleri; konteynerlerin açık deniz gemilerinden feeder gemilere (besleme hat gemileri), kamyonlara, trenlere, mavnalara ve tam tersine aktarıldığı limanlardaki alanlardır (Kempe, 2013: 2). Konteynerler, yüklerin kolay ve hızlı bir şekilde taşınması için tasarlanmış, standart ölçülere sahip büyük metal kutulardır. Başlıca iki konteyner ölçüsü bulunmaktadır: TEU (20 feet’lik konteyner) ve FEU (40 feet’lik konteyner). Konteynerler yükleme ve boşaltma süreçlerinde sağladıkları avantajların yanı sıra, yüklerin hava koşullarına ve hırsızlığa karşı

korunması, verimli bir fiziksel yük akışı ile sonuçlanan gelişmiş ve basitleştirilmiş planlama ve kontrol gibi birçok avantajı beraberinde getirmektedir (Carlo ve diğerleri, 2014: 1; Steenken ve diğerleri, 2004: 3).

Şekil 1’de bir konteyner terminalindeki operasyon alanları ve yük akışı gösterilmektedir. Gemi operasyon alanı, gemilerin yüklenmesi ve boşaltılması için rıhtım vinçleri ile donatılmıştır. İthal ve ihraç konteynerler, bir dizi bloğa bölünmüş bir alanda stoklanmaktadır. Boş konteynerler için ayrı alanlar kullanılır. Bazı terminaller, konteynerlerin doldurulması ve boşaltılması veya ilave lojistik hizmetler için sundurmalar(“sheds”) kullanmaktadır. Karayolu ve demiryolu operasyon alanı, terminali dış ulaştırma sistemlerine bağlar (Kim ve Günther, 2007: 5).

Şekil 1: Bir Konteyner Terminalinde Operasyon Alanları ve Yük Akışı

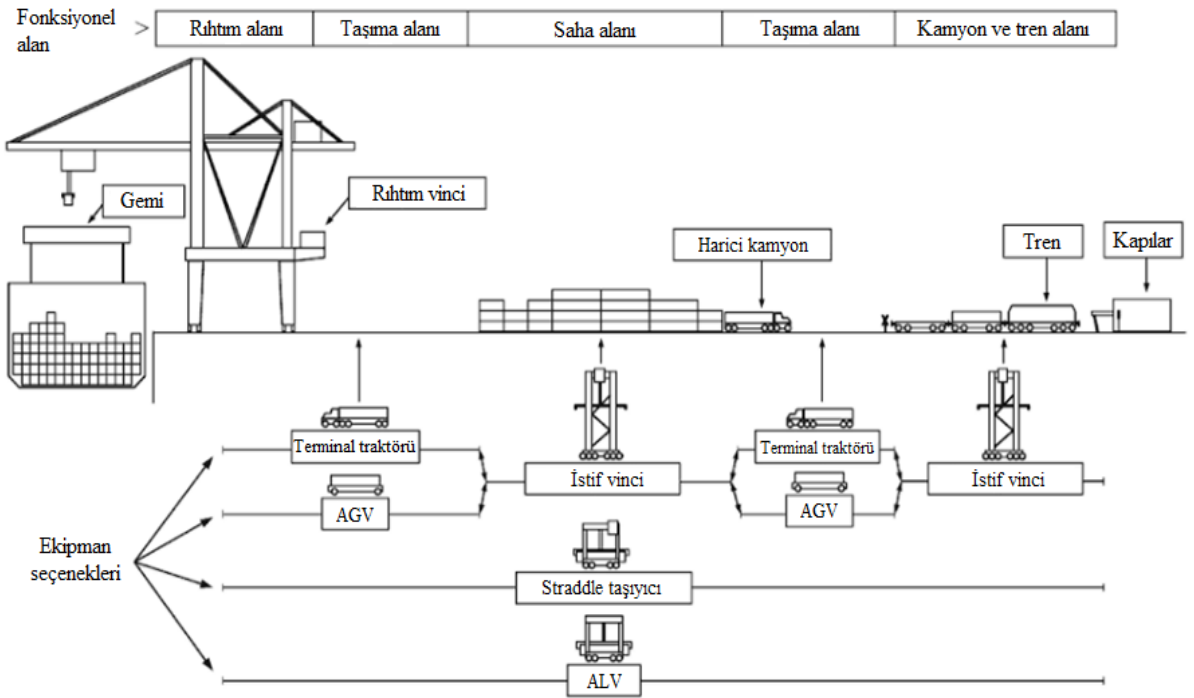


Kaynak: Steenken ve diğerleri (2004: 6)’nden uyarlanmıştır.

Konteyner terminallerinde bir geminin belirli bir rıhtıma atanması ile boşaltma süreci başlar. Bir veya daha fazla rıhtım vinci, ithal konteynerleri gemi güvertesinden alıp, rıhtım alanına veya doğrudan dahili transfer araçlarının üzerine bırakmaktadır. Konteynerler daha sonra terminal çekicisi, Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (AGV: Automated Guided Vehicle) gibi vasıtalarla rıhtım alanından stok alanına taşınır. Bir dizi bloktan oluşan stok alanında Lastik Tekerlekli İstif Vinci (RTG: Rubber-Tyred Gantry Crane), Raylı İstif Vinci (RMG: Rail-Mounted Gantry

Crane) ile Straddle Carrier (Straddle taşıyıcı), Reach Stacker (konteyner istifleyici) adı verilen araçlar hizmet verebilmektedir. Straddle taşıyıcı araçları ile Otomatik Kaldırma Araçları (ALV: Automated Lifting Vehicle) hem konteynerlerin terminal alanları arasında taşınmasında hem de stok alanında istiflenmesinde kullanılabilir. Konteynerler stok alanında, ülke içi taşıma için harici bir kamyon veya trene nakledilene kadar veya başka bir gemiye yüklenene kadar geçici olarak depolanır. İthal konteynerler, evrak ve muayene (eğer yapılırsa) işlemleri tamamlandıktan sonra terminal kapılarından ayrılmaktadır. Bu süreçler, ihraç konteynerlerin gemiye yüklenmesinde tersinden yürütülmektedir (Carlo ve diğerleri, 2014: 2; Kim ve Günther, 2007: 6; Meisel, 2009: 10; Vis ve de Koster, 2003: 2-3). Şekil 2’de bir konteyner terminalinin enine kesit görünümü verilmektedir.

Şekil 2: Bir Konteyner Terminalinin Şematik Enine Kesit Görünümü



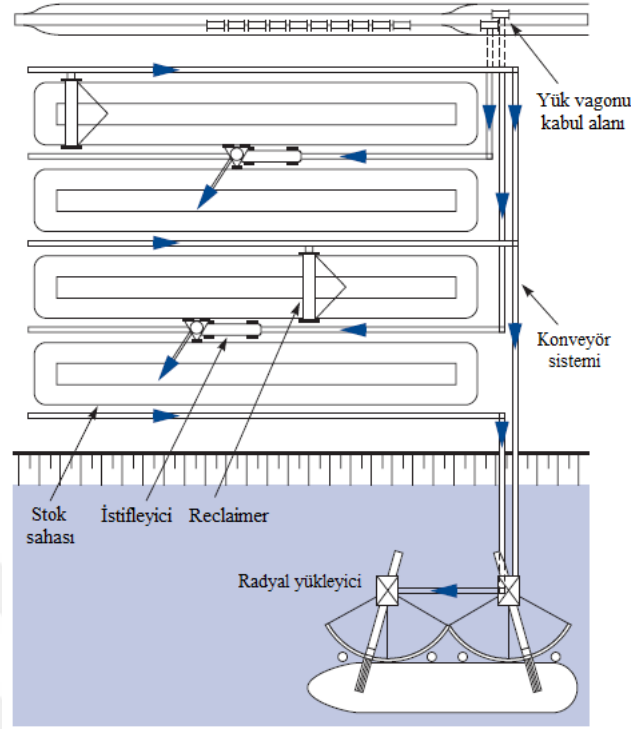
Kaynak: Meisel (2009: 10)’den uyarlanmıştır.

1.1.1.1.2. Kuru Dökme Yük Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri

Kuru dökme yük terminalleri, dünyadaki derin deniz limanlarının bir parçasıdır. Bu terminallerin amacı; müşterileri, kömür yakıtlı enerji santralleri veya çelik fabrikaları için dökme yükleri geçici olarak depolamaktır (Van Vianen ve diğerleri, 2012: 73). Kuru dökme yükler, ana (majör) ve ikincil (minör) dökme yükler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ana dökme yükler; demir cevheri, kömür, hububat, boksit/alümina ve fosfattan oluşmaktadır. İkincil dökme yükler ise çimento, orman ürünleri, çelik ürünleri, kükürt, şeker, tuz vb. yüklerden oluşmaktadır (Denktaş Şakar: 39; Stopford, 2009: 64).

Kuru dökme yük terminallerinde, ithal yükler kepçe veya sürekli boşaltıcılarla boşaltılır ve bantlı konveyörü besleyen bir haznenin içine bırakılır. Bantlı konveyörlerden oluşan bir sistem, yükü stok sahasında istiflemek üzere istifleyiciye (stacker) taşır. İthal yükler daha sonra yük vagonları, kamyonlar veya mavnalar ile tahliye edilebilir. İhraç yüklerde ise, yük vagonlarının boşaltılması için döner boşaltıcılar (tippler) kullanılmakta veya kendinden boşaltma yapan vagonlar kullanılmaktadır. Yükler titreşimli besleyiciler veya paletli besleyiciler tarafından boşaltılan haznelere bırakılır. Bu besleyiciler, yükü stok sahasına taşıyan bantlı konveyör sistemini beslemektedir. “Reclaimer” adlı vasıtalar stok sahasındaki yükü alıp, tekrar bantlı konveyörlerden oluşan bir sisteme aktarırlar. İhraç yükler daha sonra, yükleyicilerle (shiploader) gemiye yüklenir (Schott ve Lodewijks, 2007: 376). Şekil 3’te, bir demir cevheri ihracat terminalindeki yük akışı ve terminal ekipmanları gösterilmektedir.

Şekil 3: Bir Demir Cevheri İhracat Terminali



Kaynak: UNCTAD'dan aktaran Stopford (2009: 431)'tan uyarlanmıştır.

1.1.1.1.3. Sıvı Dökme Yük Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri

Sıvı dökme yük terminalleri ham petrol, petrol ürünleri, sıvı kimyasallar, Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG: Liquefied Natural Gas) ve Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG: Liquefied Petroleum Gas) yüklerine ve bu yükleri taşıyan tanker gemilerine hizmet verirler.

Sıvı dökme yükler genellikle tanklarda depolanır ve tanklar ile gemiler arasında boru hatlarıyla taşınırlar. Petrol ürünleri çoğunlukla büyük tanklarda, kimyasal ürünler ise daha küçük tanklarda muhafaza edilir. Farklı petrol ürünleri için aynı boru hatları kullanılabilirken, kimyasal ürünler için genellikle özel tahsis edilmiş boru hatları kullanılır. LPG ve LNG yüklerinin belli bir basınç ve sıcaklıkta kalmaları gerektiğinden, bu ürünlerin transferi için özel yalıtılmış boru hattı sistemleri gerekmektedir (Dohmen, 2016: 21-22).

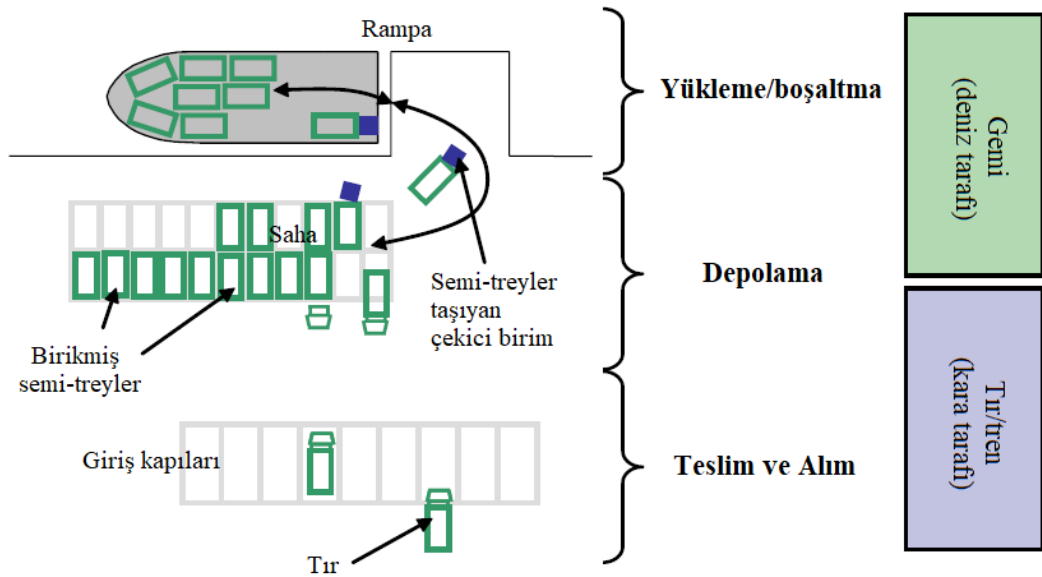
Sıvı dökme yükler genellikle geminin pompaları ile tahliye edilir ve terminal pompalarıyla yüklenir. İskele ve terminal arasındaki mesafenin çok uzak olduğu

terminallerde, hem yükleme hem de boşaltma işlemleri için iskele ile terminal arasında genellikle destekleyici pompalar bulunur (Ming ve Shah, 2008: 4).

1.1.1.1.4. Ro-Ro Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri

“Ro-Ro (Roll-on/Roll-off)” olarak adlandırılan tekerlekli yük taşımacılığında gemiler, tekerlekli ve paletli araçları taşımak üzere tasarlanmışlardır. Ro-Ro terminallerinde yüklerin yükleme ve boşaltma işlemleri, geminin kendi rampaları veya kıyı tabanlı rampalar üzerinden gerçekleşmektedir (Grunau, 2015: 316). Şekil 4’de bir Ro-Ro terminalindeki operasyonel süreçler gösterilmektedir.

Şekil 4: Bir Ro-Ro Terminalindeki Operasyonel Süreçler



Kaynak: Morales-Fusco ve diğerleri (2010: 699)’nden uyarlanmıştır.

Ro-Ro yükleri yalnızca kendi imkanları ile transferleri sağlanan yükler olmayıp; proje yükleri, tekne, konteyner vb. yüklerin taşınması gereken durumlarda “roll-trailer” gibi ekipmanlar kullanılmaktadır (Wathne, 2012: 5). Tır, otomobil gibi yüklerin transferleri kendi imkanları ile gerçekleşirken, “roll-trailer” ile taşınan yüklerin ve semi-treylerlerin transferleri terminal çekicileri ile gerçekleşmektedir.

1.1.1.1.5. Kruvaziyer Terminallerinde Yükleme ve Boşaltma Hizmetleri

Kruvaziyer yolcu terminallerinde, yolcuların gemiye ve gemiden transferleri için yolcu bindirme köprüleri kullanılmaktadır. Bu köprüler borda iskeleleri, rampalar, havalimanı tipi körükler vb. donanımları kapsamaktadır (Talley, 2009: 45).

Yeterli yanaşma imkanlarının bulunmadığı bazı limanlarda, kıyıdan uzakta gemi demirleme mevkileri kullanılmakta ve yolcular botlarla gemiye ve gemiden sevk edilmektedir (Cairns ve diğerleri, 2016: 688).

1.1.1.2. Diğer Hizmetler

Limanlarda yükleme ve boşaltma hizmetlerinden başka yük ile ilgili temel hizmetler iç nakliye, depolama, yük aktarma (shifting), puantaj ve tartım şeklinde sıralanabilir. Limanlar bu temel hizmetlere ek olarak, katma değer yaratıcı hizmetler de vermektedir. Daha çok konteyner ve genel yüke yönelik olan bu hizmetler iç dolum/boşaltım, tehlikeli yük elleçleme, yük ayrıştırma/birleştirme, ambalajlama, paketleme, montaj vb. daha birçok hizmeti kapsamaktadır (Esmer, 2011: 68-70).

Yük elleçleme ve depolama merkezleri olarak ve çok miktarda ulaştırma hizmetinin varlığı nedeniyle limanlar, lojistik faaliyetler açısından cazibe merkezi konumundadırlar. Limanlardaki depolama, montaj, ambalajlama/paketleme, yük birleştirme gibi lojistik hizmetlerin, taşıma ve yük elleçleme faaliyetleriyle güçlü bir ilişkisi bulunmaktadır (De Langen, 2004: 84).

1.1.2. Gemi ile ilgili Hizmetler

Limanlarda gemilere verilen ve limanların ilk varoluş sebeplerinden olan en temel hizmet, gemilerin kötü hava koşullarından korunmasını içeren barınma hizmetidir. Yükleme ve boşaltma hizmetleri yük ile ilgili hizmetler olarak değerlendirilse de, aynı zamanda gemilere de verilen en temel hizmet olarak dikkate alınmalıdır (Esmer, 2011: 73).

Bu kısımda, limanlarda gemilere verilen hizmetler; kılavuzluk, römorkörcülük, palamar hizmetleri ve diğer hizmetler başlıkları altında incelenmiştir.

1.1.2.1. Kılavuzluk Hizmetleri

Kılavuz kaptanlar, denizcilik endüstrisi için temel bir hizmet olan kılavuzluk hizmetini sağlamaktadır. Limana yanaşma ve limandan kalkışlarda veya özellikle bir gemi kaptanının bölgeyi bilmediği durumlarda yapılacak seyrin tehlikeli olarak değerlendirilebileceği yerlerde, yerel bilgileri ile gemilere danışmanlık hizmeti vermektedirler. Kılavuz kaptanlar yerel bilgi ve uzmanlıklarına ek olarak, kıyı ve römorkörler ile genellikle yerel dili kullanarak etkili iletişim kurabilmektedir (Url 1).

Kılavuz kaptanlar hizmet verdikleri bölgedeki tüm trafiğin dikkatli bir şekilde yönetilmesini ve serbest akışını sağlayarak ve dolayısıyla çevreyi koruyarak kritik öneme sahip bir kamu hizmeti sağlamaktadırlar (Url 2).

Kılavuzluk, bilgi ve deneyime dayalı bir hizmettir. Kılavuzluğun en önemli bileşeni operasyonun yöneticisi, yani kılavuz kaptandır. Bir kılavuz kaptan seyir emniyetini tehlikeye atabilecek tüm yerel etkileri bilir ve liman yetkilileri, gemi trafik hizmetleri, römorkörler ve palamar ekipleri arasında işbirliği yapmaktadır (Uğurlu ve diğerleri, 2017: 51). Kılavuz kaptanın gemi kaptanı ile yapacağı fikir alışverişi sayesinde geminin yaklaşım kanalında seyri, rıhtıma yanaştırılması, rıhtımdan kalkışı veya demirlemesi gibi süreçlerde emniyet sağlanabilmektedir (Esmer, 2011: 75).

Kılavuz kaptanlar, bazı limanlarda yetkilendirilmiş bağımsız özel kuruluşlarda çalışan kişiler olmakta iken, bazı durumlarda kamu çalışanları olmaktadır (Trujillo ve Gonzalez, 2011: 293).

Limanlarda verilen kılavuzluk hizmetleri, liman bölgesine gelen bir geminin kılavuz kaptan alma bölgesinden rıhtıma yanaştırılmasına veya limandan kalkış yapan bir geminin kılavuz kaptan ayrılma bölgesine kadar olan ve römorkörcülük ile palamar hizmetlerini de içeren bir süreçtir (Kahraman, 2016: 54). Deniz emniyeti ve çevre koruma sorumluluğu bakımından kamusal nitelikte olan liman kılavuzluk hizmeti, gemilerin zorunlu alması gereken bir hizmettir (Nas, 2013: 59).

Kılavuzluk, römorkörcülük ve palamar hizmetleri Avrupa Komisyonu'nun 1997 yılında yayınlamış olduğu belgede "teknik seyir hizmetleri (technical-nautical services)" adı altında, liman hizmetlerinin "gemi ile ilgili hizmetler" kısmında incelenmiştir (CEC, 1997: 24).

1.1.2.2. Römorkörcülük Hizmetleri

Kendi imkanları ile manevra yapamayan (yetersiz kalan) veya kendi imkanlarıyla yapacakları manevranın kendisi, diğer gemiler, liman ve kıyı tesisleri ve çevre için risk oluşturabileceği varsayılan gemilere limana yanaşma ve limandan kalkış süreçlerinde, itme ve çekme kabiliyetlerine sahip römorkörler ile manevra desteği sağlanmaktadır (Nas ve diğerleri, 2016: 92). Bu hizmet gerçekleştirilirken römorkör kaptanları, gemi üzerindeki kılavuz kaptanın talimatlarına uymaktadır. Teknik seyir hizmetleri kapsamında verilen kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetleri birbirine bağlı hizmetlerdir (Nas, 2013: 59).

Römorkörcülük hizmetleri bazı limanlarda özel firmalar tarafından verilmekte iken, bazı limanlarda ise römorkörler ve römorkör çalışanları doğrudan idare tarafından istihdam edilmektedir (Trujillo ve Gonzalez, 2011: 293).

Bu tezin konusu olması dolayısıyla römorkörcülük hizmetleri, tezin “1.2. Römorkörcülük Hizmetleri” kısmından itibaren detaylı olarak incelenmiştir.

1.1.2.3. Palamar Hizmetleri

Palamar hizmeti, gemilerin emniyetli bir şekilde rıhtıma bağlanmasını ve rıhtımdan ayrılmasını sağlamak üzere, rıhtım üzerinde ve denizden de palamar botu yardımıyla limanlardaki gemici personel tarafından verilen bir hizmettir (Kahraman, 2016: 9).

Palamar hizmetleri küçük limanlarda yerel liman işçileri tarafından, daha büyük limanlarda ise genellikle uzmanlaşmış özel firmalar tarafından sağlanmaktadır. Özellikle bazı durumlarda, örneğin kimyasal veya gaz yüklerinin elleçlendiği özel terminallerde, büyük gelgit farklılıkları olan limanlarda, palamar hizmetleri uzman beceri ve ekipman gerektirmektedir (World Bank, 2003).

1.1.2.4. Diğer Hizmetler

Kılavuzluk, römorkörcülük ve palamar hizmetlerinden başka limanlarda gemilere verilen zorunlu hizmetler; atık alımı, güvenlik, gümrük muhafaza ve

gümrük, sağlık, liman devleti kontrolü, bayrak devleti kontrolü gibi hizmetleri kapsamaktadır. Gemilere verilen katma değer yaratıcı hizmetler ise kumanya, su ve yakıt tedariki, bakım ve onarım vb. hizmetlerden oluşmaktadır (Esmer, 2011: 73-78).

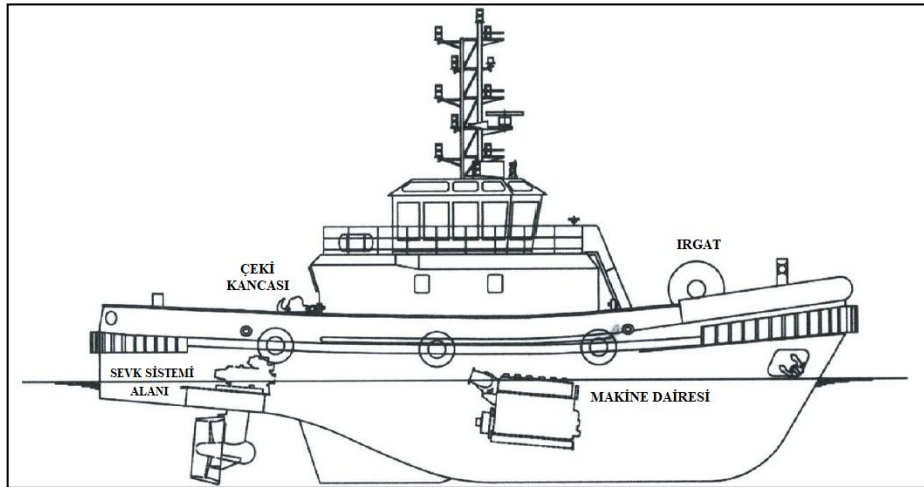
1.2. RÖMORKÖRCÜLÜK HİZMETLERİ

Bu kısımda, liman hizmetlerinin gemi ile ilgili hizmetler kapsamına giren ve tezin konusunu oluşturan römorkörcülük hizmetleri kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır.

1.2.1. Römorkör Tanımı ve Römorkörcülük Hizmetleri

Römorkörler sınırlı sularda büyük gemilerin manevralarına yardım edilmesi, mavnaların hareket ettirilmesi, okyanus seferlerinde gemilerin çekilmesi, kurtarma ve yangın söndürme operasyonları gibi çeşitli görevleri yerine getiren deniz vasıtalarıdır (Tupper, 2004: 355). Yüksek manevra yeteneklerine sahip ve boyutlarına nazaran çok güçlü sevk sistemleri olan motorlu teknelerdir (Makouizad, 2013). Açık deniz römorkörlerinden, liman içinde ve çevresinde çalışan daha küçük liman römorkörlerine kadar denizcilik sektöründe hizmet veren çeşitli römorkör tipleri mevcuttur (House, 2007: 115). Şekil 5'te bir römorkörün yandan görünümü gösterilmekte ve ana ekipmanları belirtilmektedir.

Şekil 5: Bir Römorkörün Genel Özellikleri



Kaynak: Tupper (2004: 357)'den uyarlanmıştır.

Römorkörler küresel olarak limanlarda çeşitli operasyonların yürütülmesinde kilit bir unsur haline gelmiştir. Günümüzde modern bir römorkör; gemi bağlama operasyonlarında yol gösterme, yangınla mücadele, petrol kirliliğine müdahale, buz kırma gibi çok çeşitli operasyonları etkili bir şekilde gerçekleştirme yeteneği ile tanımlanan çok amaçlı yüzer bir platform haline gelmiştir. Limana yanaşma ve limandan kalkış süreçlerinde itme ve çekme operasyonlarıyla römorkörler, kısıtlı alanlarda büyük gemilerin düşük hızlarda yönetilmesine yardımcı olurlar. Karaya oturma, alabora olma veya batma durumlarında römorkörler, herhangi bir kurtarma operasyonunun ayrılmaz parçalarıdır (Balakrishnan ve Sasi, 2016: 87).

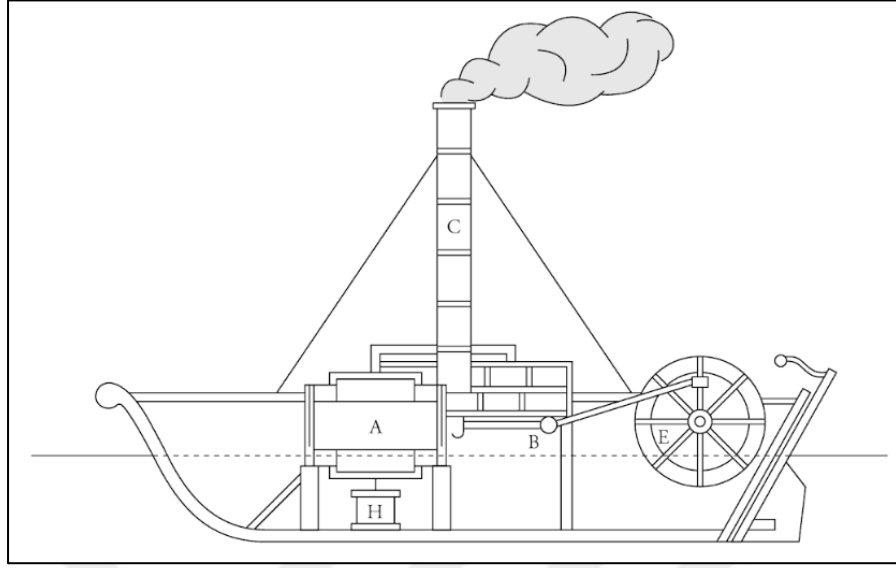
Römorkörcülük hizmetleri kıyı tesislerinde, suyollarında ve açık deniz yapılarında emniyetli bir şekilde kendilerince manevra yapma yeteneği olmayan gemilere ve deniz araçlarına römorkörler tarafından sağlanan hizmetlerdir. Gemilerin büyüklüğüne göre uygun çekme ve itme kuvvetlerine sahip römorkörler, manevradaki gemiye halat yardımı ile belirli noktalardan bağlanmaktadır. Römorkör kaptanları, kılavuz kaptanın talimatlarına uyarak istenilen kuvvet ve doğrultuda gemiye kuvvet uygulamaktadırlar (Nas, 2013: 59). Kılavuz kaptanlar römorkörler ile yakın çalışma eğiliminde olmakta ve çoğu durumda römorkör kaptanları, geminin otoritesini tanımaktadır (House, 2007: 115).

Römorkörcülük hizmetleri ile kılavuzluk hizmetleri, nitelik ve hukuki yapıları yönünden birbirinden farklı özellikte olsalar da, hizmetin verilmesi bakımından birbirini tamamlayan ve aynı amaca yönelik hizmetler olup, denizde seyir, can, mal ve çevre emniyetinin sağlanmasını amaçlamaktadırlar (Demir'den aktaran Taşkeser, 2014: 69).

1.2.2. Römorkörlerin Tarihsel Gelişimi

1736 yılında Jonathan Hulls tarafından, liman giriş ve çıkışlarında büyük gemileri hareket ettirmek üzere, Newcomen buhar makinesi tahrikli bir teknenin patentli alınmıştır. Fiili olarak inşa edilen ilk römorkör ise, Watt buhar makinesi ve kıştan çark ile çalışan ve İskoçya'daki Forth and Clyde Kanalı'nda kullanılan "Charlotte Dundas" isimli bir römorkördür (Url 3). Bu römorkörün bir çizimi Şekil 6'da gösterilmektedir.

Şekil 6: The Charlotte Dundas, 1802

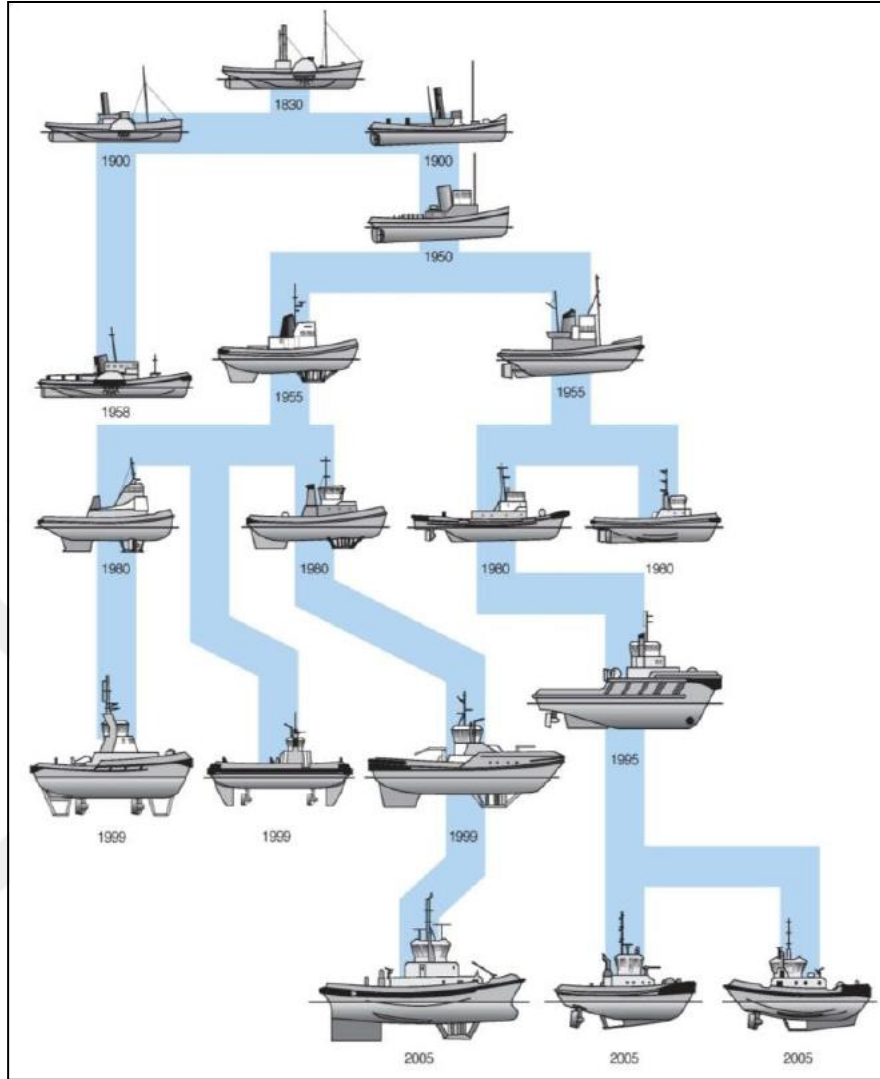


Kaynak: Thurston'dan aktaran Garrison ve Levinson, 2014: 4.

Buhar gücü ile çalışan römorkörler 1800'lü yıllardan başlayarak İkinci Dünya Savaşı'na kadar olan dönemde kullanılmıştır (Eke, 2010: 2-3). 1920'lerden 1940'lara kadar olan dönemde, birçok eski, ahşap gövdeli liman ve kıyı römorkörü dizel enerjiye geçmiştir. İkinci Dünya Savaşı ile birlikte her boyuttan yüzlerce römorkör inşa edilmiştir (Blank, 1989: 7).

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonraki yıllarda ana makine ve pervanelerle ilgili birçok deneysel çalışma yapılmış ve ilk köklü tasarımsal gelişme, 1950'li yıllarda Voith Schneider pervane ile donatılan bir römorkör ile olmuştur. 19. Yüzyıl'da çarklı römorkörler ile başlayan ve İkinci Dünya Savaşı sonrası hızlanarak devam eden römorkörlerin tarihsel gelişimi Şekil 7'de gösterilmektedir (Eke, 2010: 3-5).

Şekil 7: Römorkörlerin Tarihsel Gelişimi



Kaynak: Gaston'dan aktaran Eke, 2010: 5.

1.2.3. Römorkörlerde Yürütme Sistemi ve Çekme Kuvveti

Bir römorkörün gücü tamamen, kurulu olan yürütme sistemine bağlıdır. Günümüzde, özellikle römorkörlerde pervane gücünün ana kaynağı dizel motordur. Gerekli güç ve pervane devir oranı, römorkör gövdesinin şekline ve boyutuna ve pervanenin tasarımına bağlıdır. Römorkörler yüksek manevra kabiliyetine sahip olacak şekilde tasarlandıklarından dolayı, farklı türde yürütme sistemleri geliştirilmiştir. Daha önceki römorkörlerin ana itici güç olarak kullandığı çarkların yerini günümüzde “cycloidal (Voith Schneider)”, “Z-Drive (Azimuth)” vb. itiş

sistemleri almıştır (Nitonye ve diğerleri, 2017: 84).

Çekme kuvveti, bir römorkörün belirli koşullar altında uygulayabileceği ton cinsinden ifade edilen kuvvet miktarı ile tanımlanır. Römorkör ve ekipmanları yeni olduğunda, denemeler yapılarak elde edilen bir ölçüdür. Çekme halatı, karaya bağlı bir dayanak noktasına sabitlenir ve römorkörün sabit noktaya zıt yönde çekerken uyguladığı gerilim ölçülür (House, 2007: 116). Ölçülen bu değer, römorkörün çekme kuvveti sertifikasında belirtildiği gibi, bir römorkörün çekme kabiliyetine yönelik bir standart olarak kullanılır (ETA, 2015: 13). Klas kuruluşlarının, römorkörlerin çekme kuvvetinin nasıl ölçülmesi gerektiğine dair kendi kılavuzları bulunmaktadır (Url 4).

Römorkörler için kiralama oranları, römorkörün uygulayabileceği çekme kuvvetine bağlıdır. Bir römorkörün çekme kuvveti ne kadar yüksek olursa, kiralama oranı da o kadar büyük olur (House, 2007: 116).

1.2.4. Römorkörlerin Sınıflandırılması

Römorkörler genellikle, yaptıkları işin türüne göre ve kullandıkları yürütme sisteminin tipine veya konfigürasyonuna göre kategorize edilmektedir (Url 5). Bu kısımda römorkörler, “çalışma alanlarına” ve “yürütme sistemlerine göre” olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılmış ve incelenmiştir.

1.2.4.1. Çalışma Alanlarına Göre Römorkörler

Römorkörler çalışma alanlarına göre; “liman römorkörleri”, “açık deniz römorkörleri” ve “nehir römorkörleri” olmak üzere 3 başlık altında incelenmiştir.

1.2.4.1.1. Liman Römorkörleri

Liman otoriteleri, limandaki trafiğin emniyetini ve etkinliğini gözetmekle yükümlüdür. Bu durum, temelde; dönüş, yanaşma veya kalkış operasyonlarını gerçekleştiren büyük gemilere römorkörler ile destek vermeyi içermektedir (Artyszuk, 2013: 9). Büyük gemilerin çoğu, çok düşük hızlarda çalışırken kendi dümenleri üzerinde herhangi bir kontrole sahip olmadığı ve bu nedenle rüzgar ve

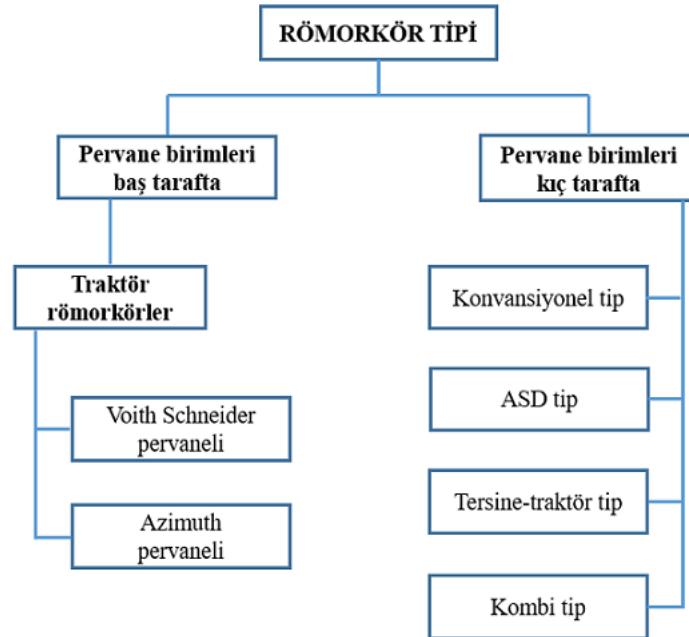
akıntı kuvvetlerine karşı çok hassas oldukları için römorkörlere ihtiyaç duyulmaktadır (Url 5).

Her limanın, römorkörlerin kullanım şeklini belirleyen kendine özgü özellikleri vardır. Genellikle, römorkör seçiminde ve kullanımında aşağıdaki koşullar önem taşımaktadır (Radisic, 2003: 381):

- limandaki trafik yoğunluğu,
- limanın hizmet verdiği gemi tipleri,
- liman bölgesindeki seyir ile ilgili engeller,
- çevre koruma şartları,
- yerel yasalar,
- römorkörlerin mevcut boyutları ve tipleri,
- römorkör personelinin deneyimi.

Liman römorkörleri tipik olarak 20 ile 32 metre arası uzunluktadır ve 2000 ile 4000 kW arasında değişen güce sahiptir. Bununla birlikte, limanın boyutuna ve elleçlenen gemilerin tiplerine bağlı olarak bunların istisnaları da vardır (Url 5). Şekil 8’de, liman römorkörlerinin sınıflandırılmasına yönelik genel bir taslak sunulmaktadır.

Şekil 8: Liman Römorkörlerinin Başlıca Tipleri



Kaynak: Hensen (2003: 8)’den uyarlanmıştır.

Liman römorkörlerinin yanıt süresi kısa olmalı ve manevra kabiliyetleri, römorkörün en az sürede karşılık verebileceği şekilde olmalıdır. Bundan başka, römorkörün etkili olmasını sağlayan çekme kuvveti ve su altı şekli de önemlidir (Hensen, 2003: 9-10).

1.2.4.1.2. Açık Deniz Römorkörleri

Literatüre bakıldığında açık deniz römorkörlerinin “ocean-going tug (tugboat)”, “seagoing tug (tugboat)”, “ocean tug (tugboat)”, “deep-sea tug (tugboat)” gibi kelimeler ile ifade edildiği görülmüştür.

Açık deniz römorkörleri, hareket kabiliyetini tamamen veya kısmen yitiren gemilere verilen kurtarma/yardım hizmetlerinde, petrol platformu gibi özel amaçlı yüzer yapıların hareket ettirilmesinde kullanılırlar (Çakalır’dan aktaran Taşkeser, 2014: 25).

Petrol endüstrisinin büyük petrol platformlarının hareket ettirilmesi ve demirlenmesi konusundaki gereksinimleri nedeniyle, demir elleçleme (anchor-handling) kabiliyetine sahip özel bir römorkör/ikmal gemisi (tug/supply vessel) sınıfı geliştirilmiştir. Bunlar geniş, uzun ve açık bir kıç ve ileriye doğru tüm üst yapılarla birlikte yükseltilmiş bir baş kasara güvertesine sahiptir (Blank, 1989: 53). Literatürde bu gemiler “Anchor-Handling Tug/Supply Vessels (AHTS)” olarak geçmektedir. Şekil 9’da bu römorkör/ikmal gemilerine bir örnek gösterilmiştir.

Şekil 9: Bir Demir Elleçleme Römorkör/İkmal Gemisi



Kaynak: Url 6.

Uzak mesafe kurtarma operasyonları için tahsis edilmiş römorkörlerin dönemi ise bugün büyük ölçüde ortadan kalkmıştır. Bunlar tipik olarak, kıydan gemileri çekmek veya batmalarını önlemek için kullanılabilen özel vinç ve pompa gibi donanımlara sahip büyük römorkörlerdi. Bu tür römorkörlere olan talep öncesine göre günümüzde kısmen daha azdır; ancak gemiler hala tehlikeye düşebilmekte ve yardım için büyük römorkörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok ülkede bu hizmetin sağlanması için tahsis edilmiş, hükümet destekli römorkörler kullanılmaktadır (Url 5).

1.2.4.1.3. Nehir Römorkörleri

“Towboat” terimi; önlerindeki mavnaları iten, düz gövdeli ve çok katlı güverte kamarasına sahip nehir römorkörlerinden bahsedildiği zaman “tugboat” yerine tercih edilen bir terimdir. Bu römorkörlerin çoğu, ABD’deki Mississippi ve Ohio nehirlerinde kullanılanların bir uzantısıdır (Blank, 1989: 54).

Uzak mesafe römorkörcülük şirketleri (“line haul towing companies”), nehir sistemlerinde çeşitli tiplerdeki mavnaların bir noktadan diğer noktaya nakledilmesini sağlayan nehir römorkörlerini işletmektedir (Minnesota Department of Transportation, 2001: 21). Şekil 10’da uzak mesafe nehir taşımacılığında kullanılan römorkörlere bir örnek gösterilmektedir.

Şekil 10: Uzak Mesafe Nehir Taşımacılığında Kullanılan Bir Römorkör (Line Haul Towboat)



Kaynak: Minnesota Department of Transportation, 2001: 24.

1.2.4.2. Yürütme Sistemlerine Göre Römorkörler

Bu kısımda römorkörler, pervane birimlerinin tiplerine ve konumlarına göre sınıflandırılmıştır. Pervane birimleri ile birlikte, her bir römorkör tipinin su altı omurga tasarımları ve bunların konumları da çeşitlilik göstermektedir.

1.2.4.2.1. Konvansiyonel Römorkörler

En eski römorkör tipleri, konvansiyonel römorkörlerdir. Bu römorkörler ilk zamanlarda buhar makineleriyle, günümüzde ise dizel makinelerle donatılmışlardır (Radisic, 2003: 381).

Konvansiyonel römorkörler standart bir yürütme sistemi ile donatılmıştır. Bu tip römorkörlerin tek veya çift pervaneli, sabit nozullu veya yönlendirilebilir nozullu, sabit adım veya değişken adım pervaneli olarak varyansları mevcuttur (ETA, 2015: 6).

Konvansiyonel römorkörlerin genel özellikleri şu şekildedir (ETA, 2015: 6; Hensen, 2003; Url 4):

- Çoğu görev için manevra kabiliyetli ve etkilidir; fakat Azimuth Pervaneli Kıçtan Tahrikli (ASD: Azimuth Stern Drive) römorkörlerden veya traktör römorkörlerden daha az manevra kabiliyetine sahiptir.
- Özellikle ileri yönde çekişte, dümen kabiliyetleri iyidir ve en yüksek çekme kuvvetini ortaya koyarlar.
- Çekme donanımı römorkörün orta kısmına yakın olup, buranın hemen gerisindedir. Çekme donanımının konumundan dolayı bu römorkörler, performans ve emniyet konusunda kısıtlamalara sahiptir.
- Geminin kıç tarafında çekme işlemi sırasında römorkörün askıda kalma (girting) riski fazladır. Bu operasyon, römorkör kaptanının çok fazla beceri ve deneyime sahip olmasını gerektirir.
- Konvansiyonel römorkörlerin geri yöndeki gücü genellikle düşüktür.
- Çift pervaneli konvansiyonel römorkörler (bkz. Şekil 11), tek pervaneli olanlardan çok daha fazla manevra kabiliyetine sahiptir.

Şekil 11: Çift Pervaneli ve Sabit Nozullu Bir Konvansiyonel Römorkör



Kaynak: ETA, 2015: 7.

Günümüzde dümen sistemi ya da nozulu olmayan (açık), tek pervaneli konvansiyonel römorkörler yok denecek kadar azalmıştır (Eke, 2010: 7-8).

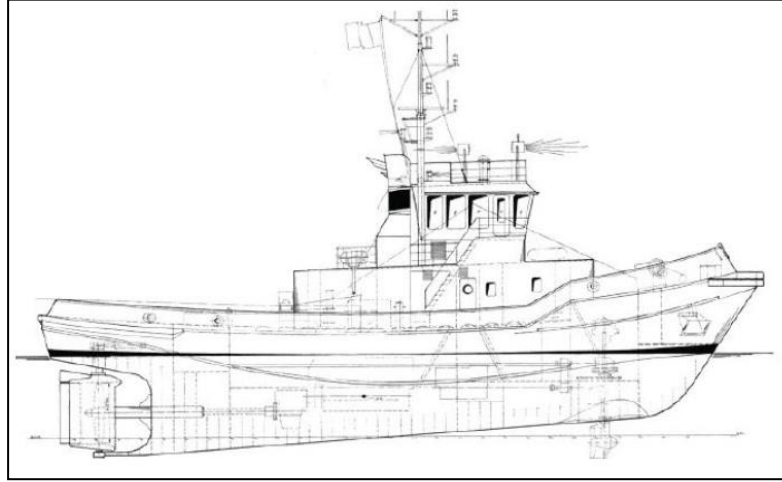
1.2.4.2.2. Kombi Römorkörler

Konvansiyonel tek pervaneli bir römorkörün baş tarafına 360° dönebilen bir Azimuth pervane biriminin yerleştirilmesiyle meydana gelen römorkörlere kombi römorkör (combi tug) denir. İlk kombi römorkörler 1960'ların başlarında görülmüştür (Hensen, 2003: 19). Şekil 12'de, baş tarafının altında bulunan Azimuth pervane birimi ile bir kombi römorkör gösterilmektedir.

Kombi römorkörler çok kısa bir alanda dönebilir ve bunların konvansiyonel römorkörlere göre en avantajlı yönü, düz bir hat üzerinde sapma yapmadan geri yol yapabilmeleridir (MEB, 2015: 52).

Baş taraftaki Azimuth pervane biriminin yürütme sistemiyle aynı doğrultuda olması, ileri yol ve geri yolda ilave çekme kuvveti sağlar ve maksimum hızı artırır (Hensen, 2003: 19).

Şekil 12: Kombi Römorkör



Kaynak: ETA, 2015: 11.

1.2.4.2.3. Azimuth Pervaneli Kıçtan Tahrikli (ASD) Römorkörler

Bu römorkörlerin kıç tarafında birbirinden bağımsız olarak 360° dönebilen iki adet Azimuth pervane birimi bulunmaktadır. Böylece pervane itiş herhangi bir yöne doğru yönlendirilebilmektedir (ETA, 2015: 8).

Pervane birimleri sabit adım veya değişken adım olabilmekte ve nozul içinde bulunmaktadır. Bu römorkörlerin yürütme sistemi, iki adet dik açılı tahrik dişlilerinden oluştuğu için bazen “Z-Drive” olarak da adlandırılmaktadır (Tupper, 2004: 356).

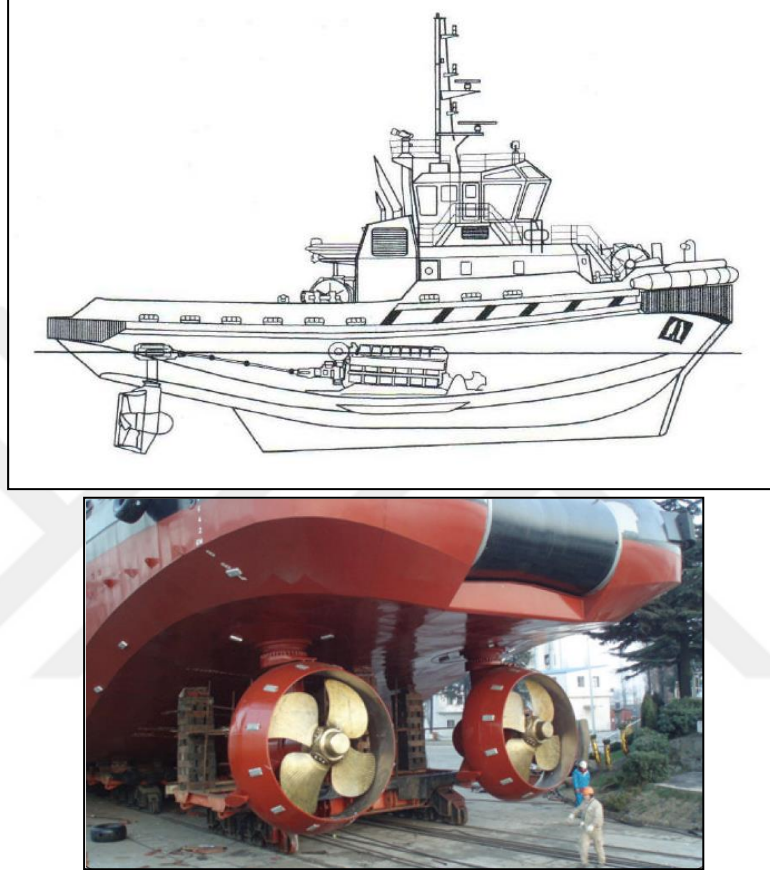
Literatürde bu römorkörler “Azimuth Stern Drive” ya da kısaca “ASD” olarak geçmektedir. Şekil 13’te ASD römorkörün yandan görünüşü ve kıç tarafındaki pervane birimlerine bir örnek gösterilmektedir.

ASD römorkörlerin genel özellikleri şu şekildedir (Hensen, 2003: 28; Radisic, 2003: 384; Url 4):

- Düşük drafta (su çekimi) sahiptir.
- Baş ve kıç tarafında çekme vinçleri bulunur.
- kW başına gelişmiş çekme kuvvetine sahiptir.
- Konvansiyonel römorkörlerden daha iyi manevra kabiliyetine sahiptir.
- Pervane kontrolü, Azimuth traktör römorkörlerindeki ile aynıdır.
- Yüksek hızlarda geri gitme haricinde dümen özellikleri iyidir.

- Geri yoldaki gücü ileri yoldaki gücüne yakın olup, % 5 - % 10 daha azdır.
- Sualtı gövde yapısı, römorkörün dinamik stabilitesini arttırmaktadır.
- Karmaşık kullanma mekanizmasına sahiptir.

Şekil 13: ASD Römorkör ve Pervane Birimleri



Kaynak: Eke, 2010: 13; Url 5.

1.2.4.2.4. Traktör Römorkörler

Traktör römorkörler; gövdenin altında, baş taraftan uzunluğunun yaklaşık üçte biri kadar uzağa yerleştirilmiş pervaneler ve kıç tarafta denge sağlayıcı bir “skeg” ile geleneksel olmayan bir gövde yapısına sahiptirler. Traktör römorkörlerde itiş gücü, Azimuth pervane veya dikey eksen pervane (Voith Schneider) birimleri tarafından sağlanmaktadır (Tupper, 2004: 356).

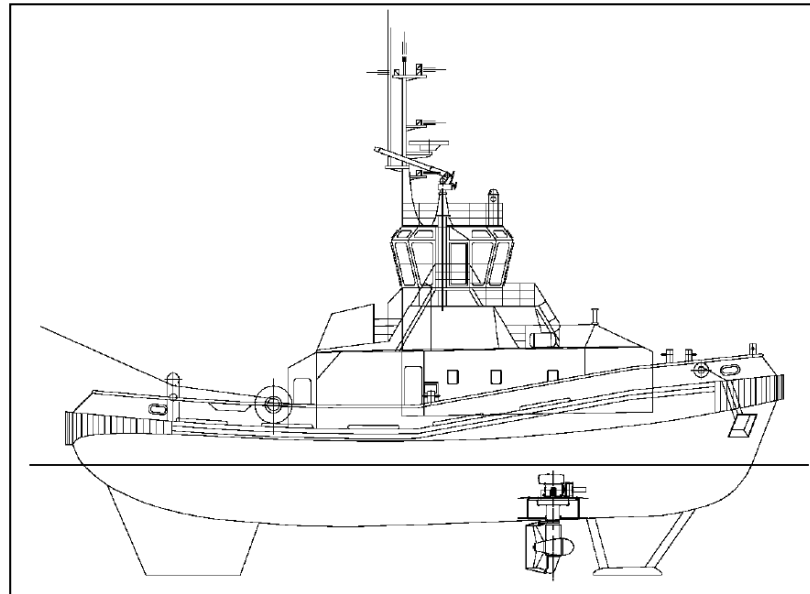
1.2.4.2.4.1. Azimuth Pervaneli Traktör Römorkörler

Azimuth pervaneli traktör römorkörler, baş tarafında, ASD römorkörlere takılan pervane birimleriyle temelde aynı özelliklere sahip olan iki Azimuth pervane birimi ile donatılmıştır. Bu römorkörlerin çekme vinci, kıç tarafında yer almaktadır (ETA, 2015: 9).

Voith Schneider sistemine alternatif olarak ilk kez 1970'lerin başlarında ortaya çıkmışlardır. Voith Schneider pervanelerindeki ilerlemeler ve yeni kıçtan tahrikli römorkörlerin gelişimi sonucunda, Azimuth pervaneli traktör römorkörlerin gelişimi büyük ölçüde yavaşlamıştır (Eke, 2010: 19-20).

Temel tasarımları, Voith Schneider traktör römorkörlerden çok farklı değildir ve çekme donanımlarının konumları genellikle benzerdir. Gövdenin altında bulunan koruma plakası, karaya oturma durumunda pervane birimlerini korumakta ve ayrıca römorkörün havuzlanması işe yaramaktadır. Baş tarafa doğru yerleştirilen pervane birimleri römorkörün etkililiğini arttırmaktadır. Geri yöndeki itiş gücü yaklaşık % 5 daha az olabilmesine rağmen, pervane birimleri herhangi bir yönde hemen hemen aynı miktarda itiş gücü sağlamaktadır (Hensen, 2003: 24-26). Şekil 14'te, Azimuth pervaneli bir traktör römorkör gösterilmektedir.

Şekil 14: Azimuth Pervaneli Traktör Römorkör



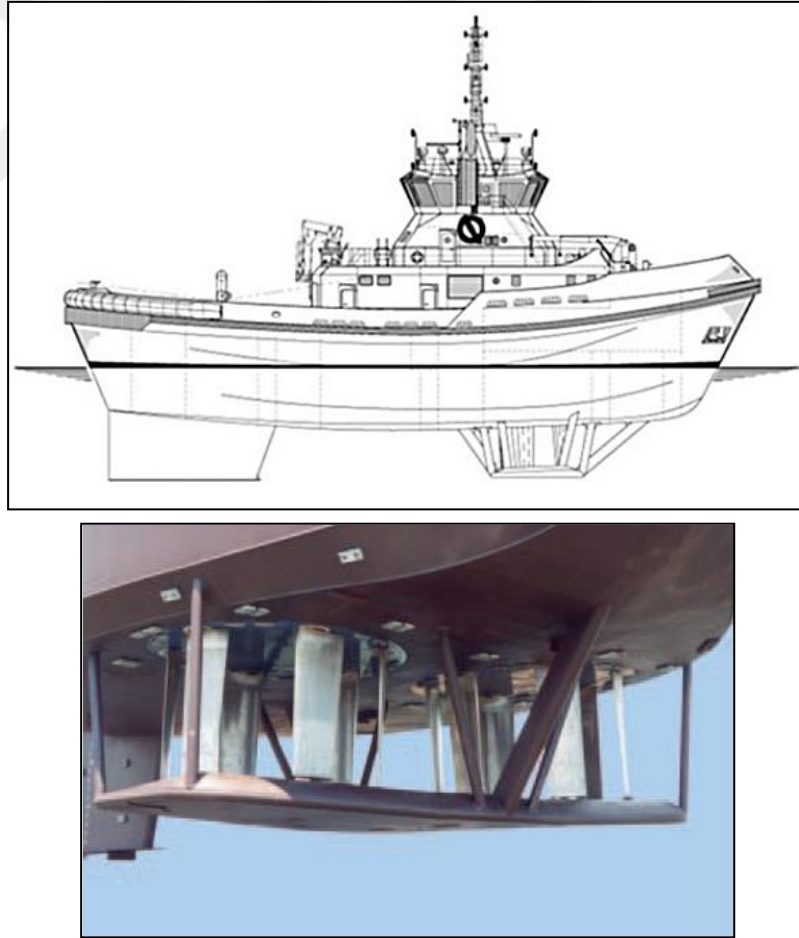
Kaynak: Baniela ve diğerleri, 2005: 4.

1.2.4.2.4.2. Voith Schneider Pervaneli Traktör Römorkörler

Bu römorkörler baş tarafta yer alan iki adet “cycloidal” pervane ile donatılmıştır. Voith pervane birimleri temelde dikey bir eksen etrafında dönen dairesel bir plakadan ve gövdenin altından çıkan dairesel dizilimli 5 adet dikey pervane kanatlarından oluşmaktadır. Her pervane kanadı dikey bir eksen etrafında kendini döndürebilmektedir (ETA, 2015: 10).

Literatürde bu pervane birimleri “Voith Schneider Propeller” ya da kısaca “VSP” olarak; bu pervane birimlerine sahip traktör römorkörler ise “Voith Water Tractor” olarak geçmektedir. Şekil 15’te VSP traktör römorkör ve pervane birimleri gösterilmektedir.

Şekil 15: VSP Traktör Römorkörü ve Pervane Birimleri



Kaynak: Bartels ve Jürgens, 2006: 3; Smoker ve diğerleri, 2016: 62.

Voith Schneider pervaneli traktör römorkörlerin genel özellikleri şu şekildedir (MEB, 2015: 48; Radisic, 2003: 384-385; Url 4):

- Tüm yönlerde tam güç sağlayabilir.
- Mükemmel manevra kabiliyetine sahiptir. Özellikle dar alanlarda manevra gücü yüksektir.
- Askıda kalma (girting) riski neredeyse yoktur.
- İstenilen manevrayı hızlı bir şekilde yerine getirir.
- Draftı (su çekimi) derin olduğu için, sualtı birimlerinin hasar riski fazladır.
- kW başına çekme kuvveti düşüktür.
- Yüksek sermaye yatırımı gerektirmektedir.
- Tamir ve bakım masrafları maliyetlidir.

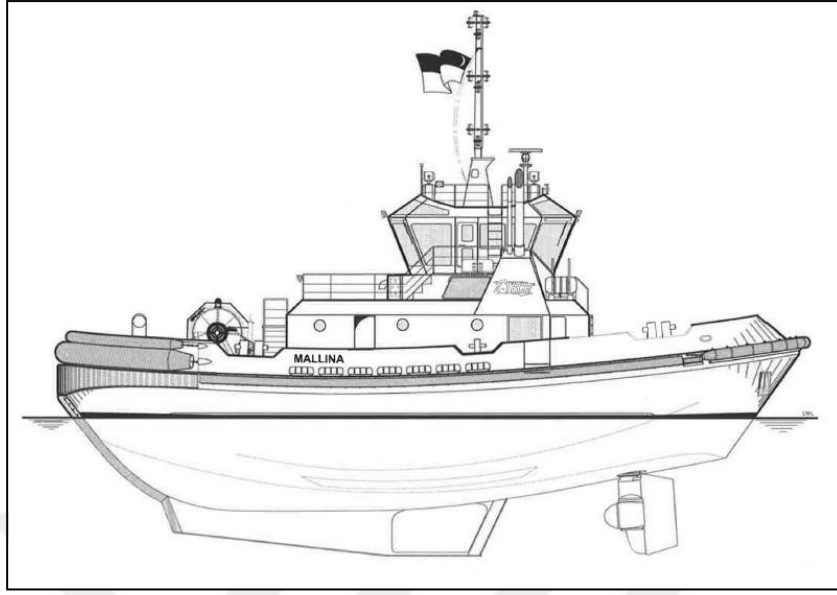
Bu römorkörlerde pervane kanatlarını koruyan plaka bir nozul gibi çalışır ve böylece pervane verimliliğini artırır. Koruma plakası ayrıca, havuzlama esnasında “skeg” ile birlikte destek görevi görmektedir (Hensen, 2003: 21).

VSP ile uskur pervane arasındaki önemli bir fark, itiş yönüne göre dönme ekseninin yönüdür. Uskur pervanelerde dönme eksenini ile itiş yönü aynı iken, VSP sisteminde birbirlerine diktir (Bartels ve Jürgens, 2006: 3).

1.2.4.2.5. Z-Tech Römorkörler

Azimuth pervaneli traktör römorkörler ile ASD römorkörler, gemi manevrası ile ilgili görevlerin farklı yönlerinde belirli operasyonel avantajlara sahiptir. Z-Tech römorkörler her iki türün en iyi özelliklerini birleştiren bir tasarımıdır. Bir ASD römorkörün şiyer hattının (sheer line) tersine çevrilmesiyle ve kaptan köşkünün epeyce kış tarafa doğru (pervane birimlerinin olduğu yöne doğru) kaydırılmasıyla bu yeni tasarım elde edilmiştir (Allan, 2008: 37). Şekil 16’da Z-Tech römorkörlerin bir örneği gösterilmektedir.

Şekil 16: Z-Tech Römorkör



Kaynak: Allan, 2008: 41.

Uluslararası ödüllü Z-Tech römorkör tasarımı Singapur Limanı için geliştirilmiştir; fakat Panama Kanalı dahil olmak üzere dünya genelinde kullanılmaktadır (Url 5).

1.2.4.2.6. Rotor Römorkörler

Rotor römorkörler; baş tarafa monte edilen iki Azimuth pervane biriminden başka, “skeg”in yerini alan, kış tarafta monte edilmiş üçüncü Azimuth pervane birimiyle, traktör römorkörlerin daha gelişmiş olarak düşünülebilir (ETA, 2015: 6). Şekil 17’de bir Rotor römorkör farklı açılardan gösterilmektedir.

İlk olarak 1999’da hizmet vermeye başlayan dört Rotor römorkör Rotterdam, Hamburg, Bremerhaven limanlarında ve açık deniz operasyonlarında faaliyet göstermiştir (Hensen, 2003: 163-165).

Şekil 17: Rotor Römorkör



Kaynak: Allan, 2014: 24.

Rotor römorkörlerin genel özellikleri şu şekildedir (Hensen, 2003: 163-165; Url 4):

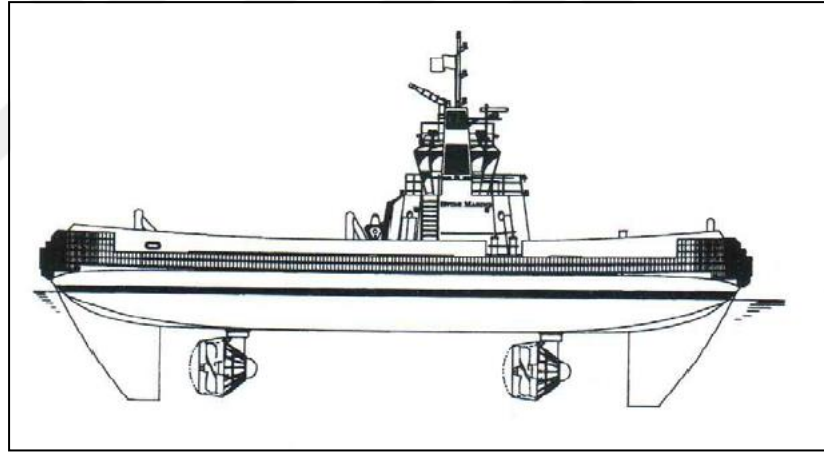
- Manevra kabiliyeti yüksek olup, dar alanlarda kullanışlıdır.
- Manevra kabiliyeti, diğer geleneksel tasarımlı römorkörlerden daha iyidir.
- Kıç ve baş taraftan çekme performansı iyidir. İleri ve geri yolda %100 çekme kuvveti sağlar.
- Azimuth pervaneli traktör römorkörler ile karşılaştırıldığında yüksek çekme kuvveti veya alternatif olarak, daha az draft (su çekimi) ile aynı çekme kuvvetine sahiptir.
- Nispeten yüksek hızlarda, hem kıç hem de baş taraf üzerinden eskort hizmeti mümkündür.
- Koruma plakaları pervane birimlerini korumakta ve havuzlama esnasında işe yaramaktadır.
- Römorkör kaptanı için ek bir eğitim gereklidir.

1.2.4.2.7. Gemi Yanaştırma Modülü

Bu römorkörler çok geniş bir ene sahip olup, iki Azimuth pervane birimi ve ve iki “skeg” ile donatılmıştır. Azimuth pervane birimlerinden biri, baş taraftan römorkör uzunluğunun yaklaşık dörtte biri kadar uzakta ve römorkörün merkez hattından sancağa doğru belli bir mesafede yer almaktadır. Diğer Azimuth pervane birimi ise, kıç taraftan römorkör uzunluğunun yaklaşık dörtte biri kadar uzakta ve römorkörün merkez hattından iskeleye doğru belli bir mesafede yer almaktadır. Merkez hattında, römorkörün her iki ucunda birer “skeg” bulunmaktadır (Hensen, 2003: 166).

Literatürde bu römorkörler “Ship Docking Module (SDM)” olarak geçmektedir. Şekil 18’de bir gemi yanaştırma modülü gösterilmektedir.

Şekil 18: Gemi Yanaştırma Modülü



Kaynak: Eke, 2010: 23.

1.2.4.2.8. RAVE Römorkörler

Traktör römorkörlerdeki tipik yan yana düzenlemeden farklı olarak, RAVE (Robert Allan Voith Escort) römorkörlerde iki adet Voith Schneider pervane birimi baş ve kıç tarafa yerleştirilmiştir (Url 5). Bu düzenleme, römorkörün çok dar alanlarda bile verimli ve etkili bir şekilde çalışmasına olanak tanıyan, herhangi bir yönde (ileri yol, geri yol, yana doğru) gelişmiş kontrol ve manevra kabiliyeti sağlamaktadır (Lisagor ve diğerleri, 2015: 1). Şekil 19’da bir RAVE römorkör gösterilmektedir.

Şekil 19: RAVE Römorkör



Kaynak: Url 5.

1.2.4.2.9. EDDY Römorkörler

EDDY (Efficient Double-ended Dynamic) römorkörler, baş ve kıç taraftaki Azimuth pervane birimleri ile kompakt merkez hattı güç aktarımından oluşan dengeli bir tasarıma sahiptir. Gelişmiş, iki uçlu gövde formu sayesinde kolayca yönlendirilir ve her yönde istikrarlı bir şekilde seyreder. Bu römorkörlerin sahip olduğu yüksek dinamik stabilite, tüm hava koşullarında yüksek eskort performansı sağlamaktadır (Url 7). Şekil 20’de bir EDDY römorkör gösterilmektedir.

Şekil 20: EDDY Römorkör



Kaynak: Url 8.

1.2.5. Römorkörcülük Hizmetlerinin Sınıflandırılması

Römorkörcülük hizmetleri; “liman römorkörcülük hizmetleri”, “eskok hizmetleri”, “açık deniz römorkörcülük hizmetleri”, “ulaştırma hizmetleri” ve “kurtarma ve yangın söndürme hizmetleri” olarak sınıflandırılmış ve incelenmiştir.

1.2.5.1. Liman Römorkörcülük Hizmetleri

Liman römorkörcülük hizmetleri; bir veya daha fazla römorkörün, gemileri veya diğer deniz araçlarını iterek veya çekerek, limanlara veya kıyı yapılarına yanaşma ve kalkış manevralarına veya dar ve sığ sulardaki seyirlerine yardımcı olması ile ilgili hizmetleri kapsamaktadır (Çakalır’dan aktaran Taşkeser, 2014: 23). Bu hizmetlerden başka, römorkör işletmecileri tarafından bazen kurtarma ve yangınla mücadele hizmetleri de sağlanabilmektedir (Productivity Commission, 2002: 35).

Liman römorkörcülük hizmetlerinin verilmesi esnasında gemi üzerindeki kılavuz kaptan, römorkör kaptanına manevra ile ilgili talimatları telsiz ile bildirmektedir. Römorkör kaptanı, kılavuz kaptanın vermiş olduğu talimatlara uymakta ve istenilen kuvvet ve doğrultuda gemiye kuvvet uygulayarak geminin emniyetli manevra yapmasını sağlamaktadır (Nas, 2013: 59).

Römorkörler gemilerin yanaşma ve kalkış süreçlerinin daha kolay gerçekleşmesini temin etmekte ve ayrıca, gemilerde makine veya dümen arızası gerçekleştiğinde önemli bir emniyet faktörünü temsil etmektedir. Römorkörler yanaşma ve kalkış operasyonlarında rüzgar, dalga ve/veya akıntı kuvvetlerine karşı koymak üzere gerekli desteği verebilmeli ve geminin sınırlı bir alanda dönmesini sağlayabilmelidir. Ayrıca, yanaşma yerine doğru hareket eden bir gemiyi frenleyebilecek kabiliyette olmalıdırlar (Thoresen, 2003: 110).

Ticari gemilerin büyüklüğündeki genel artış, liman römorkörlerinin daha yüksek çekme kuvvetine sahip olmasını gerektirmektedir (De Jong, 2010). Limanlar ve römorkör teşkilatları, römorkörlerin artan önemi ile birlikte hizmet verdikleri gemi tiplerindeki büyümeleri de (özellikle konteyner gemilerindeki hızlı büyüme) dikkate alarak yeni römorkör yatırımlarına girmekte veya inşa ettirmektedirler (Zorba ve Nas, 2015: 32).

1.2.5.2. Eskort Hizmetleri

1989 yılında Alaska açıklarında meydana gelen “Exxon Valdez” petrol tankeri kazası, Amerikan limanlarına yanaşan petrol tankerleri ve gaz taşıyıcıları için bir dizi yönetmelik getirmiştir (Gaston’dan aktaran Couce ve diğerleri, 2015: 72). “Oil Pollution Act of 1990 (OPA 90)” isimli kanun, tehlikeli yükler taşıyan ve dar yaklaşım kanallarına sahip limanlara yanaşan gemilere eskort römorkörlerin refakat etmesi gerektiğini belirtmektedir (Couce ve diğerleri, 2015: 72).

Eskort römorkörler; gemilerin itme gücü veya dümen kontrolü kaybolduğunda emniyetli bir şekilde manevra yapabilmeleri için, gemi üzerinde yönlendirme ve frenleme kuvvetlerini uygulamak üzere özel olarak tasarlanmışlardır. Sıvılaştırılmış doğal gaz tankerleri ve ham petrol tankerleri gibi yüksek riskli deniz trafiği sıklığının artması ile beraber, eskort römorkörler aracılığıyla transit geçiş emniyetinin sağlanması için daha fazla adım atılması gerekli hale gelmiştir (Smoker ve diğerleri, 2016: 61).

Eskort operasyonu, tipik olarak 7 - 10 knot arasında daha yüksek hızlarda gerçekleştiği için alışılmış gemi manevrası operasyonundan ayrılmaktadır. Eskort römorkörler, gövdeleri tarafından üretilen hidrodinamik kuvvetler ile yürütme birimlerinin itici kuvvetlerini birleştirerek “dolaylı çekme (indirect towing)” modunda gerekli gemi yönlendirme ve frenleme kuvvetlerini üretmektedir (Url 5). Dolaylı çekme, yalnızca nispeten daha yüksek hızlarda mümkün ve etkilidir ve konvansiyonel olmayan römorkörlerle (Azimuth veya Voith-Schneider yürütme sistemine sahip römorkörler) alakalı bir çekme usulüdür (Artyszuk, 2013: 11-12). Öncelikle doğrudan kuvvet yöntemlerinden yararlanan konvansiyonel römorkörlerin aksine, eskort römorkörler dolaylı çekme yönteminden yararlanmaktadır (Smoker ve diğerleri, 2016: 62). Şekil 21’de, dolaylı çekme yönteminde hizmet veren bir eskort römorkörü gösterilmektedir.

Şekil 21: Dolaylı Çekme Yöntemi ile Verilen Bir Eskort Hizmeti



Kaynak: Smoker ve diğerleri, 2016: 63.

En yaygın 3 eskort römorkör tipi; Azimuth pervaneli kıçtan tahrikli römorkörler (ASD), Voith Schneider pervaneli traktör römorkörler ve Rotor römorkörlerdir. Gövde geometrisi ve özel ekipmanları ile bir eskort römorkörü, konvansiyonel römorkörlerden ayrılmaktadır. Bir eskort römorkörün temel özellikleri şu şekildedir (Smoker ve diğerleri, 2016: 62):

- Kaldırma kuvveti oluşturmak için tasarlanmış gövde ve uzantılar (genellikle bir “skeg”),
- “Towing staple” gibi donanımlar,
- Eskort hizmetine yönelik halat vinci,
- Z-Drive (Azimuth) veya VSP gibi 360° itme sağlayabilen yürütme birimleri,
- Dolaylı çekme manevraları esnasında oluşan devrilme momentlerine karşı yeterli stabilite.

Eskort hizmetinin temel operasyonel prensipleri şu şekilde özetlenebilir (Baniela’dan aktaran Couce ve diğerleri, 2015: 72-73):

- Römorkör, yedeklenen geminin kıç tarafında çalışacaktır. Yönlendirme

operasyonlarını yürütürken daha iyi yardım sağlamak üzere, gemiye bir çekme halatı vasıtasıyla bağlanacaktır.

- Römorkör ve yedeklenen gemi için sabit bir hız korunacaktır.
- Acil durumlarla karşılaşıldığında hızlı bir yanıt verilmelidir. Sonuç olarak, römorkör yedeklenen gemiye sürekli olarak bağlı olacaktır.

1.2.5.3. Açık Deniz Römorkörcülük Hizmetleri

Açık denizdeki römorkörcülük hizmetleri 1980’li yıllarda kısmen değişikliğe uğramıştır. Deniz dibi tarama vasıtaları, mavnalar ve hurdaya giden savaş gemilerinin yedekte çekilmesi yerine başlıca ve en karlısı, sondaj kulelerinin yedekte çekilmesi olmuştur (Blank, 1989: 28).

Açık deniz platformlarının yedekte çekilmesi ve demir elleçleme hizmetleri ile birlikte açık deniz ikmal hizmetlerinin yerine getirilmesinde, “demir elleçleme römorkör/ikmal gemileri (AHTS)” kullanılmaktadır (bkz. Şekil 9). Bu gemiler, demir elleçlemek üzere önemli miktarda çekme kuvvetine gerek duyduğu için, römorkör kategorisindeki en güçlü gemiler olarak dikkate alınmaktadır. Ayrıca, bazı durumlarda açık deniz platformları için acil durum müdahale ve kurtarma görevi de görmektedirler (Khalique, 2016: 35-36; Plomaritou ve Papadopoulos, 2017).

1.2.5.4. Ulaştırma Hizmetleri

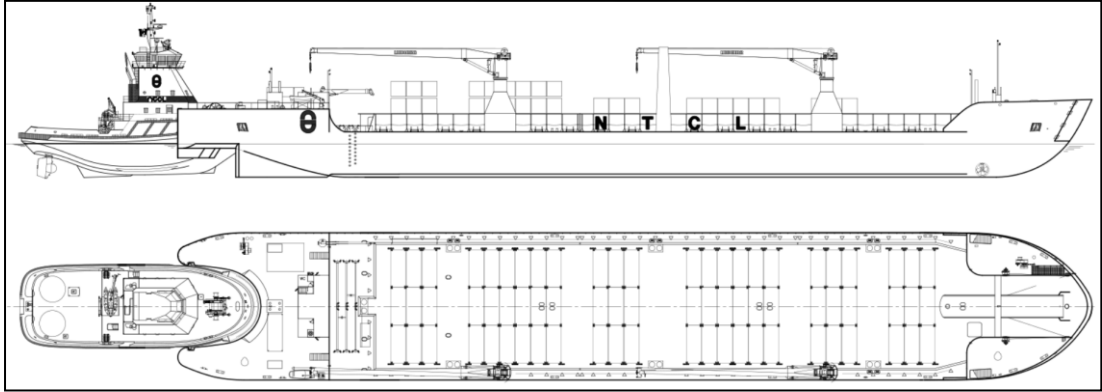
Mavnalar ve römorkörlerle yapılan nehir ve kıyı taşımacılığı, yük taşıyan mavnaların bir römorkör tarafından itilmesi veya çekilmesiyle gerçekleşmektedir. Bu taşıma şeklinde mavnalar, konvoy halinde veya tek olarak kullanılabilir (Zotti, 2013). Nehir taşımacılığında, önündeki mavnaların itilerek ulaştırılmasını sağlayan römorkörler için “tugboat” yerine “towboat” ifadesi kullanılmaktadır (bkz. sayfa 20).

New York Eyaleti’ndeki mavna kanal havuzlarının maksimum boyutlarından yararlanmak üzere geliştirilen petrol ve diğer sıvı yük taşıyıcı mavnalar ile birlikte, kare kış yerine derin çentikli kışa sahip daha uzun mavnalar ortaya çıkmıştır. Römorkör mavnanın içine ne kadar derin yerleşirse, kontrol ve yönlendirme

kolaylığı o kadar daha fazla olmaktadır (Blank, 1989: 80).

Entegre Römorkör/Mavna (ITB: Integrated Tug/Barge) birimleri, Meksika Körfezi'ndeki ve ABD'nin Doğu Kıyısı'ndaki açık deniz ticaretinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. ITB birimlerinde mavnanın kış tarafı, mavnaya sabit olarak bağlanabilen özel bir römorkörün yerleşebilmesi için çentiklidir ve bu birimler tek bir gemi görünümü oluşturmaktadır. Eklemlili Römorkör/Mavna (ATB: Articulated Tug/Barge) birimleri ise, ITB'lerin daha yeni bir türüdür ve römorkör ile mavna arasında mafsallı bir bağlantı sistemine sahiptir. ATB biriminin römorkörü, mavnadan ayrılabilmekte ve tek başına kullanılabilir (Kruse ve Hutson, 2010: 15). Şekil 22'de bir ATB birimi gösterilmektedir.

Şekil 22: Bir ATB Sisteminin Yandan ve Üstten Görünümü



Kaynak: Url 9.

ABD, römorkör/mavna operasyonlarında dünyadaki en aktif bölge olmuştur. ABD'nin Batı Kıyısı'nda, mavnaları itmeden ziyade çekme yöntemi kullanılmaktadır. ABD'nin Batı Kıyısı'ndaki römorkör/mavna operasyonlarında ağırlıklı olarak orman ürünleri ve petrol yükleri taşınırken; Doğu ve Meksika Körfezi kıyılarında taşınan başlıca yükler petrol, kömür ve fosfattır (Wright, 2000).

1.2.5.5. Kurtarma ve Yangın Söndürme Hizmetleri

Dünyanın birçok limanında römorkör filoları, ilk müdahaleyi sağlamak üzere yangın söndürme kabiliyetine sahip olarak donatılmaktadır. Hemen hemen her römorkör yangınla mücadele için donatılabilmekle birlikte, ilgili ekipmanın

büyüklüğü ve maliyeti nedeniyle genellikle bu, daha büyük boyutlardaki römorkörlere bırakılmaktadır (Url 5).

Tamamen kurtarma hizmeti için inşa edilen büyük açık deniz römorkörlerinin işletmecileri bir sorun ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu sorun, “İşletmeciler, bir kurtarma işi için beklerken römorkörünü nispeten uzun süreler boyunca görev yerinde tutmalı mıdır?” sorusu ile ilgilidir (Blank, 1989: 53). Deniz kazalarının sayısının azalması, gemi tasarımlarındaki teknolojik değişiklikler ve gemilerle taşınan tehlikeli yük miktarının artması; kurtarma endüstrisini operasyonel ve mali zorluklara sokarak, kurtarma hizmetlerine yönelik talebin özelliklerinin değişmesine neden olmaya başlamıştır. Kurtarma endüstrisi, modern kurtarma ihtiyaçlarına cevap vermeye hazır olmanın getirdiği harcamalardan kaynaklanan operasyonel ve finansal zorluklardan dolayı ortadan kalkma tehlikesi ile karşı karşıya olduğu için, hükümet destekli Acil Durum Müdahale Gemileri (ERV: Emergency Response Vessel) gibi modern kurtarma yaklaşımları birçok denizci ülkede kirliliğin önlenmesine yönelik bir çözüm olarak uygulanmaktadır (Atik ve Cerit, 2008: 151).

1.2.6. Dünya’da Römorkörcülük Hizmetleri

Avustralya’da eyalet hükümetleri, ulusal ve eyalet düzenleyici kurumları, deniz emniyet otoriteleri gibi makamların liman römorkörcülük endüstrisi ile ilgisi bulunmaktadır. Bunlar, römorkörcülük endüstrisinin işleyişini çeşitli şekilde ve ölçüde etkilemektedir. Avustralya’daki her bir limanda, römorkörcülük hizmetlerini sağlayan genellikle tek bir işletme bulunmaktadır (Productivity Commission, 2002: 8-9).

ABD’de römorkörcülük hizmetleri eskiden devlet tarafından (Sahil Güvenlik) yürütülürken, 1983 yılından itibaren özel teşebbüslere bırakılmıştır (Geddes’den aktaran Taşkeser, 2014: 74). ABD limanlarında, birden fazla özel römorkörcülük şirketi kamuya ait ev sahibi (landlord) limanlarda hizmet sağlamak üzere rekabet halindedir. Liman römorkörcülük hizmetlerine uygulanan bir fiyat düzenlemesi yoktur, ancak yabancı servis sağlayıcıların girişini kısıtlayan federal düzeyde bir düzenleme vardır (Ergas ve diğerleri, 2004: 150).

Avrupa Birliği limanlarının çoğunda römorkörcülük hizmetlerinde rekabet

mevcuttur (Oğuzülgen'den aktaran Taşkeser, 2014: 74-75). Fransa ve diğer bazı Avrupa Birliği ülkeleri limanlarında römorkörcülük hizmetlerinde rekabet olmasa da, bu ülkelerde genellikle rekabetçi ihale yöntemi uygulanmaktadır (Demir'den aktaran Taşkeser, 2014: 75). Avrupa Birliği veya üye devlet seviyesinde liman römorkörcülük hizmetleri ile ilgili bir fiyat düzenlemesi yoktur. Bununla birlikte, üye devlet seviyesindeki genel rekabet kuralları ve rekabet yasaları, liman römorkörcülük hizmetleri de dahil olmak üzere liman hizmetlerine uygulanmaktadır (Ergas ve diğerleri, 2004: 150).

İngiltere'de, belirlenmiş liman bölgeleri dahilindeki römorkörcülük hizmetleri, çoğu limanlarda özel teşebbüsler tarafından ve bazı durumlarda limanın kendisi tarafından yerine getirilmektedir. Hizmet sağlayıcıların sayısı ile ilgili herhangi bir kısıtlama yoktur, ancak uygulamada birçok limanda yalnızca bir işletmeyi desteklemeye yetecek miktarda römorkörcülük işi bulunmaktadır (Baird ve Valentine, 2007: 68).

Japonya'da uzun zamandır serbest rekabetten uzak olan römorkör endüstrisi, özelleştirmeye birlikte serbest rekabete girmeye başlamıştır. Japonya'daki limanlarda römorkörlerin işletilme şekli değişiklik göstermekte ve üç kategoriye ayrılmaktadır. Birinci durumda, yerel yönetimler veya otoriteler römorkörlere sahiptir ve bunları işletmektedir. İkincisinde, özel şirketler römorkörlere sahiptir ve yerel yönetimler veya otoriteler bunları işletmektedir. Üçüncü durumda, özel şirketler römorkörlere sahiptir ve bunları işletmektedir (Mori, 2011: 7-12).

1.2.7. Türkiye'de Römorkörcülük Hizmetleri

Römorkörcülük hizmetleri ile kılavuzluk hizmetlerinin birbirine bağlı hizmetler olduğu daha önce de belirtilmişti. Türkiye'de kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetleri, 1990'lı yıllara kadar kamu kuruluşları tarafından verilmiştir (Erol'dan aktaran Koç, 2010: 53). 1990'lı yıllara gelindiğinde, kamu kuruluşları yeterli hizmet sağlayamadığından gemiler yanaşma ve kalkış manevraları için uzun süreler boyunca beklemek zorunda kalmış ve yetersiz römorkör sayısı ve gücünden dolayı bazen kazalar da meydana gelmiştir. Bunun üzerine Denizcilik Müsteşarlığı tarafından, kamu kuruluşlarının tekel alanı dışında kalan yerlerde, özel kuruluşların da

kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetlerini sağlayabilmesi için mevzuatta değişiklikler yapılmış ve özel kuruluşlara izin verilmiştir. İzin verilen bu özel kuruluşların hizmet verdiği yerlerde, gemi beklemleri ve diğer olumsuzluklar kısa sürede ortadan kalkmıştır (Koç, 2010: 53-54).

Yine 1990'lı yıllarda başlayan bir başka gelişme de, limanların özelleştirilmesi olmuştur. İlk olarak TDİ (Türkiye Denizcilik İşletmeleri) limanları ve daha sonra da TCDD (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları) limanları, işletme hakkı devir sözleşmeleriyle özelleştirilmiştir. Özelleştirme İdaresi Başkanlığı, özelleştirdiği limanlardaki kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetlerini de limanları alan şirketlere bırakmıştır. Antalya, Mersin, Tekirdağ, Kuşadası, Marmaris, Çeşme, Güllük, Dikili, Samsun, Bandırma, Trabzon, Rize limanlarının özelleştirilmesi örnek olarak verilebilir (Kahraman, 2016: 21; Koç, 2010: 54; Taşkeser, 2014: 92).

Türk Boğazlarında ve İzmir Limanı'nda kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetleri önceden TDİ tarafından verilmekte iken, şu an Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü tarafından verilmektedir (Url 10).

Gemi kurtarma ve yardım hizmetleri ise, önceden TDİ bünyesinde verilmekte iken, şu an Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmaktadır (Url 10).

Türkiye'deki kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetlerinin yukarıda özetlenen gelişim süreci dikkate alındığında, bu hizmetleri sağlayan kurumların üçe ayrıldığı görülmektedir (Koç, 2010: 54; Taşkeser, 2014: 105):

- Kamu kuruluşları
- İdarenin izin verdiği özel kuruluşlar
- Özelleştirilen limanları alan kuruluşlar

Türkiye'de römorkörcülük hizmetleri ve endüstrisi, liman römorkörcülük hizmetlerinin özel firmalar tarafından sağlanmasıyla birlikte yükselişe geçmiştir. Özellikle yoğun gemi trafiğine sahip limanlarda römorkörcülük ve kılavuzluk hizmetlerinin özel firmalar tarafından sağlanması, Türkiye'nin römorkör filosunun büyümesinin önünü açmıştır (Bakan ve Kum, 2015: 52).

Türkiye'de 2010-2019 yılları arasındaki 150 GRT (Gros Tonaj) ve üzeri römorkör sayısı ve DWT (Detveyt Tonaj) gelişimi Tablo 1'de gösterilmektedir. Şekil

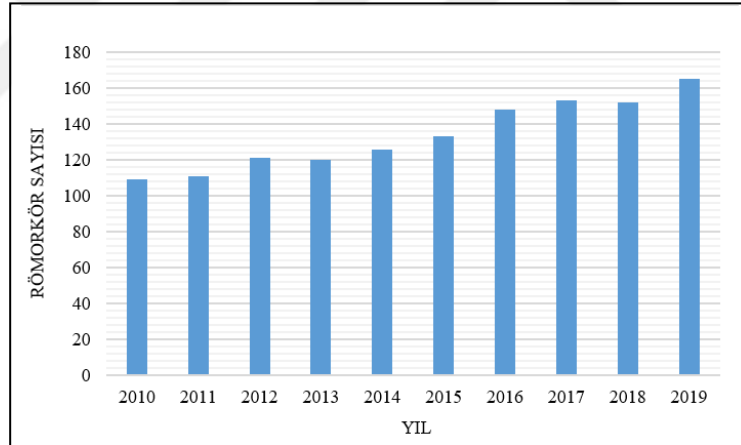
23'te ise, Türkiye'deki 150 GRT ve üzerindeki römorkör sayısının yıllara göre değişim grafiği verilmektedir.

Tablo 1: Türkiye'de 2010-2019 Yılları Arasındaki 150 GRT ve Üzeri Römorkör Sayısı ve DWT Gelişimi

2010		2011		2012		2013		2014	
Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT
109	3.088	111	2.711	121	3.088	120	2.849	126	2.776
2015		2016		2017		2018		2019	
Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT
133	2.776	148	2.776	153	2.776	152	2.776	165	2.598

Kaynak: Url 11.

Şekil 23: Türkiye'deki 150 GRT ve Üzeri Römorkör Sayısının Yıllara Göre Değişimi



Kaynak: Tablo 1'deki veriler kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 23'e bakıldığında, Türkiye'deki römorkör sayısının yıllar içinde artış gösterdiği görülmektedir. Bu sayı, 2019 yılında en yüksek seviyesine ulaşmıştır.

1.2.7.1. Limanlar Yönetmeliği

31.10.2012 tarihli ve 28453 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Limanlar Yönetmeliği'nde; gemi söküm bölgesine gelen gemiler, tersane bölgesine gelen gemiler, tehlikeli yük taşıyan gemiler, yolcu gemileri ve tüm gemiler için verilecek

römorkörcülük hizmetlerinde gemilerin alması gereken römorkör sayısı ve bu römorkörlerin asgari çekme kuvvetleri belirtilmektedir. Bunun dışında, römorkör muafiyetleri ile ilgili hükümler de bulunmaktadır (Kaptan ve Uğurlu, 2015: 176-177; Limanlar Yönetmeliği, 2012).

Yolcu gemileri dışındaki gemilerin, gros tonajına göre, almak zorunda oldukları asgari römorkör sayısı ve bu römorkörlerin asgari çekme kuvvetleri, yönetmeliğin Ek-5’inde verilmektedir (Limanlar Yönetmeliği, 2012). Ek-5, aşağıdaki Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2: Gros Tonaja Göre Gemi ve Deniz Araçlarının Alması Gereken Römorkör Sayısı ve Römorkörlerin Çekme Kuvveti

Gemi Gros Tonajı	Gemi Tipi	İstenen Römorkör Sayısı (Asgari)	İstenen Toplam Çekme Kuvveti (Asgari)	Açıklama
2000 – 5000	Tüm Gemiler	1	16	En az 16 ton
5001 – 15000	Tüm Gemiler	2	32	Her biri en az 16 ton
15001 – 30000	Tüm Gemiler	2	60	Her biri en az 30 ton
30000 – 45000	Tüm Gemiler	2	75	Her biri en az 30 ton
45000 üstü	Tehlikeli Madde Taşımayan Gemiler	2	90	Her biri en az 30 ton
45001 – 75000	LPG, Parlayıcı, Patlayıcı ve Kimyasal Tankerler	3	90	Her biri en az 30 ton
75 000 üstü	LPG, Parlayıcı, Patlayıcı ve Kimyasal Tankerler	3	120	Her biri en az 30 ton
Her Tonaj	LNG Taşıyan Gemiler	3	150	Her biri en az 30 ton

Kaynak: Limanlar Yönetmeliği, 2012.

Yolcu gemilerinin alması gereken römorkör sayısı ve bu römorkörlerin asgari çekme kuvvetleri ise, yönetmeliğin 14. maddesinin 5. fıkrasında ayrı bir tablo halinde verilmektedir (Limanlar Yönetmeliği, 2012).

1.2.7.2. Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri Hakkında Yönetmelik

Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri Hakkında Yönetmelik, 08.01.2020 tarihli ve 31002 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmıştır. Yönetmeliğin amacı; Türkiye’nin deniz yetki alanlarında, Türk Boğazları Bölgesinde, kanallarda ve iç sularda verilen kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetleri ile ilgili usul ve esasların ve bu hizmetleri sağlayacak olanlarda bulunması gereken vasıfların belirlenmesi, gerekli yetkilendirme ve denetimlerin yapılmasıdır (Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri Hakkında Yönetmelik, 2020).

İdare, kılavuzluk ve/veya römorkörcülük hizmeti vermek isteyen kuruluşlara, gerekli yeterlikleri sağlamaları halinde, verebileceği hizmetin sınırlarını tanımlayan A, B ve C sınıfı faaliyet lisansı vermektedir. Römorkörcülük faaliyet lisansı sınıflarına ait yeterlik şartlarından bazıları şu şekildedir (Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri Hakkında Yönetmelik, 2020):

- A sınıfı römorkörcülük faaliyet lisansı için; bir tanesi asgari 60 ton çekme kuvvetinde, 2 tanesi asgari 45 ton çekme kuvvetinde, diğerleri de asgari 30 ton çekme kuvvetinde olmak üzere en az 6 römorkör bulunması zorunludur.
- B sınıfı römorkörcülük faaliyet lisansı için; her biri asgari 30 ton çekme kuvvetinde olmak üzere en az 2 römorkör bulunması zorunludur.
- C sınıfı römorkörcülük faaliyet lisansı için; en az 1 adet asgari 30 ton veya 2 adet her biri en az 16 ton çekme kuvvetinde römorkör bulunması zorunludur.

İdare tarafından düzenlenen Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri hakkındaki 10.01.2020 tarihli, 2661 sayılı ve 2020/1 sıra numaralı Genelge’nin Ek-3’ünde, ilgili yönetmelik kapsamında kılavuzluk veya römorkörcülük teşkilatlarının yetkilendirilmesi amacıyla belirlenen “Bölgesel Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmet Sahaları” verilmektedir. Hizmet sahaları, hizmet alacak tesis/tesisler ve bu hizmet sahaları için gerekli kılavuzluk faaliyet lisansı sınıfı ve römorkörcülük faaliyet lisansı sınıfı ile ilgili bilgiler yer almaktadır (Url 12).

İdare; A hizmet sahaları için en fazla 3, B hizmet sahaları için en fazla 2, C

hizmet sahaları için 1 römorkörcülük teşkilatına hizmet izni vermektedir (Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri Hakkında Yönetmelik, 2020).



İKİNCİ BÖLÜM

SİMÜLASYON MODELLEMESİ YÖNTEMİ, REGRESYON MODELLERİ VE LİTERATÜR TARAMALARI

Tezin bu bölümünde, araştırma yöntemi olarak kullanılacak olan simülasyon modellemesi yöntemine yer verilmiştir. İstatistiksel analizlerde ise regresyon analizinden faydalanılacağı için, bazı regresyon modelleri de bu bölümde anlatılmıştır. Bölümün son kısmında ise, tezin konusu ve yöntemi kapsamında gerçekleştirilen literatür taramalarından elde edilen çalışmalar incelenmektedir.

2.1. SİMÜLASYON MODELLEMESİ YÖNTEMİ

Gerçek hayattaki sistemlerin çoğunlukla karmaşık bir yapıya sahip oldukları bilinmektedir. Karmaşık sistemlerin matematiksel modellerle analiz edilmesi genellikle mümkün olmamaktadır. Bu durumda, simülasyon yöntemi ile bir sistemin modeli oluşturulmakta, sistemin davranışını anlamak ve değişik stratejileri değerlendirmek için model üzerinde deneyler yapılmaktadır.

Bu kısımda, tezin amacı doğrultusunda araştırma yöntemi olarak kullanılacak olan simülasyon modellemesi yöntemi kapsamlı bir şekilde anlatılmaktadır.

2.1.1. Tanımlar

Öncelikle, simülasyon modellemesi yönteminde sıklıkla karşılaşılan bazı kavramlar ele alınmıştır. Sistem, model, modelleme, simülasyon ve simülasyon modellemesi kavramları detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2.1.1.1. Sistem

“Uluslararası Sistem Mühendisliği Konseyi (INCOSE)”ne göre bir sistem; tek başına değil, birlikte sonuçlar üreten farklı elemanların oluşturduğu bir yapı veya koleksiyondur. Bu elemanlar; insan, donanım, yazılım, tesis, politika, doküman vb. gibi sistem düzeyinde nitelikler, özellikler, işlevler ve performans üretmek için

gerekli her şeyi içerebilmektedir. Sistemin bir bütün olarak değeri, parçalar arasındaki ilişkidir. Bir sistem, halihazırda mevcut olan fiziksel bir şey olabileceği gibi, var olmayan fiziksel bir şeye yönelik bir plan veya genel düşünce de olabilmektedir (Banks, 2010: 2).

Checkland, sistemi dört ana sınıfa ayırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre; atom, galaktik sistemler gibi kökenleri evrenin kökenlerine uzanan sistemler “doğal sistemler”dir. Ev, araba, üretim tesisi gibi insan tasarımının bir sonucu olan sistemler “tasarlanmış fiziksel sistemler”dir. Matematik, edebiyat gibi insan tasarımının bir sonucu olan sistemler “tasarlanmış soyut sistemler”dir. Aile, şehir, politik sistemler gibi bilinçli veya bilinçsizce düzenlenmiş sistemler ise “insan faaliyeti sistemleri”dir (Checkland’dan aktaran Robinson, 2004: 2-3).

Bir sistemin davranışı, girdilerine yanıt olarak çıktılarını içermektedir. Birçok sistemde girdi-çıktı ilişkisi zaman ile değişebilmekte olup, bu sistemler dinamik sistem olarak adlandırılmaktadır (Luenberger’den aktaran Topçu ve diğerleri, 2016: 6).

Sistemler veya daha belirgin olarak dinamik sistemler, çağdaş dünyamızın en yaygın kavramlarından biridir. Dinamik bir sistem, belli bir zaman aralığı boyunca gözlemlenebilecek bir davranış şekli üreten etkileşimli varlıklardan oluşur. Örneğin ulaştırma sistemleri, güç üreten sistemler, üretim sistemleri gibi fiziksel sistemler vardır. Diğer yandan, daha az somut biçimde; sağlık hizmeti, sosyal, ekonomik vb. sistemler mevcuttur. Sistemler doğası gereği karmaşıktır ve davranış özelliklerinin iç yüzünü anlamak üzere modelleme ve simülasyon gibi araçlara ihtiyaç duyulmaktadır (Birta ve Arbez, 2007: 3).

2.1.1.2. Model

Model; bir sistemin, varlığın, olgunun veya sürecin matematiksel, fiziksel veya mantıksal bir temsidir (Banks, 2010: 3). Modeller aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Altıok ve Melamed, 2007: 2):

- Fiziksel model: Fiziksel bir nesnenin ölçekli modelidir. Örneğin; maket uçak.
- Matematiksel veya analitik model: Matematiksel değişkenler arasında bir

dizi denklem veya bağıntılardan oluşan modeldir.

- Bilgisayar modeli: Bir sistemin program tasviridir.

Model, bir sistemin soyut bir temsilidir. Sistemi durum, varlıklar ve nitelikleri, süreçler, olaylar, faaliyetler ve gecikmeler açısından tanımlamakta ve genellikle yapısal, mantıksal veya matematiksel ilişkiler içermektedir. Sistem durumu, herhangi bir zamanda sistemi tanımlamak için gerekli tüm bilgileri içeren değişkenler topluluğudur. Varlık ise; modelde belirgin bir şekilde temsil edilmesi gereken, sistemdeki herhangi bir nesne veya elemandır (müşteri, makine vb.) (Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 10).

Sistemlerin incelenmesi zor veya imkansız olabilmektedir. Sistem büyük veya karmaşık olabilmekte veya sistemi incelemek için belli şartların uygulanması tehlikeli olabilmektedir. Pahalı veya zaruri sistemler hizmet dışı bırakılamaz. Kavramsal sistemler ise deney yapmak için fiziksel bileşenlere sahip değildir. Bu nedenlerden dolayı, sistemlerin yerine incelenmesi için modeller geliştirilmektedir (Banks, 2010: 3).

Bir model temsil ettiği sisteme benzer, fakat daha basitleştirilmiş (sadeleştirilmiş) halidir. İyi bir model, gerçekçilik ile basitlik (sadelik) arasındaki bir dengeden oluşur (Maria, 1997: 7).

2.1.1.3. Modelleme

Modelleme; sistemin performans ölçümleri ile ilgili tahminlerin sağlanması amacıyla, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir temsilini tasarlama girişimidir. Sistemin davranışı hakkında bilgi edinmek ve iç yüzünü anlamak için, modellenen sistemin araştırmacının ilgi alanına giren belirli davranışsal yönlerini yakalamak üzere bir model tasarlanır (Morris'ten aktaran Altıok ve Melamed, 2007: 1).

Modelleme, temel sorunu gerçeklikten kavramak ve bunu matematiksel bir model gibi soyut bir dile çevirmektir. Her türlü düşünsel faaliyetin önemli bir parçasıdır ve en azından, kısmen gerçeği anlamamızı sağlar (van den Bosch ve van der Klauw, 1994: 4).

Tüm sistem çalışmalarında temel öneme sahip olan, ayrılabilirlik

düşüncesidir. Daha büyük veya daha küçük ölçüde, evrendeki tüm nesneler ve olaylar birbiriyle ilişkilidir. Bununla birlikte, modelleme ve analiz için bir sistemin tanımlanmasında, bu etkileşimlerin çoğunun göz ardı edilebileceği ve böylece sistemin ayrı bir oluşum olarak çalışılabileceği varsayılmaktadır. Bu ayrılma çoğunlukla, sistemin bir “sınır”ı tanımını veya sistemi oluşturan tüm elemanların veya bileşenlerin bir dökümünü kapsamaktadır (Karplus, 2003: 46).

Sistem sınırının seçimi kritik öneme sahip olabilmektedir. Çok geniş bir sınır seçilmiş ise, modelin parametrelerini tahmin etmek oldukça zor olacaktır. Böyle bir modeli analiz etmek imkansız hale gelebilecek ve çoğu önemli sonuç birçok alakasız ayrıntının arkasına gizlenecektir. Eğer çok dar bir sınır seçilmiş ise, sistem ile alakalı bütün hususlar modele dahil edilmemiş olacaktır. Bu da, tatmin edici olmayan sonuçlar verecek ve belirtilen gereklilikleri karşılamayacaktır (van den Bosch ve van der Klauw, 1994: 4).

2.1.1.4. Simülasyon Kavramı

“Simulation” terimi, Latince “similis”ten türemiştir ve 14. Yüzyılın ortasından beri İngilizce’de mevcuttur (Ören ve diğerleri, 2017: 4). Türkçe’de kullanımı ise, genel olarak literatüre bakıldığında “simülasyon” veya “benzetim” şeklindedir.

Simülasyon kavramının birçok yönü, anlamı ve ilişkili çağrışımları mevcuttur. Simülasyonun yaklaşık 100 tanımından oluşan sistematik bir derleme çalışması, tanımların bazılarının simülasyonun bazı yönleri veya türleri ile ilgili olduğunu ve kapsamlı ve bütüncül olmadığını göstermektedir (Ören ve diğerleri, 2017: 4-6).

Simülasyon kelimesi, çeşitli bağlamlarda sıklıkla tek başına kullanılmaktadır. Bazen özel bir bilgisayar programını ima etmek üzere bir isim olarak kullanılır. “Önerilen sistem için bir simülasyon geliştirilmiştir.” cümlesi örnek olarak verilebilir. Aynı zamanda sıfat olarak da sıklıkla kullanılır. “Simülasyon sonuçları, başarısızlık riskinin minimum olduğunu göstermektedir.” veya “Simülasyon programlaması için etkililiğini arttırmak üzere dile birçok uzantı eklenmiştir.” cümleleri örnek olarak verilebilir. Simülasyon kelimesinin bu geniş kapsamlı ve

esasen tutarsız olan kullanımları, bu alanda çalışmaya yeni başlayan kişiler için kafa karışıklığına neden olabilmektedir (Birta ve Arbez, 2007: 4).

Simülasyon modelleri her gün kullanılmaktadır ve simülasyon bize yabancı olmayan bir kavramdır. Örneğin, meteoroloji uzmanları günlük olarak, önümüzdeki günlerde hava cephelerinin hareketini gördüğümüz simülasyonları göstermektedir. Bundan başka, yeteneklerimizi test etmemizi sağlayan çok çeşitli aktivitenin benzetimini yapan oyun konsolları örnek olarak verilebilir (Robinson, 2004: 2).

Simülasyon, gerçek dünyadaki bir sistem veya sürecin işleyişinin zaman üzerinden taklididir (Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 9). Genellikle, uygun yazılım bulunan bir bilgisayarda, gerçek sistemlerin davranışlarını taklit eden geniş bir yöntem ve uygulama koleksiyonuna işaret eder (Kelton ve diğerleri, 2002: 3).

Simülasyon terimi daha çok, dinamik simülasyon bağlamında kullanılmaktadır (Robinson, 2004: 2). Simülasyonun kapsamlı, bütüncül ve özlü bir tanımı şu şekilde belirtilmektedir: Simülasyon, dinamik modeller kullanarak amaca yönelik deneyler yapmak veya kontrollü koşullar altında deneyim kazanmaktır. Dinamik bir model, davranış ve/veya yapısının zaman bazında değişken olduğu bir modeli ifade etmektedir (Ören ve diğerleri, 2017: 6).

2.1.1.5. Simülasyon Modellemesi

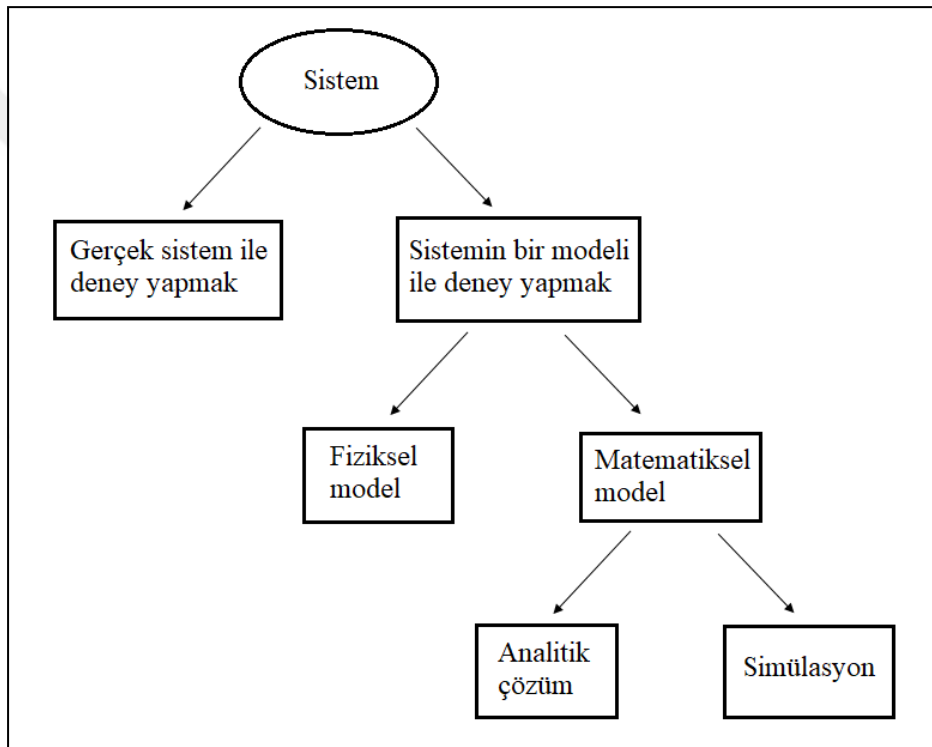
Simülasyon yöntemi ile ilgili olarak literatürde, “simulation modeling (simülasyon modellemesi)”, “computer simulation (bilgisayar simülasyonu)”, “system simulation (sistem simülasyonu) veya “modeling and simulation (modelleme ve simülasyon)” gibi kavramların kullanıldığı görülmüştür (Altıok ve Melamed, 2007; Banks, 2010; Chung, 2003; Kelton ve diğerleri, 2002; Papadimitriou ve diğerleri, 2003). Bu tezde “simülasyon modellemesi” kavramının kullanılması uygun görülmüştür.

Simülasyon modellemesi ve analizi, fiziksel bir sistemin bilgisayar ile işlenmiş matematiksel bir modelini oluşturma ve deneye tabi tutma sürecidir (Chung, 2003: 2).

Modeli oluşturan ilişkiler yeterince basitse, ilgilenilen sorular hakkında kesin bilgi edinmek için cebir, kalkülüs, olasılık teorisi gibi matematiksel yöntemleri

kullanmak mümkün olabilir. Buna analitik bir çözüm denir. Bununla birlikte, gerçek dünyadaki çoğu sistem, gerçekçi modellerin analitik olarak değerlendirilmesine izin veremeyecek kadar karmaşıktır ve bu modellerin simülasyon yoluyla incelenmesi gerekir. Bir simülasyonda, bir modelin sayısal olarak değerlendirilmesi için bir bilgisayar kullanılır ve modelin arzu edilen gerçek özelliklerini tahmin etmek için veriler toplanır (Law ve Kelton, 1991: 1). Şekil 24'te, bir sistemin incelenebileceği farklı yollar gösterilmektedir.

Şekil 24: Bir Sistemin İncelenmesinde Farklı Yollar



Kaynak: Law ve Kelton (1991: 4)'dan uyarlanmıştır.

Sistem karmaşık olduğunda, birçok nedenden dolayı bir simülasyon modeli tercih edilir. Birincisi; analitik bir model kurulabilmesinin mümkün olmadığı bir durumda araştırmacı, bir çözüm elde etmek için çok fazla zaman harcayabilir. İkincisi; araştırmacı, analitik çözüme yönelik bir girişimin aşık matematiksel zorluklar nedeniyle kötü bir fikir olduğuna karar verebilir. Son olarak; araştırmacı, sistemin ilgilenilen davranışsal yönlerini yakalamak için yeterli güce sahip analitik bir model bile formüle edemeyebilir. Buna karşılık, simülasyon modellemesi,

herhangi varsayımlara tabi olan hemen hemen her sistemin incelenmesine imkan verir (Altıok ve Melamed, 2007: 3).

Gerçek bir sistem üzerinde deney yapmak her zaman mümkün değildir. Sistem erişilebilir olmayabilir. Sistem üzerinde deney yapmak tehlikeli veya kabul edilemez olabilir. Bundan başka, sistem mevcut olmayabilir. Bu kısıtlamalara karşı koymak için bir bilgisayar vasıtasıyla, gerçek dünya sistemleri veya süreçleri ile ilgili operasyonlar taklit edilecektir. Dolayısıyla, gerçek sistem üzerinde deney yapılması mümkün olmadığında simülasyon modellemesi yöntemi kullanılabilmektedir (Banks, 2010: 5).

Simülasyon yönteminin kullanılmasının çeşitli amacı bulunmaktadır (Birta ve Arbez, 2007: 5; Ören ve diğerleri, 2017: 6; Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 12):

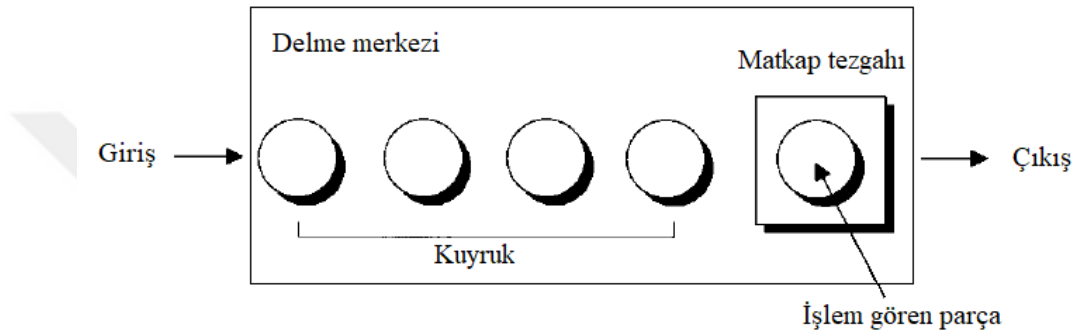
- Davranış tahmini ve performans analizi,
- Karar veya eylem alternatiflerinin değerlendirilmesi,
- Darboğaz tespiti ve analizi,
- Kapasite planlaması,
- Tahmin yapma,
- Duyarlılık analizi,
- Analitik modellerin geçerliliğinin sağlanması,
- Eğitim ve öğretim.

Bir simülasyon, belli bir girdi setine bağlı olarak, sistemin performansını tahmin eder. Örneğin; belirli sayıda operatör istihdam edildiğinde, bir çağrı merkezinde telefondaki müşterilerin ortalama bekleme süresinin tahmini yapılabilir. Girdileri (operatör sayısı) değiştirmek ve etkiyi belirlemek üzere modeli çalıştırmak, simülasyon modelini kullanan kişinin görevidir. Bu bağlamda simülasyon, modellemeye deneysel bir yaklaşımdır, yani bir “what-if (..... olursa ne olur?)” analizi aracıdır. Model kullanıcısı bir senaryo girer ve model, sonucu tahmin eder. Yeterli bir anlayış elde edinceye veya gerçek sistemi nasıl iyileştireceğini belirleyene kadar alternatif senaryolar keşfetmeye devam eder. Sonuç olarak, simülasyon bir karar destek sistemi olarak görülmelidir. Yani simülasyon, kullanıcı adına karar vermek yerine, karar vermeyi desteklemektedir (Robinson, 2004: 4).

Birçok simülasyon modeli, temel yapı taşı olarak bekleme hatları (kuyrukları)

içermektedir. Örnek olarak Şekil 25’te, bir üretim tesisinin bir bölümünü temsil eden bir model gösterilmektedir. İşlenmemiş parçalar delme merkezine gelmekte, tek bir matkap tezgahı tarafından işlem görmekte ve sonra ayrılmaktadırlar. Bir parça gelir ve matkap tezgahını boş bulursa, hemen işleme tabi tutulur; aksi halde FIFO (First in First Out – İlk giren ilk çıkar) mantığına dayalı bir kuyrukta beklemektedir (Kelton ve diğerleri, 2002: 19).

Şekil 25: Basit Bir Sistem



Kaynak: Kelton ve diğerleri (2002: 19)’nden uyarlanmıştır.

Bir simülasyon modelinin 3 temel bileşeni bulunmaktadır. Bunlar; varlıklar, kuyruklar ve kaynaklardır (Chung, 2003: 8). Varlıklar sistemde dolaşır, durumu değiştirir, diğer varlıkları ve sistem durumunu etkiler ve bunlardan etkilenir, çıktı performans ölçümlerini etkiler. Varlıklar, simülasyondaki dinamik nesnelerdir. Genellikle; oluşturulurlar, bir süreliğine sistemde dolanırlar ve daha sonra sistemden ayrılırlar. Örneğin; bir fabrikada varlıklar işlenmeyi bekleyen parçalar olabildiği gibi, müşteri hizmetleri merkezinde ise müşterilerdir. Varlıklar genellikle işlem sırası gelene kadar bir kuyrukta bekler. Kaynaklar ise kuyruktaki varlıkları işlemden geçiren veya onlara hizmet sunan unsurlardır. Varlıklar, kaynaklar müsait olduğunda onları yakalar ve hizmet aldıktan sonra serbest bırakır. Kaynaklara örnek olarak; personel, ekipman, fabrikadaki makineler, müşteri hizmetleri temsilcisi vb. verilebilir (Chung, 2003: 8-9; Kelton ve diğerleri, 2002: 24-26). Tablo 3’te, birbirinden farklı sistemlerdeki varlık, kaynak ve kuyruklar ile ilgili örnekler gösterilmektedir.

Tablo 3: Varlıklar, Kaynaklar ve Kuyruklar ile ilgili Örnekler

İncelenen Sistem	Varlıklar	Kaynaklar	Kuyruklar
Benzin istasyonu	- Arabalar - Kamyonlar	- Pompalar - Görevliler	- Her bir pompadaki araba sırası
İmalat	- Parçalar - Arızalı makineler	- Makineler - Onarım teknisyenleri	- Tamamlayıcı parçaların listesi - Arızalı makinelerin listesi
Restoran	- Müşteriler	- Masalar - Garsonlar - Mutfak - Aşçılar	- Masa için bekleyen müşterilerin sırası - Masada servis için bekleyen müşteriler
Hastane acil servisi	- Hastalar - Ambulanslar	- Doktorlar - Hemşireler - Muayene odaları	- Bekleme salonundaki sıra - Kritik hasta sırası - Muayene odalarında doktor bekleyen hastaların listesi

Kaynak: Birta ve Arbez (2007: 26)'den uyarlanmıştır.

2.1.2. Simülatör Kavramı

Simülatör kavramı çoğunlukla, bir eğitim cihazına veya platformuna ilişkin olarak kullanılmaktadır. Belirli bir sistemin, bu sistemdeki operatörlerin eğitimi için önemli sayılan operasyonel özelliklerinin benzerini yapan bir aygıt olarak görülebilir. Herhangi bir simülatörün karakteristik bir özelliği; eğitim ortamının gerçekçiliğinin artırılması bağlamında, örnek olarak gerçek bir kontrol paneli düzeni gibi, sistemin bazı fiziksel parçalarını bünyesinde barındırmasıdır. Pilotların eğitimi için uçuş simülatörlerinin gelişiminden başlayarak, simülatörlerin kullanımı çeşitli alanlara yayılmıştır. Örnek olarak; enerji santrali simülatörleri, muharebe simülatörleri, hava trafik kontrol simülatörleri vb. verilebilir (Birta ve Arbez, 2007: 13-14).

Simülasyon modellerinin aksine simülatörlerde çıktılar, yalnızca simülasyonun yürütülmesi bittiğinde değil, daha da önemlisi simülasyonun çalışması esnasında gözlemlenir. Kullanıcı, farklı kararların uygulanmasının etkilerini gerçek zamanlı olarak görebilmektedir. Bu nedenle, simülatörlerin amacı bir karara varmak değil, kullanıcıları sisteme maruz bırakmak ve karar vermeleri konusunda onları eğitmektir (Chung, 2003: 3).

2.1.3. Simülasyonun Tarihsel Gelişimi

Antik çağlarda, askeri stratejiyi öğretmek ve askerlerin hayal gücünü arttırmak için ilkel savaş simülasyonları geliştirilmiştir. Çin’de, milattan önce 6. Yüzyılda, general ve savaş filozofu olan Sun Tzu, iddia edildiğine göre ilk strateji oyununu geliştirmiştir (Cantot, 2011).

Roma ordusu, kendi askeri birlikleri arasında canlı eğitimler düzenlemiştir. Eğitim savaş alanları, askerlerin geniş Roma İmparatorluğu içinde bir yerde karşılaşacakları bir ortamı yansıtıyordu. Roma ordusu çeşitli savaş teknikleriyle, bilinmeyen bölgelerde ordulara karşı nasıl savaşılabileceğini öğrenmek zorunda kalmıştır (Banks, 2009: 7).

Rönesans dönemi boyunca sanatçılar ve bilim adamları, heykel veya büyük yapıların tasarımlarında modeller kullanıyordu. Bu dönemin en önemli bilim adamlarından biri Leonardo da Vinci’dir. Leonardo, icatlarının ve projelerinin çoğunun tasarımını test etmek için modellemeyi tekrar tekrar kullanmıştır (Banks, 2009: 8).

Modelleme ve simülasyon disiplininin doğuşu, 1920’lerin sonunda Edwin Albert Link tarafından “Link Trainer”ın geliştirilmesi ile ilişkilendirilebilir. Link Trainer genellikle, pilotların eğitimi için özel olarak tasarlanmış ilk başarılı aygıt olarak kabul edilir ve uçuş simülatörlerinin başlangıcını temsil eder (Birta ve Arbez, 2007: 15).

Genel olarak simülatörlerin gelişimi ve evrimi, modelleme ve simülasyon için ilk uygulama alanını temsil etse de, bu disiplin için ilk hesaplama platformunu temsil eden analog bilgisayardır. Bu bilgisayarların piyasadaki mevcudiyeti 1950’lerin başlarında başlamıştır. Analog bilgisayarlar öncelikli olarak diferansiyel denklemlerin çözümü için kullanılmıştır. 1960’lı yılların ortalarına gelindiğinde, genel amaçlı dijital bilgisayarların hızı ve bu bilgisayarların kullanımlarına yönelik yazılım desteği, modelleme ve simülasyon disiplini üzerinde önemli sonuçlar doğuracağı belli olan bir noktaya kadar gelişme kaydetmiştir. 1970 ve 1980’li yıllarda, modelleme ve simülasyon uygulamaları için çok çeşitli yazılım desteği geliştirilmiştir. Bu durum, genel olarak iki ayrı alana giren ve giderek daha iddialı projelerin başlamasına olanak tanımıştır. Bu iki ayrı alan; sürekli (tipik olarak

diferansiyel denklem modelleri etrafında formüle edilmiş mühendislik tasarım problemleri) ve ayrık olay (tipik olarak stokastik olaylar ve kuyruk modellerini içeren süreç tasarım problemleri) şeklindedir (Birta ve Arbez, 2007: 15-16).

1980'lerin ikinci yarısı boyunca kişisel bilgisayarların ve iş istasyonlarının popülerleşmesiyle, oldukça iyi insan-makine arayüzüne sahip simülasyon programları geliştirilmiştir (Ohnari, 1998: 16).

1980'li yıllardaki köklü değişikliklerden sonra, simülasyon açısından 1990'lı yıllardan itibaren olan dönem, istikrarlı fakat dramatik bir değişimin olmadığı, devam eden bir gelişim dönemini temsil etmektedir. Değişimin kilit alanları; görsel etkileşimli modelleme, simülasyon optimizasyonu, sanal gerçeklik, yazılım entegrasyonu ve hizmet sektöründe simülasyonun gelişiminde olmuştur (Robinson, 2005: 620).

2.1.4. Simülasyonun Uygulama Alanları

Simülasyon, hemen hemen her sistemin davranışını tahmin etmek için kullanılabilir. Dolayısıyla, simülasyonun uygulama alanları çok geniştir (Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 12). Aşağıda, simülasyonun uygulama alanları ile ilgili bazı örnekler özetlenmektedir (Hira, 2008: 12; Law ve Kelton, 1991: 2; Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 12; Banks'ten aktaran Robinson, 2004: 11):

- **İmalat sistemleri:** Üretim sistemlerinin tasarım analizi ve optimizasyonu, malzeme yönetimi, kapasite planlaması, yerleşim planlaması ve performans değerlendirmesi, süreç kalitesinin değerlendirilmesi vb.
- **Ulaştırma sistemleri:** Alternatif ulaştırma politikalarının tasarımı ve test edilmesi, sefer tarifelerinin değerlendirilmesi, trafik planlaması, kaynak planlaması vb.
- **Sağlık hizmetleri:** Sağlık hizmetlerinin planlanması, beklenen hasta yoğunluğu, tesis gereksinimi, hastane çalışanı istihdamı, bekleme süresinin azaltılması, maliyet tahmini vb.
- **Askeri hizmetler:** Alternatif muharebe stratejilerinin test edilmesi, yeni bir askeri silah sisteminin değerlendirilmesi vb.

- **Bilgisayar:** Bir bilgisayar sistemi için donanım ve yazılım gereksinimlerinin değerlendirilmesi vb.
- **İletişim:** Ağ tasarımı ve optimizasyonu, ağ güvenilirliğinin değerlendirilmesi vb.
- **Restoran ve eğlence sistemleri:** Trafik analizi, iş gücü ihtiyacı vb.
- **İşletme:** Pazar analizi, tüketici davranışının tahmini vb.
- **İnşaat:** Köprü, baraj inşaatı vb.
- **Çevresel uygulamalar:** Atık yönetimi, çevresel programların performans değerlendirmesi vb.
- **Gıda işleme.**

2.1.5. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları

Simülasyonun avantajlarından bazıları şu şekilde özetlenebilir (Chung, 2003: 4-5; Robinson, 2004: 8-9):

- Gerçek sistem üzerinde deney yapılması masraflı olabilmektedir. Simülasyon, gerçek dünya sisteminin işleyişini herhangi bir sekteye uğratmadan, sistem üzerinde değişiklik yapılmasına ve sistemin analiz edilmesine olanak sağlar.
- Gerçek bir sistem üzerinde deney yapmak zaman almaktadır. Sistem performansının gerçek bir yansımasının elde edilebilmesi haftalar, aylar veya daha fazla sürebilmektedir. Simülasyonda ise, modelin benzetimi bir bilgisayar üzerinde yapıldığı için, deneysel simülasyon koşulları (yürütümleri) sıklaştırılmış zamanda yapılabilmektedir. Fazlasıyla uzun süreçlerin işleyişi ve etkileşimi saniyeler içinde simüle edilebilmektedir.
- Gerçek sistem henüz mevcut olmayabilir. Bu tür durumlarda tek alternatif, bir simülasyon modeli geliştirmektir.
- Alternatifleri karşılaştırırken deneysel koşulları kontrol etmek yararlıdır, böylece doğrudan karşılaştırmalar yapılabilir. Gerçek sistemle deney yaparken bu zordur. Bir simülasyon modeliyle, bir deneyin gerçekleştirildiği koşullar birçok kez tekrar edilebilmektedir.
- Bilgisayar simülasyonunun varlığından önce uygulayıcılar, analitik

olarak daha fazla çaba gerektiren araçlar kullanmak zorunda kalmıştır. Simülasyona özel yazılım paketlerinin geliştirilmesi, uygulayıcıları, karmaşık arka plan hesaplamalarına ve aksi takdirde ihtiyaç duyulabilecek programlama gereksinimlerine karşı korumuştur. Bu azaltılmış analitik gereksinimler, çok çeşitli geçmişe sahip daha fazla uygulayıcıya, daha önce mümkün olandan çok daha farklı sistem türlerini analiz etme imkanı sağlamıştır.

- Simülasyona özel yazılım paketlerinin çoğu, modelin çalışmasını dinamik olarak canlandırma yeteneğine sahiptir. Animasyon, hem modelde hata ayıklanması hem de modelin nasıl çalıştığını göstermek için faydalıdır.
- Modelleri basitleştirme isteği ve veri sıkıntısı, bazı uygun varsayımların yapıldığı anlamına gelse de, simülasyon az sayıda varsayım gerektirmektedir. Diğer birçok modelleme yaklaşımı belli varsayımlar gerektirir. Örneğin kuyruk teorisi, çoğu kez geliş ve servis zamanları için belirli dağılımları varsaymaktadır. Birçok süreç için bu dağılımlar uygun değildir. Simülasyonda ise, herhangi bir dağılım seçilebilir.

Simülasyonun dezavantajları ise şu şekilde özetlenebilir (Banks, 1998: 12; Chung, 2003: 5; Robinson, 2004: 10):

- Model kurulumu özel eğitim gerektirir. Zaman içinde ve tecrübe ile öğrenilen bir beceridir. Aynı sistemin iki modeli iki yetkin kişi tarafından kurulmuşsa, benzerlikleri olabilir; fakat aynı olmaları uzak bir ihtimaldir.
- Simülasyon modellemesi ve analizi zaman alıcı olabilmektedir.
- Simülasyon yazılımları her zaman ucuz olmamaktadır.
- Çoğu simülasyon modeli, önemli miktarda veri gerektirmektedir.
- Simülasyon, karmaşık problemlere kolay cevaplar sağlayamamaktadır.
- Simülasyon tek başına sorunları çözemez. Sorunu çözmek için potansiyel çözümler sunar.

2.1.6. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

Simülasyon modelleri 3 farklı boyutta sınıflandırılmaktadır: statik veya dinamik, deterministik veya stokastik, kesikli veya sürekli modeller (Kelton ve diğerleri, 2002: 9; Law ve Kelton, 1991: 6).

2.1.6.1. Statik Model ve Dinamik Model

Statik bir model, zaman ile değişmeyen bir sistemi temsil eder veya zamanın belirli bir noktasında sistemi temsil eder. Statik modeller zamana bağlı değişkenleri görmezden geldiği için, bunlar, sistem parametrelerindeki farklılıklar nedeniyle meydana gelen değişimlerin etkisini belirlemek için kullanılamaz (Hira, 2008: 5). Statik bir model, bir geçiş durumu altındaki davranışı anlamaktan ziyade, kararlı bir durumdaki değişkenlerin dengesine bakmaya çalışıldığında kullanılır. Madde veya enerji dengesi denklemleri ve cebirsel denklemler, statik bir modeli temsil eden denklemler olarak kullanılabilir (Ohnari, 1998: 23).

Statik simülasyonlara örnek olarak Monte Carlo modelleri verilebilir (Law ve Kelton (1991: 6). Monte Carlo yöntemi, rassal sayılarla deneysel örnekleme ve bunlara dayalı sonuçların türetilmesinden oluşur. Farklı ve çoğu zaman çok pahalı olan kararların risklerini ve faydalarını değerlendirmek için risk analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Monte Carlo uygulamaları bazen simülasyon olarak sınıflandırılmaktadır. Simülasyon ve Monte Carlo yöntemlerinin ikisi de sayısal hesaplama teknikleridir; fakat Monte Carlo yöntemi statik modellere uygulanırken, simülasyon dinamik modellere uygulanır (Greasley, 2003).

Dinamik simülasyon modelleri, zaman içinde değişen sistemleri temsil etmektedir (Hira, 2008: 6). Sistemin zamanla değişen davranışını simüle etmek için kullanılırlar. Zamana dayalı simülasyonda sistem, özellikleri zamanla değişen etkileşimli elemanlar topluluğu olarak dikkate alınmaktadır (Madachy ve Houston, 2018: 3).

Dinamik modeller, bir takım alternatif davranış biçimi için sistemin performansını öngörebilmekte ve değişebilir olma veya rastgele olmayı dikkate alabilmektedir. Doğada meydana gelen faaliyetlerin çoğu rastlantısaldır, oluşumları

kontrol edilemez; fakat dinamik modeller, bunların davranışlarının sonucunu öngörmeye yardımcı olmaktadır (Hira, 2008: 6).

2.1.6.2. Deterministik Model ve Stokastik Model

Bir simülasyon modeli, herhangi bir olasılıksal (yani rastgele) bileşen içermiyorsa, deterministik olarak adlandırılır. Kimyasal bir reaksiyonu tanımlayan karmaşık (ve analitik olarak zorlu) bir diferansiyel denklem sistemi, böyle bir model olabilir (Law ve Kelton, 1991: 6). Deterministik modeller, benzersiz bir çıktı seti ile sonuçlanan bilinen bir girdi setine sahiptir. Bu modellerde, olayların oluşumu kesindir ve şansa bağlı değildir (Hira, 2008: 6).

Bununla birlikte, birçok sistemin en azından bazı rastgele girdi bileşenlerine sahip olarak modellenmesi gerekmektedir ve bu da stokastik modellere yol açmaktadır (Law ve Kelton, 1991: 6). Stokastik bir model, belirtilen olasılık dağılımlarından elde edilen rassal sayıları kullanarak, birçok parametre ve ilişkideki doğal belirsizliği tanımaktadır (Madachy ve Houston, 2018: 4). Stokastik simülasyon modellerinde, rastgele (rassal) çıktılara neden olan bir veya daha fazla rassal girdi değişkeni bulunmaktadır. Böyle bir durumda çıktılar yalnızca, sistemin gerçek özelliklerinin tahminleridir. Örnek olarak, müşteri gelişlerinin rastgele olduğu bir bekleme hattı sistemi, stokastik bir sistemdir. Farklı iş istasyonlarında operasyon sürelerinin rastgele olduğu bir üretim hattının çalışması, stokastik bir süreçtir. (Hira, 2008: 6).

Bir model, farklı bileşenlerde hem deterministik hem de rassal girdilere sahip olabilmektedir (Kelton ve diğerleri, 2002: 9).

Tamamen deterministik bir modelde, belirli bir parametre seti için yalnızca bir simülasyon koşumuna gerek duyulmaktadır. Bununla birlikte, stokastik veya karma bir modelde, sonuç değişkenleri her simülasyon koşumunda farklılık göstermektedir; çünkü olasılık dağılımlarından elde edilen rassal sayılar, her simülasyon koşumunda farklı olmaktadır (Madachy ve Houston, 2018: 4).

2.1.6.3. Sürekli Model ve Kesikli Model

Sürekli bir modelde, sistemin durumu zaman içinde sürekli olarak değişebilmektedir (Kelton ve diğerleri, 2002: 9). Sürekli simülasyon modelleri, durum değişkenlerinin zaman içindeki değişim oranları için ilişkiler sağlayan diferansiyel denklemleri içermektedir (Law ve Kelton, 1991: 109). Boşaltılan bir tankerdeki benzin miktarı zamanla sürekli değiştiği için, sürekli bir modele örnek olarak verilebilir (Greasley, 2003).

Fen ve mühendislikte kullanılan birçok dinamik model; konum, hız, ivme, sıcaklık veya basınç gibi zamanın sürekli fonksiyonları olan değişkenleri içermektedir (Murray-Smith, 2015: 8).

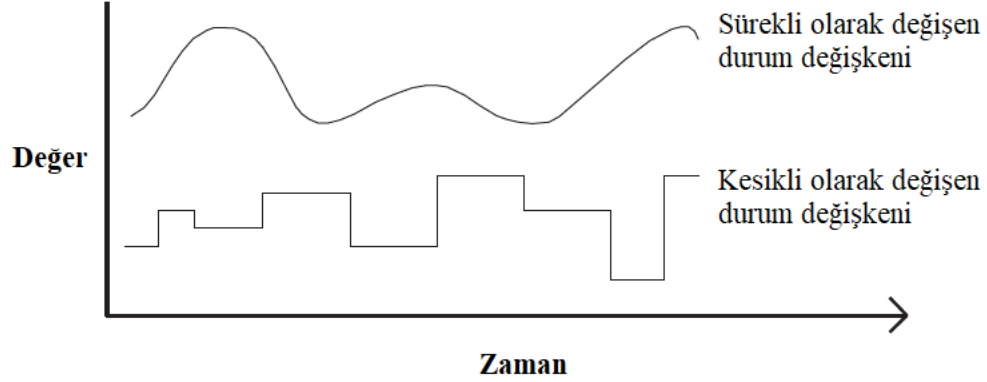
Kesikli bir modelde ise, durum değişkenleri yalnızca zamanın farklı noktalarında değişmektedir. Örneğin, bir bankayı ve içindeki müşteri sayısını düşünecek olursak, durum değişkeni yalnızca bir olay meydana geldiğinde, yani bir müşterinin bankaya gelmesi veya bankadan ayrılması durumunda değişir (Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 13). Başka bir örnek olarak, bir imalat sisteminde belirli zamanlarda parçaların sisteme gelmesi ve sistemden ayrılması, belirli zamanlarda işçilerin ara vermesi vb. verilebilir (Kelton ve diğerleri, 2002: 9).

Kesikli modeller yalnızca fen ve mühendislikte değil, aynı zamanda işletme, planlama ve yöneylem araştırması gibi diğer alanlarda da önemli olabilmektedir (Murray-Smith, 2015: 8).

Aynı modelde, hem sürekli hem de kesikli değişim unsurları bulunabilmektedir. Tankların içerisinde sürekli olarak değişen basınç ve ayrı zamanlarda meydana gelen kapanmalar ile bir rafineri, örnek olarak verilebilir (Kelton ve diğerleri, 2002: 9).

Şekil 26’da, kesikli olarak değişen durum değişkeni ve sürekli olarak değişen durum değişkeninin zaman içindeki değişimleri gösterilmektedir.

Şekil 26: Kesikli Olarak Değişen ve Sürekli Olarak Değişen Durum Değişkenlerinin Karşılaştırılması



Kaynak: Harrell ve diğerleri (2004: 73)’nden uyarlanmıştır.

2.1.7. Kesikli Olay Simülasyonu

Kesikli olay simülasyonunda, simülasyon modeli zamanın herhangi bir anında bir “durum”a sahiptir. Sistem durumu, sistemin göze çarpan değişkenlerini yakalayan ve zaman içinde sistemin gelişimini tanımlamamıza izin veren bir veri grubudur. Bir bilgisayar simülasyonu programında sistem durumu, çeşitli veri yapılarını (örneğin, bir kuyruktaki müşteri sayısı) temsil eden bir veya daha fazla program değişkeninde depolanmaktadır (Altıok ve Melamed, 2007: 11). Tablo 4’te farklı sistemler için sistem durumu bileşenlerine örnekler verilmekte olup, bu örnekler çoğaltılabilir.

Tablo 4: Farklı Sistemlerdeki Sistem Durumunun Unsurları

Sistem	Durum
Havalimanı	Her uçak pisti için iniş ve kalkış bekleyen uçakların sayısı
Envanter sistemi	Her bir envanter merkezindeki her bir ürün için eldeki ve siparişteki stoklar
Asansör sistemi	Her katta bekleyen kişi sayısı; her bir asansördeki kişi sayısı

Kaynak: Bratley ve diğerleri (1983: 12)’nden uyarlanmıştır.

Kesikli olay simülasyonunda yalnızca, sistemin durumunun değiştiği anlar temsil edilmektedir. Başka bir ifadeyle sistem, bir olaylar serisi olarak modellenmektedir (Robinson, 2004: 15). Bir olay, sistemin durumunu değiştirebilecek anlık bir oluşum olarak tanımlanmaktadır (Law ve Kelton, 1991: 7). Olaylara örnek olarak; bir müşterinin gelmesi, bir müşterinin servis almaya başlaması, bir makinenin tamir edilmesi vb. verilebilir (Robinson, 2004: 15).

Herhangi bir kesikli olay simülasyon modelinin gelişimi, bir saat tarafından ve tarih sırasına göre düzenlenmiş bir olay listesi tarafından yönetilmektedir (Altıok ve Melamed, 2007: 12). Olay listesi, yaklaşmakta olan olaylar setini izlemektedir. Simülasyon, simülasyon saati tarafından düzenlenen olay listesindeki olaydan olaya ilerleyerek zaman içinde gelişmektedir. Bir olay gerçekleştiğinde; sistem durumu, uygun herhangi bir istatistik ve olay listesi güncellenmektedir (Goldsman ve Goldman, 2015: 104). Tablo 5’te, bir kuyruk sistemine yönelik kısmi bir olay listesi örneği gösterilmektedir (Sokolowski, 2009: 50).

Tablo 5: Olay Listesine Bir Örnek

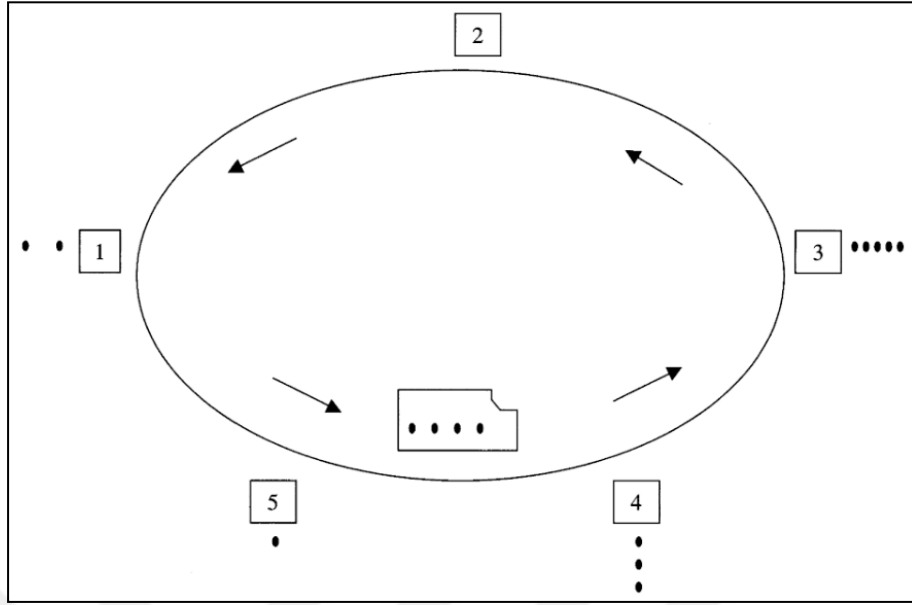
Olay Zamanı	Olay
00:17	Müşteri 1’in gelmesi
00:22	Müşteri 2’nin gelmesi
00:24	Müşteri 1’in hizmet alması
00:26	Müşteri 3’ün gelmesi
00:27	Müşteri 1’in ayrılması
00:28	Müşteri 2’nin hizmet alması

Kaynak: Sokolowski (2009: 50)’den uyarlanmıştır.

Kesikli olay sistemi ile ilgili bir örnek olarak Şekil 27’de, kısmen aşağıdakilerle karakterize edilen bir otobüs güzergahı gösterilmektedir (Fishman, 2001: 5):

- Otobüsteki yolcu sayısı
- Beş durağın her birinde bekleyen kişilerin sayısı
- Otobüsün konumu

Şekil 27: Otobüs Modeli



Kaynak: Fishman, 2001: 6.

Burada ilk iki tanımlayıcı kesikli iken, otobüsün konumu Şekil 27’de gösterilen ring seferinde sürekli. Bununla birlikte, otobüsteki yolcu sayısı yalnızca, otobüsün konumu durakları tanımlayan beş değerden birini aldığı anda değişebilmektedir. Ayrıca, bir durakta bekleyen kişi sayısı yalnızca, otobüs durağa vardığında veya yeni bir kişi durağa geldiğinde değişebilmektedir. Sonuç olarak, otobüsün varış zamanları ve kişilerin varış zamanları, otobüs kapasitesi ile birlikte, her durakta kaç yolcunun bekleyeceğini ve her seferinde otobüs doluluk oranını belirlemektedir. Ayrıca her kişinin otobüsü ne kadar süre bekleyeceğini de belirlemektedirler (Fishman, 2001: 6).

2.1.8. Simülasyon Modellemesi Yönteminin Adımları

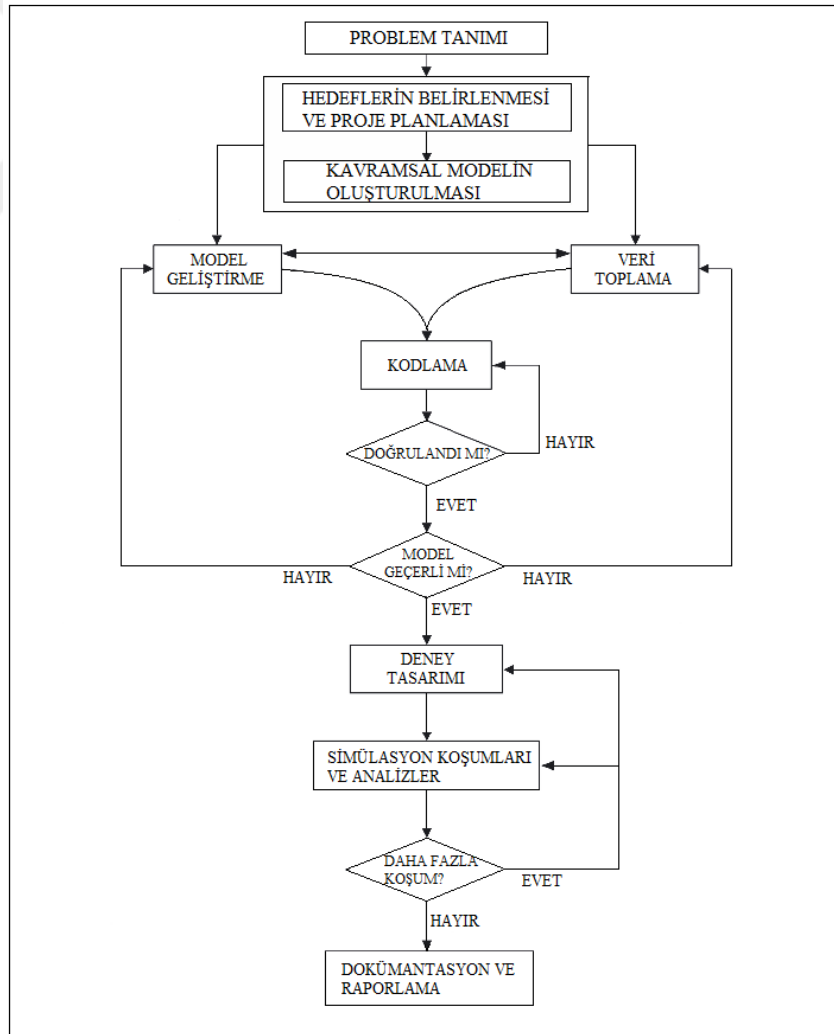
Simülasyon modellemesi yöntemi kullanılarak yapılacak bir çalışmada izlenen adımlar, literatürde farklı yazarlar tarafından farklı sayıda ve kısmen farklı şekilde belirtilmektedir. Fakat genel olarak izlenecek adımlar benzerdir. Bu adımlar şu şekilde özetlenebilir (Altıok ve Melamed, 2007: 5-6; Biles, 1996: 219-220; Hira, 2008: 9-10; Law ve Kelton, 1991: 106-109; Loper, 2015: 17-26; Rossetti, 2016: 10):

- Problemin formülasyonu,

- Kavramsal model,
- Verilerin toplanması,
- Simülasyon modelinin geliştirilmesi,
- Model doğrulama,
- Model geçerleme,
- Deneylerin tasarımı,
- Simülasyonun yürütülmesi ve çıktı analizi,
- Dokümantasyon ve raporlama.

Şekil 28’de gösterilen simülasyon modelleme süreci, Rossetti (2016: 10)’den uyarlanarak hazırlanmıştır.

Şekil 28: Simülasyon Modelleme Süreci



Kaynak: Rossetti (2016: 10)’den uyarlanmıştır.

2.1.8.1. Problemin Formülasyonu

Problemin açık ve belirsizliğe yer vermeyecek şekilde tanımlanması, çalışmanın amaçlarının tanımlanması, dikkate alınacak alternatiflerin belirlenmesi ve bu alternatiflerin etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik metodoloji, herhangi bir çalışmanın başında belirtilmelidir (Hira, 2008: 9).

Problemin açıklanması karar vericiler tarafından sağlanıyorsa, araştırmacı, tarif edilen problemin açık bir biçimde anlaşıldığından emin olmalıdır. Eğer problem araştırmacı tarafından açıklanıyorsa, karar vericiler bunu anlayabilmeli ve kabul edebilmelidir (Hira, 2008: 9). Araştırmacının, problemin açıklanması ile ilgili olarak gerçek dünya sistemi hakkında bir takım varsayımlar geliştirmesi ve karar vericilerin bu problem tanımını kabul ettiğinden emin olması iyi bir yaklaşım olacaktır (Loper, 2015: 17-18).

Sistemi, özellikle de sınırlarını doğru ve kısaca tanımlamak için bir sistem tanımı gereklidir. Sistemin tanımı, genellikle sistemin ana unsurlarının resimsel bir gösterimini içermektedir. Bu, simülasyon çalışmasının uygun ilgi alanlarına odaklanmasını ve proje kapsamının iyi anlaşılmasını sağlamaktadır (Rossetti, 2016: 12).

Problemi ve sistemi tanımlarken, sistem performansının nasıl ölçüleceğine dair bir anlayış geliştirmeye başlanmalıdır. Sistem karar vericileri için en önemli olduğu düşünülen ve doğrudan simülasyon çalışmasının hedeflerine bağlı olan performans ölçümlerine odaklanılmalıdır (Rossetti, 2016: 12).

2.1.8.2. Kavramsal Model

Problemi ve incelenen sistemi iyi anlayarak, ayrıntılı model formülasyonlarına başlamaya hazır olunmalıdır. Bir model uygulamak üzere herhangi bir yazılım kullanmadan önce, akış şemaları vb. kavramsal modelleme araçları kullanılmalıdır. Kavramsal modelleme araçlarının amacı, modelin bir bilgisayar temsiline dönüştürülebilmesi için sistemin daha ayrıntılı bir tarifini sağlamaktır (Rossetti, 2016: 12).

Kavramsal model, incelenen gerçek dünya sisteminin bir soyutlamasıdır. Bir

simülasyon kavramsal modeli; neyin temsil edileceğini, bu temsilleri sınırlayan varsayımları, ve diğer imkanları (örneğin, veri) açıklamaktadır. Problem için doğru bir temsile ulaşana kadar, basit bir model ile başlanması ve ihtiyaç oldukça detay ve karmaşıklık eklenmesi önerilmektedir (Loper, 2015: 19).

Kavramsal model, problemin açıklanması ve simülasyon modeli arasında bir köprü görevi görmektedir (Birta ve Arbez, 2007: 42).

2.1.8.3. Verilerin Toplanması

Sistem unsurlarının her biri ile ilgili gerekli tanımlamaların geliştirilmesini sağlayacak veri ve bilgiler toplanmalı ve modelde kullanılan rassal değişkenler için olasılık dağılımlarını belirlemek üzere kullanılmalıdır (Biles, 1996: 220; Law ve Kelton, 1991: 106). Örneğin bir bankanın modellenmesinde, gelişler arası süreler ve servis süreleri elde edilebilir ve bu veriler, modelde kullanılacak gelişler arası süre ve servis süresi dağılımlarını belirlemek için kullanılabilir (Law ve Kelton, 1991: 106-107).

Birkaç potansiyel veri kaynağı bulunmaktadır: tarihsel kayıtlar, gözlemsel veriler, benzer sistemler, işletmeci tahminleri, tasarımcı tahminleri, teorik düşünceler vb. (Loper, 2015: 20).

Veriler yalnızca modele bir girdi olarak gerekmemekte, aynı zamanda bazı veriler simülasyon modelinin geçerliliğini sağlamak için kullanılmaktadır (Hira, 2008: 9). Banka örneğinde, sistemin performansına ilişkin veriler (örneğin müşteri kuyruğundaki gecikmeler) modelin geçerliliğini sağlamak amacıyla toplanmalıdır (Law ve Kelton, 1991: 107).

2.1.8.4. Simülasyon Modelinin Geliştirilmesi

Problem tamamen incelendikten ve gerekli veriler toplandıktan sonra araştırmacı, bir model kurmaya geçebilir ve bunu bir bilgisayar programı olarak uygulayabilir (Altıok ve Melamed, 2007: 6). Bu adımda, kavramsal model, bir bilgisayar programına dönüştürülmektedir (Loper, 2015: 21).

Simülasyon modelinin oluşturulmasında; genel amaçlı bir programlama dili

(örneğin; C++, Visual Basic, Fortran vb.), bir simülasyon dili (GPSS, SIMAN, SIMSCRIPT vb.) veya bir simülasyon yazılımı (Arena, ProModel, AutoMod vb.) kullanılabilir (Altıok ve Melamed, 2007: 6; Birta ve Arbez, 2007: 44; Hira, 2008: 10; Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 33).

Simülasyon modelini sıfırdan başlayarak genel amaçlı bir programlama dilinde uygulamaya çalışmak, ortalamanın üstünde bir programlama becerisi gerektirecektir (Rossetti, 2016: 7-8). İncelenen problem özel amaçlı bir yazılıma uygun ise, model geliştirme süresi ve çabası önemli ölçüde azalır. Diğer yandan, simülasyon dilleri genellikle, özel amaçlı yazılım paketlerinden daha güçlü ve daha esnektir (Hira, 2008: 10). Araştırmacı; bir simülasyon dili, bir simülasyon yazılımı veya bir programlama dilinin kullanılıp kullanılmayacağına karar verecektir (Hira, 2008: 10; Loper, 2015: 21).

2.1.8.5. Model Doğrulama

Model doğrulamanın amacı, modelin doğru şekilde kurulduğundan emin olmaktır (Altıok ve Melamed, 2007: 6). Modelin ve ilgili verilerinin, kavramsal tanımlamaları ve özellikleri doğru bir şekilde temsil ettiğini belirleme sürecidir. Doğrulama, devam eden bir süreç olmalıdır; araştırmacı, doğrulama işlemine başlamak için tüm model tamamlanana kadar beklememelidir (Loper, 2015: 22).

Model doğrulama için, simülasyon kodundaki herhangi bir hatanın yerini tespit etmek üzere hata ayıklama gerçekleştirilir. Özel öneme sahip hatalar arasında; uygun olmayan varlık yaratma, kaynakların serbest bırakılmasındaki hatalar, mantıksal/aritmetik hatalar veya hatalı olarak gözlenen istatistikler bulunmaktadır (Rossetti, 2016: 13).

2.1.8.6. Model Geçerleme

Simülasyon modelinin geçerliliğinin sağlanması, modelin gerçek sistemi yeterince temsil edip etmediğini belirlemek için yapılır (Rossetti, 2016: 13).

Doğrulama, modelin her gösteriminde açıkça görülmesi gereken özelliklerin gerçekten mevcut olmasını sağlamakla ilgilidir. Bu özelliklerin, gerekli veya

beklenen model davranışını (her zaman proje hedefleri açısından) uygun şekilde yansıtmayı yansıtmadığı ise, geçerlemenin alanına giren bir konudur (Birta ve Arbez, 2007: 47).

Doğrulama ve geçerleme adımları, modelin güvenilirliğinin oluşturulmasında kritik öneme sahiptir; böylece simülasyon çalışmasına dayanarak sistem hakkında alınan kararlar güvenle desteklenebilir (Biles, 1996: 220).

Model geçerlemede, modelin ampirik verilere (modellenecek gerçek dünya sisteminin ölçümleri) uygunluğu incelenir. İyi bir model uyumu; model tarafından öngörülen bir dizi önemli performans ölçümünün, gerçek dünya sisteminde gözlemlenen emsalleriyle makul bir şekilde uyduğu anlamına gelmektedir. Bu tür bir geçerleme ancak, gerçek dünya sistemi varsa ve gerekli ölçümler fiilen elde edilebiliyorsa mümkündür (Altıok ve Melamed, 2007: 6).

Geçerleme; modeli gerçek sistem davranışı ile karşılaştırma, uyumsuzlukları tespit etme, düzeltmeleri uygulama ve tekrar performans karşılaştırmadan oluşan tekrarlayan bir süreçtir. Bu süreç, istenen doğrulukta bir model elde edilene kadar devam eder. Gerçek sistemden toplanan veriler, model geçerlemede çok yardımcı olmaktadır (Hira, 2008: 10).

Model geçerleme ile ilgili olarak basit bir teknik, simülasyon modelinin çıktısı ile gerçek sistem çıktısını istatistiksel olarak karşılaştırmak ve aralarında anlamlı bir fark olup olmadığını analiz etmektir (Rossetti, 2016: 14).

Çeşitli geçerleme tekniği mevcut olup, bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir (Sargent, 2013: 16-17):

- **Tarihsel veri geçerliliği (historical data validation):** Geçmiş veriler varsa (örneğin; özellikle bir model oluşturmak ve test etmek için bir sistemde toplanan veriler), verilerin bir kısmı modeli oluşturmak için kullanılır. Kalan veriler, modelin sisteme benzer şekilde davranıp davranmadığını test etmek için kullanılır.
- **Görünüm geçerliliği (face validity):** Sistem hakkında bilgili olan kişilere, modelin ve/veya davranışının makul olup olmadığı sorulur. Örneğin; kavramsal modeldeki mantık doğru mu ve modelin girdi-çıkı ilişkileri makul mu?
- **Olay geçerliliği (event validity):** Simülasyon modelinin olayları, benzer

olup olmadıklarını belirlemek için, gerçek sistemin olayları ile karşılaştırılır. Örneğin; bir itfaiye teşkilatı simülasyonundaki yangın sayısı ile gerçek yangın sayısının karşılaştırılması.

- **Parametre değişkenliği - duyarlılık analizi:** Bu teknik, modelin davranışı veya çıktısı üzerindeki etkiyi belirlemek için, modelin girdi parametrelerinin değerlerini değiştirmekten oluşur. Aynı ilişkiler, gerçek sistemde olduğu gibi, modelde de gerçekleşmelidir. Hassas olan, yani, modelin davranışında veya çıktısında önemli değişikliklere neden olan parametreler, modeli kullanmadan önce yeterince doğru yapılmalıdır.

2.1.8.7. Deneylerin Tasarımı

Araştırmacı, modelin geçerli olduğuna karar verdiğinde; model performansını tahmin etmek ve problemin çözülmesine yardımcı olmak için, bir dizi simülasyon deneyi tasarlama aşamasına geçebilir (Altıok ve Melamed, 2007: 6).

Benzetimi yapılacak her bir senaryo için; simülasyonun çalışma uzunluğu, ısınma süresinin (varsa) uzunluğu, simülasyon tekrarlarının sayısı, simülasyon yürütümleri için başlangıç koşulları gibi konularda kararlar alınması gerekmektedir (Banks, 1998: 17; Hira, 2008: 10; Law ve Kelton, 1991: 109; Loper, 2015: 23).

Deneylerin yürütülmesi için izlenebilecek bir yaklaşım, her simülasyon yürütümü için girdi verilerini değiştirmek ve sistemin davranışını gözlemlemektir. Yalnızca birkaç girdi parametresi varsa, bu yaklaşım işe yarayacaktır. Bununla birlikte, önemli miktarda girdi parametresi varsa, parametrelerin her bir kombinasyonu için simülasyonun yürütülmesi kontrol edilemez hale gelebilmektedir (Loper, 2015: 23). Bu durumda araştırmacı, deneysel tasarım tekniklerini kullanmayı düşünmelidir (Rossetti, 2016: 14). Deney tasarımı (deneysel tasarım) yöntemleri sayesinde, göreceli olarak önemsiz olan girdi parametreleri elenir. Sonuç olarak, girdi parametrelerinin küçük bir kümesi daha etkin ve etkili bir şekilde incelenebilir ve parametreler arasındaki etkileşimler daha az simülasyon deneyi ile ortaya konulabilir (Soykan ve Erol, 2015: 188).

2.1.8.8. Simülasyonun Yürütülmesi ve Çıktı Analizi

Benzetimi yapılan senaryolar için performans ölçümlerini tahmin etmek üzere simülasyon koşumları gerçekleştirilir (Banks, 1998: 18; Loper, 2015: 24). Senaryo ile ilgili performans ölçümlerinin yeterli istatistiksel güvenilirliğini elde etmek için, her senaryo farklı rassal sayı dizilerine bağlı olarak defalarca çalıştırılır (Altıok ve Melamed, 2007: 6).

Simülasyon koşumlarından elde edilen çıktı verilerini analiz etmek için istatistiksel teknikler kullanılır. Tipik hedefler; belirli bir sistem tasarımına yönelik bir performans ölçümü için bir güven aralığı oluşturmak veya belirlenen performans ölçümüne göre hangi simüle edilmiş sistemin en iyi olduğuna karar vermektir (Law ve Kelton, 1991: 109).

Araştırmacı, tamamlanan simülasyon koşumlarından elde edilen sonuçların analizine dayanarak; ilave simülasyon koşumlarının gerekli olup olmadığını ve ilave senaryoların benzetiminin yapılmasının gerekip gerekmediğini belirler (Banks, 1998: 18; Loper, 2015: 24).

2.1.8.9. Dokümantasyon ve Raporlama

Bu adım; simülasyon programının dokümantasyonu, simülasyon çalışmasının sonuçlarının raporlanması ve simülasyon çalışmasına dayanarak gerçek sistem hakkında tavsiyelerde bulunulmasını içermektedir (Biles, 1996: 220).

Simülasyon programı ileride aynı veya farklı bir araştırmacı tarafından kullanılabilirdiğinden, programın bir dokümantasyonu gereklidir (Hira, 2008: 10). Ayrıca; modelde değişiklik yapılacaksa, bu, yeterli dokümantasyonla büyük ölçüde kolaylaştırılabilir (Banks, 1998: 18).

Tüm analiz sonuçları, açık bir biçimde ve kısa ve öz şekilde raporlanmalıdır. Bu, karar vericilerin; nihai formülasyonu, ele alınan alternatifleri, alternatif sistemlerin karşılaştırıldığı kriterleri, deneylerin sonuçlarını ve eğer varsa araştırmacı tavsiyelerini gözden geçirmesine olanak sağlayacaktır (Banks, 1998: 18).

Araştırmacı; sistemin temel problemine yönelik nihai tavsiyeleri açık ve kesin bir şekilde ifade etmek için çıktı analizini kullanır. Bu genellikle, yazılı raporun bir

parçasıdır (Altıok ve Melamed, 2007: 6).

2.1.9. Simülasyon Dilleri, Simülasyon Yazılımları ve Programlama Dilleri

Simülasyon dilleri, belirli problemlerin simülasyon modellerinin programlama gereksinimlerini karşılamak için yapılandırılmış özel amaçlı dillerdir. Özel amaçlı simülasyon dilleri; genel amaçlı programlama dillerine kıyasla çok daha spesifik olsa da, geniş bir uygulama yelpazesinde programlama yeteneğine sahiplerdir (Hira, 2008: 230).

Simülasyon dillerinin yanı sıra, belirli türdeki sistemlerin benzetimini yapmak için özel olarak geliştirilmiş yazılım paketleri de mevcuttur (Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 36). Simülasyon yazılımları, belirli türdeki sistemlerin az programlama ile veya hiç programlama olmadan benzetiminin yapılmasına izin vermektedir. Bu yüzden, kullanıcının programlamada çok uzman olması gerekmemektedir. Simülasyon yazılımlarının uygulama alanları ise genellikle sınırlıdır (Hira, 2008: 230).

1960'lı yıllarda; GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA gibi ilk simülasyon dilleri ortaya çıkmıştır. 1970'li yıllarda ise; SLAM, GPSS-H gibi yeni diller geliştirilmiştir. 1980'lerin sonuna kadar, model geliştirme hala programlama yapılarının kullanımına büyük ölçüde bağlıydı. 1980'lerin sonuna doğru Witness ve ProModel, model geliştirmede menü odaklı bir arayüz kullanarak bu geleneği bozan ilk ticari simülasyon paket programları arasındaydı. Bunu; Arena, Quest, Taylor II, AutoMod, AweSim, Micro Saint, Enterprise Dynamics, Flexsim gibi birçok paket program takip etmiştir (Robinson, 2005: 620-621).

C++, Visual Basic, Java, Fortran vb. gibi genel amaçlı programlama dillerini kullanarak da simülasyon modeli geliştirilebilmektedir (Loper, 2015: 21; Robinson, 2004: 40).

Simülasyon modelinin geliştirilmesinde programlama dili, simülasyon dili veya simülasyon yazılımlarından hangisinin kullanılacağı, verilmesi gereken önemli bir karardır. Genel amaçlı programlama dilleri, doğrudan araştırmacıya yardımcı olmayı amaçlayan herhangi bir olanak sağlamaz. Araştırmacı; olay çizelgeleme /

zaman iletme algoritması, istatistik toplama yeteneği, belirtilen olasılık dağılımlarından örneklerin üretilmesi ve rapor üretcecinin tüm detaylarını programlamak zorunda kalmaktadır (Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 33-37). Buna karşın programlama dilleri en fazla uygulama alanı, modelleme esnekliği ve daha hızlı yürütme(çalışma) gibi avantajlara sahiptir (Loper, 2015: 21; Robinson, 2004: 42). Simülasyon dilleri; her simülasyonda gerekli olan, ancak genellikle karmaşık problemler için yeterli olmayan standart araçlar sunar. Simülasyon dilleri yüksek düzeyde araçlar sağlar, fakat genellikle genel amaçlı programlama dillerinden daha az esnektirler. Simülasyon yazılımları, grafiksel nesneleri işleyerek ve az kod yazarak veya kod yazmadan bir simülasyon modeli oluşturma seçeneği sunar. Bununla birlikte, yalnızca sınırlı sayıda sisteme uygulanabilirler ve genel amaçlı programlama veya simülasyon dilleriyle karşılaştırıldığında daha az esnektirler (Papadimitriou ve diğerleri, 2003: 34-37).

2.2. REGRESYON MODELLERİ

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırmak ve modellemek için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Mühendislik, fen bilimleri, sosyal bilimler, ekonomi, yönetim gibi hemen hemen her alanda regresyon uygulamaları mevcuttur. Regresyon modelleri; veri açıklanması, parametre kestirimi, tahmin, kontrol gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Mühendisler ve bilim insanları bir veri setini özetlemek veya tanımlamak için çoğunlukla denklemler kullanmaktadır. Regresyon analizi bu denklemlerin geliştirilmesinde yardımcı olmaktadır (Montgomery ve diğerleri, 2012: 1-9).

Regresyon modellemesinde değişkenler iki gruba ayrılmaktadır: bağımsız değişken ve bağımlı değişken. Sadece bir bağımsız değişken içeren regresyon modeline basit regresyon modeli denir. Birden fazla bağımsız değişken içeriyorsa, çoklu regresyon modeli olarak adlandırılır (Wang ve Jain, 2003: 3-4).

2.2.1. Basit Doğrusal Regresyon Modeli

Yalnızca bir bağımsız değişkenin olduğu ve regresyon fonksiyonunun doğrusal olduğu model aşağıdaki gibi ifade edilir (Kutner ve diğerleri, 2005: 9):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

Y_i : i . denemedeki bağımlı değişkenin değeridir.

β_0 ve β_1 : Regresyon parametreleri veya katsayılarıdır.

X_i : i . denemedeki bağımsız değişkenin değeridir.

ε_i : Ortalaması 0, varyansı σ^2 olan hata terimidir.

i : 1, 2,, n

β_1 katsayısı regresyon doğrusunun eğimidir ve X 'teki bir birim değişimde Y 'de gerçekleşen değişimi açıklamaktadır. β_0 katsayısı, regresyon doğrusunun dikey eksenini kestiği noktayı, yani $X = 0$ olduğunda Y 'nin aldığı değeri gösterir. Hata terimi olan ε ise, modelin verilere tam olarak uymamasını açıklayan bir rastgele değişkendir (Altunışık ve diğerleri, 2012: 234; Chatterjee ve Hadi, 2006: 29; Montgomery ve diğerleri, 2012: 2).

Mevcut verilere dayanarak, β_0 ve β_1 parametreleri tahmin edilmek istenmektedir. Bu, bağımsız değişkene karşı bağımlı değişkenin saçılım grafiğindeki noktalara en iyi uyumu sağlayan düz çizginin bulunması demektir. Parametreler, en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilmektedir. Bu yöntem, her noktadan çizgiye kadar olan dikey mesafelerin karelerinin toplamını en aza indiren çizgiyi verir. Dikey mesafeler, bağımlı değişkendeki hataları temsil etmektedir (Chatterjee ve Hadi, 2006: 29).

2.2.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli

Çoklu regresyon analizi, tek bir bağımlı değişken ile birkaç bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılabilen istatistiksel bir tekniktir. Çoklu regresyon analizinin amacı, araştırmacı tarafından seçilen tek bir bağımlı

değişkeni tahmin etmek üzere, değerleri bilinen bağımsız değişkenleri kullanmaktır (Hair ve diğerleri, 2014: 157).

N adet bağımsız değişkenin olduğu regresyon modeli aşağıdaki gibi ifade edilir (Kutner ve diğerleri, 2005: 217):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_{in} + \varepsilon_i$$

Örneğin β_1 parametresi; kalan bağımsız değişkenlerin tümü sabit tutulduğunda, X_1 'deki birim değişimde Y 'de beklenen değişimi temsil etmektedir. Bu nedenle $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ parametrelerine genellikle kısmi regresyon katsayıları denilmektedir (Montgomery ve diğerleri, 2012: 68).

Çoklu regresyon modellemesinde görülebilen problemlerden biri, bağımsız değişkenler arasında görülen çoklu doğrusallık sorunudur (Wang ve Jain, 2003: 52). Çoklu doğrusallık, bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonu ifade eder. Bağımsız değişkenler arasında paylaşılan varyans yaratır; böylece bağımlı değişkeni tahmin etme ve her bir bağımsız değişkenin göreceli rollerini ortaya çıkarma yeteneğini azaltır. Çoklu doğrusallık, yalnızca regresyon modelinin kestirim kabiliyeti üzerinde değil, aynı zamanda regresyon katsayılarının tahmini ve istatistiksel anlamlılık testleri üzerinde de önemli etkilere sahip olabilir (Hair ve diğerleri, 2014: 161-197).

2.3. LİTERATÜR TARAMALARI

Bu kısımda, tezin konusu ve yöntemi doğrultusunda incelenen çalışmalar anlatılmaktadır. Bunlar, yöntem kapsamında incelenen tez çalışmaları ve bu tezin konusu kapsamında incelenen römorkörcülük hizmetleri ile ilgili çalışmalar olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

2.3.1. Tez Çalışmaları

Simülasyon ve optimizasyon yöntemlerinin bir arada kullanıldığı ve simülasyon yöntemi ile optimizasyonun gerçekleştirildiği tez çalışmaları incelenmiştir. Yükseköğretim Kurulu'nun Tez Merkezi veri tabanında, aşağıdaki

anahtar kelimeler birlikte kullanılarak gelişmiş tarama yapılmıştır:

- Simülasyon ve optimizasyon
- Benzetim ve optimizasyon
- Simülasyon ve eniyileme
- Benzetim ve eniyileme
- Simülasyon ve optimum
- Simülasyon ve optimal
- Benzetim ve optimum
- Benzetim ve optimal
- “Simulation” ve “optimization”

Literatür taraması sonucunda elde edilen tezlerden inşaat, elektrik-elektronik, enerji, makine, çevre mühendislikleri ve mimarlık anabilim dallarında yapılan tezler kapsam dışı bırakılmıştır. İncelenen tezler, büyük çoğunluğu endüstri mühendisliği anabilim dalında (13 adet) olmak üzere ekonometri (2), istatistik (1), deniz ulaştırma işletme mühendisliği (1) ve işletme (2) anabilim dallarında yapılan tezlerden oluşmakta olup, toplam 19 adet tez incelenmiştir.

Tezler; genel içerik, optimize edilen değişkenler, simülasyon ve optimizasyon yöntemleri kapsamında incelenmiş ve özetlenmiştir. Tablo 6’da incelenen tezlerle ilgili bilgiler verilmektedir.

Tablo 6: Tezler ile ilgili Literatür Taraması

Yazar/Yıl	Derece	Tez Konusu	Simülasyon ve/veya Optimizasyon Yöntemleri
Hatip (2001)	Yüksek lisans	Simülasyon Kullanarak Türk Silahlı Kuvvetleri Akaryakıt Tedarik Sisteminin Modellenmesi ve Optimizasyonu	- AutoMod 9.1 - AutoStat
Gündüz (2005)	Yüksek lisans	Akış Tipi Atölye Sisteminde Benzetim ile Eniyileme: Man Türkiye A.Ş.’de Bir Uygulama	- Çoklu iniş algoritması, tavlama benzetimi ve tabu aramaya dayalı algoritmalar (C++) - Arena 6.0
Tekkanat (2007)	Yüksek lisans	Hat Yönetiminde Simülasyon Tabanlı Optimizasyon ve İstanbul Deniz Otobüsleri A.Ş.’de Bir Uygulama	- Genetik algoritma - AutoMod 11.1
Etçioğlu (2009)	Yüksek lisans	Kapasite Planlamasının Simülasyon Tekniği ile Optimizasyonu ve Bir İmalat İşletmesi Uygulaması	- Arena

Tablo 6: Tezler ile ilgili Literatür Taraması (Devamı)

Yazar/Yıl	Derece	Tez Konusu	Simülasyon ve/veya Optimizasyon Yöntemleri
Aydemir (2009)	Yüksek lisans	Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu	- Genetik algoritma - Faborg-Sim (Bir proje kapsamında geliştirilen simülasyon yazılımı)
Kaya (2009)	Yüksek lisans	Bir Otomotiv Firmasında Yerleşim Alanının Simülasyon Kullanılarak Optimize Edilmesi	- Arena 10.0
Yıldız (2010)	Yüksek lisans	Benzetim Modellemesi ile Üretim Sistemlerinde Süreç Optimizasyonu ve Bir Uygulama Çalışması	- ProModel
Akcan (2010)	Doktora	Hastane Sistemlerinde Çoklu Malzeme Durumu için Simülasyon Meta-Modellemeye Dayalı Stok Optimizasyonu	- Tam sayılı nonlinear programlama(LINGO 8.0) - Arena - OptQuest
Güldoğan (2010)	Doktora	Efektif Konteyner Terminali Yönetiminde En İyileme ve Benzetim Modelleri	- Doğrusal olmayan programlama - Arena 11.0
Cağcağ (2010)	Yüksek lisans	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Beyin Cerrahisi Polikliniğinin İstatistiksel Simülasyonu ile Optimizasyonu	- MATLAB
Gül (2011)	Yüksek lisans	Servis Sistemlerinde Kaynakların Etkin Kullanılmasına Yönelik Benzetim Tabanlı Optimizasyon	- ServiceModel v.7
Yiğit (2012)	Doktora	Bir Ofis Mobilyası Üretim Sisteminin Simülasyon ile Analizi ve Optimizasyonu	- ProModel 4.22
Dosdoğru (2012)	Yüksek lisans	Genetik Algoritma Kullanılarak Benzetim Optimizasyonlu Dinamik Esnek Üretim Atölyesi Çizelgeleme	- Genetik algoritma - Arena
Uçan (2013)	Yüksek lisans	İstanbul Boğazı'nda Kılavuzluk Hizmeti Veren Kılavuz Kaptan Sayısının Simülasyon Yöntemiyle Optimizasyonu	- Arena
Çekici (2013)	Doktora	Müşteri Şikayet Değerlendirme Süreçleri için Kavramsal Bir Model ve Simülasyon Optimizasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi	- Arena - OptQuest - Kuyruk teorisi
Uncu (2014)	Doktora	Bilgisayar Ağ Topolojilerinde Kapasite ve Dolaşım Süresinin Simülasyon Optimizasyonu	- Arena 13.5 - OptQuest - Harmoni arama sezgiseli ve genetik algoritma (Delphi 7.0)
Şahin Macit (2015)	Yüksek lisans	Ambulans Yerleşimi için Bir Birleşik Optimizasyon ve Benzetim Yaklaşımı	- Tam sayılı programlama (GAMS) - Arena 14.7
Soyoğul (2016)	Yüksek lisans	Depolama Yeri Atama Problemine Bir Simülasyon-Optimizasyon Yaklaşımı: Otomotiv Üretiminde Bir Dağıtım Deposu ile ilgili Bir Vaka Çalışması	- MATLAB - GAMS - Gurobi
Gege (2018)	Yüksek lisans	İzmir'de Bir Hastanenin Acil Servis Departmanı için Bir Simülasyon Optimizasyonu Çalışması	- Arena - Yanıt yüzey metodolojisi

Bu bölümde öncelikle, yalnızca simülasyon yöntemi kullanılarak optimizasyonun yapıldığı çalışmalar incelenmiştir. Hatip (2001), Türkiye'nin doğu bölgesindeki birliklerin taleplerini karşılamak için kullanılan mevcut askeri boru hattı sistemini analiz etmek üzere simülasyon yöntemini kullanmıştır. Çalışmanın temel amaçları; mevcut sistemin davranışını anlamak, Savunma Bakanlığı'na sistemin kullanımı hakkında karar vermesinde yardımcı olmak, barış ve savaş şartlarında mevcut sistemdeki darboğazları tespit etmek, savaş şartlarında mevcut sistemin performansını optimize etmek ve alternatif sistemler geliştirmek ve uygulamak şeklindedir. Simülasyon modellemesinde AutoMod yazılımı kullanılmıştır. Senaryo analizleri yapılmış ve bazı senaryolarda AutoMod'un AutoStat modülü kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Etçioğlu (2009)'nun yapmış olduğu çalışmada; mobilya sektöründe hizmet veren bir işletmenin simülasyon yöntemiyle kapasite analizi yapılmış, sistemdeki darboğazlar tespit edilmiş ve mevcut sisteme öneriler getirilerek alternatif modeller geliştirilmiştir. Simülasyon modellemesinde Arena yazılımı kullanılmıştır. Kaya (2009), bir otomotiv firmasında yalnızca bir modele hizmet veren montaj hattının, aynı anda birden fazla modele hizmet verebilecek esnek bir hat haline getirilmesini amaçlamıştır. Sistemde bazı problemler tespit edilmiş ve bunların çözümü için iyileştirme önerileri yapılmıştır. İyileştirmelerin yaratacağı performans artışını görmek ve karar değişkenlerinin optimum değerini bulmak için Arena yazılımı kullanılarak simülasyon çalışması yürütülmüştür. Yıldız (2010), yedek parça üretimi yapan bir firmaya ait üretim sisteminin simülasyonunu yapmıştır. Kapasite kullanımının arttırılması, üretim parti boyutlarının optimize edilmesi ve vardiya sisteminin değiştirilmesi ile firmaya ait maliyetin minimum, karın maksimum yapılmasını hedeflemiştir. Simülasyon modellemesinde ProModel yazılımı kullanılmış ve senaryo analizleri gerçekleştirilmiştir. Çağcağ (2010), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi'ndeki beyin cerrahisi bölümünde, doktor sayısının arttırılmasıyla hastaların bekleme süresinin azaltılmasını ve polikliniğin çalışma saatinin arttırılmasıyla hizmet verilen hasta sayısının arttırılmasını hedeflemiştir. Sistemin simülasyonu için MATLAB kullanılmıştır. Doktor sayısı ve çalışma saatleri ile ilgili çeşitli senaryolar üretilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Değerlendirmeler neticesinde optimal doktor sayısı belirlenmiştir. Gül (2011), Elazığ'daki bir hastanenin acil departmanı için ortalama

hasta kalış uzunluğunun azaltılması, birim zamanda taburcu edilen hasta sayısının artırılması ve kaynakların etkin kullanımının artırılmasını hedeflemiştir. Ayrıca, bu amaçların hangi personel düzeyinde oluştuğunu belirlemeye çalışmıştır. ServiceModel v.7 yazılımı ile hastanenin simülasyon modeli oluşturulmuştur. Senaryolar geliştirilmiş ve sistemdeki iyileştirmeler incelenmiştir. Yiğit (2012), bir ofis mobilyası üretim sisteminin simülasyon modellemesini yapmayı, sistemin verimliliğini ölçmeyi ve verimliliği arttıracak öneriler sunmayı amaçlamıştır. Simülasyon modellemesinde ProModel 4.22 kullanılmıştır. Sistemdeki problemlere dair iki öneride bulunulmuştur. Bu önerilerden elde edilen bulgular mevcut durum ile karşılaştırılmış ve iyileşmeler tespit edilmiştir. Uçan (2013), İstanbul Boğazi'nda verilen kılavuzluk hizmetinin optimizasyonuna yönelik gerekli insan kaynağının belirlenmesini hedeflemiştir. Arena yazılımı ile sistemin simülasyon modeli kurulmuş ve çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, kılavuz kaptan sayısının optimizasyonuna yönelik olarak, kılavuzluk hizmeti alan gemi sayısı ve kılavuz kaptan sayıları değiştirilmiş, diğer değişkenler sabit tutulmuştur.

Simülasyon yazılımları ile birlikte optimizasyon yöntemlerinin de kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Gündüz (2005), bir fabrikada darboğaz oluşturan uçlama atölyesinde işlem gören tesisatların maksimum tamamlanma zamanını minimize etmek üzere en uygun tesisat sırasını belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada, en uygun tesisat sırasının bulunması amacıyla çoklu iniş algoritması, tavlama benzetimi ve tabu arama algoritmaları C++ ile geliştirilmiştir. Ayrıca, Arena 6.0 yazılımı ile sistemin simülasyon modeli oluşturulmuştur. Algoritmalar ile bulunan her aday çözüm bu modelde değerlendirilmiş ve ilgili tesisat sırası için maksimum tamamlanma zamanı tahmin edilmiştir. Tekkanat (2007), Eskişehir-Topçular arasındaki arabalı vapur hattında haftanın bazı günlerinde uzun kuyruklar oluştuğunu belirtmiş ve sistemdeki birtakım darboğazlardan bahsetmiştir. Çalışmada, bu hattın simülasyon modeli oluşturulmuş ve model üzerinde bazı alternatif senaryolar denenerek sistemin performansında iyileştirme alternatifleri araştırılmıştır. Modelin oluşturulmasında, AutoMod 11.1 simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Genetik algoritmalar ve simülasyon modelleri yardımıyla, genel amaçlı bir karar verme algoritması oluşturulmuştur. Aydemir (2009), atölye tipi çizelgeleme problemlerinde iş akış planında yer alan işlemlerin toplam tamamlanma zamanını veya en son işin

sistemden ayrılma zamanını minimize etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma yaklaşımıyla bir yazılım modülü geliştirilmiştir. Bu yazılım modülü ise, proje kapsamında geliştirilen bir simülasyon yazılımına entegre edilmiştir. Çeşitli testlerin simülasyonu gerçekleştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Akcan (2010), hastanelerde kullanılan tıbbi malzemeler ile ilgili olarak toplam malzeme maliyetini minimum yapacak optimum sipariş miktarı ve optimum tekrar sipariş verme noktasının belirlenmesini hedeflemiştir. Optimizasyon, hem simülasyon meta-modelleme yoluyla hem de simülasyon optimizasyonu yoluyla gerçekleştirilmiştir. Simülasyon modellemesinde Arena yazılımı kullanılmıştır. İlk yöntemde, deney setlerine göre simülasyon çalıştırılmış ve çıktılarına regresyon analizi uygulanarak matematiksel modellemede kullanılacak kısıt denklemleri elde edilmiştir. Matematiksel modelin çözümü LINGO 8.0 programı ile yapılmıştır. İkinci yöntemde ise, Arena yazılımının optimizasyon aracı olan OptQuest kullanılarak simülasyon optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Güldoğan (2010), konteyner terminalinde rıhtım tahsisi, rıhtım vinci atama ve ithalat konteyner depolama alanı tahsisi problemleri üzerinde durmuştur. Rıhtım atama ile vinç atamalarını eş zamanlı olarak gerçekleştiren matematiksel bir model (doğrusal olmayan programlama) geliştirmiştir. Önerilen optimizasyon modeli, gemilerin elleçleme sürelerinin minimum olmasını amaçlamaktadır. Modelin uygulamadaki etkilerini inceleyebilmek için İzmir Limanı'na yönelik bir uygulama yapılmıştır. Daha sonra, depolama alanı tahsisini kapsayan ithalat konteyner elleçleme problemine yönelik olarak, İzmir Limanı'ndaki konteyner terminalinin bir simülasyon modeli (Arena) geliştirilmiştir. Dosdoğru (2012), dinamik ve stokastik bir esnek atölye tipi çizelgeleme probleminde, tüm parçaların toplam ortalama akış süresini en aza indirmek için bir metodoloji geliştirmeyi amaçlamıştır. Önerilen metodoloji, optimizasyon ve simülasyon olarak iki ardışık aşamadan oluşmaktadır. Optimizasyon aşamasında genetik algoritma geliştirilmiştir. Genetik algoritma simülasyon ile entegre edilmiştir. Genetik algoritmanın çıktıları, sistemin performansını tahmin etmek için girdiler olarak simülasyon modeline (Arena) beslenmiştir. Çekici (2013); müşteri şikayet değerlendirme sisteminin ana süreçlerindeki darboğazların tespit edilmesi, çözüm için optimum süreçlerin ve kaynakların atanmasını araştırmıştır. Şikayet sistemindeki ana süreçler tespit edilmiş

ve bunların zaman dağılımları simülasyon modelinin kurulmasında (Arena yazılımı) kullanılmıştır. Model farklı girdiler ile çalıştırılarak müşteri memnuniyetine yönelik çözüm süreleri sağlayan yeni bir sistem belirlenmiştir. Birim şikayet kapatma maliyetini minimum yapacak optimum eleman sayısı Arena'nın OptQuest optimizasyon modülü ile belirlenmiştir. Ek olarak, birim şikayet kapatma ile ilgili maliyet problemi matematiksel model (kuyruk sistemi) kurularak çözülmüş ve simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, simülasyon ve optimizasyon sonuçlarının geçerliliği anket ile test edilmiştir.

Uncu (2014), bilgisayar ağları kapasite belirleme ve mesaj dolaşım süresi belirleme problemleri üzerinde durmuştur. Çalışmada, simülasyon yöntemi ve optimizasyon tekniklerinden harmoni arama sezgiseli ile genetik algoritma kullanılmıştır. Simülasyon modellemesinde Arena yazılımı kullanılmış, algoritmalar ise Delphi ile yazılmıştır. Optimizasyon algoritmaları ile simülasyonun birlikte çalışması için iki program arasında dosya alışverişi sağlanmıştır. Ayrıca, ele alınan problemler OptQuest ile çözülmüş ve çözümler karşılaştırılmıştır. Şahin Macit (2015); ambulans filosunun büyüklüğü, istasyonların konumları ve ambulansların istasyonlara tahsisi ile ilgili olarak yeni bir birleşik optimizasyon ve simülasyon yaklaşımı önermiştir. Matematiksel model, bir tam sayılı programlama olarak formüle edilmiş ve GAMS kullanılarak kodlanmıştır. Simülasyon modeli ise Arena yazılımı ile oluşturulmuştur. Çalışmada önerilen yaklaşım, Adana şehrine ait veriler ile test edilmiş ve sonuçlar şehrin mevcut ambulans yerleşimi ile karşılaştırılmıştır. Soyoğul (2016), farklı özellikteki ürünlerin depolama alanlarına atanması üzerinde durmuştur. Çalışmada, stok atama problemi için bir simülasyon-optimizasyon yaklaşımı geliştirilmiştir. Simülasyon modeli, optimizasyon modeline girdi parametresi üretmek için kullanılmıştır. Optimizasyon modeli, her ürün için beklenen toplam kat edilen mesafeyi minimize edecek depolama atamasını gerçekleştirmektedir. Simülasyon modelinin geliştirilmesinde MATLAB kullanılmıştır. Optimizasyon modeli GAMS kullanılarak kodlanmış ve karma tam sayılı programlama problemleri Gurobi ile çözülmüştür. Gege (2018); İzmir'de bulunan bir hastanenin acil servis departmanı için, hastaların ortalama genel akış süresini (kalış süresi) minimize ederken ve doktorların ve hemşirelerin kullanım oranlarını hedeflenen seviyelerde tutarken, kaynakların en uygun tahsisini bulmayı

hedeflemiştir. İlk olarak, Arena yazılımı kullanılarak sistemin simülasyon modeli geliştirilmiştir. Daha sonra, simülasyon modelinden elde edilen veriler metamodeller oluşturmak için kullanılmıştır. Son olarak, Derringer-Suich çoklu yanıt optimizasyon prosedürü uygulanmıştır.

2.3.2. Römorkörcülük Hizmetlerinde Simülasyon ve Optimizasyon Çalışmaları

Bu kısımda, römorkörcülük hizmetleri ile ilgili olarak simülasyon veya optimizasyon yöntemleri kullanılarak yapılmış çalışmalar incelenmektedir. Aşağıdaki anahtar kelimeler birlikte kullanılarak gelişmiş tarama yapılmıştır:

- “Tug” ve “simulation”
- “Tug” ve “optimization”
- “Tugboat” ve “simulation”
- “Tugboat” ve “optimization”
- “Towage” ve “simulation”
- “Towage” ve “optimization”

Literatür taraması sonucu elde edilen çalışmalar; yazar/yıl, çalışmanın konusu ve çalışmada kullanılan simülasyon ve/veya optimizasyon yöntemleri şeklinde Tablo 7’de özetlenmektedir.

Tablo 7: Römorkörcülük Hizmetleri ile ilgili Literatür Taraması

Yazar/Yıl	Çalışmanın Konusu	Simülasyon ve/veya optimizasyon yöntemleri
Jaikumar ve Solomon (1987)	Nehir sisteminde römorkör sayısının minimizasyonu	Polinomial algoritma
Wang ve Meng (2006)	Römorkör çizelgeleme	Geliştirilmiş bir karınca kolonisi algoritması
Wang ve Meng (2007)	Römorkör tahsisi	Genetik algoritma ve karınca kolonisi algoritmalarının birlikte kullanımı
Özbaş ve Or (2007)	İstanbul Boğazı’ndaki transit trafiğin simülasyon ile analizi	Arena 9.0 simülasyon yazılımı
Yan ve diğerleri (2009)	Römorkör çizelgeleme	Geliştirilmiş bir parçacık sürü optimizasyonu algoritması
Liu (2009)	Römorkör çizelgeleme	Evrimsel algoritma

Tablo 7: Römorkörcülük Hizmetleri ile ilgili Literatür Taraması (Devamı)

Yazar/Yıl	Çalışmanın Konusu	Simülasyon ve/veya optimizasyon yöntemleri
Tao ve Wenwen (2010)	Römorkör çizelgeleme	Evrimsel algoritma
Wang ve diğerleri (2010)	Römorkör çizelgeleme	Geliştirilmiş bir ayırık kaos parçacık sürü optimizasyonu algoritması
Wenhui (2011)	Römorkör tahsisi	Evrimsel algoritma
Wang ve diğerleri (2012)	Römorkör çizelgeleme	Geliştirilmiş bir güven tabanlı karınca kolonisi optimizasyonu algoritması
Wang ve diğerleri (2012)	Römorkör atama	Karma tamsayı programlama
Xu ve diğerleri (2012)	Römorkör çizelgeleme	Benzetilmiş tavlama tabanlı bir karınca kolonisi algoritması
Nas (2013)	Römorkörler için en uygun park yerlerinin belirlenmesi	ProModel simülasyon yazılımı
Shahpanah ve diğerleri (2014)	Gemi bekleme süresinin azaltılması	Arena 13.5 simülasyon yazılımı
Wang ve diğerleri (2014)	Römorkör atama	Geliştirilmiş bir ayırık parçacık sürü optimizasyonu algoritması
Uğurlu ve diğerleri (2014)	Botaş Ceyhan Deniz Terminali'nin simülasyon ile analizi	AweSim simülasyon yazılımı
Ilali ve diğerleri (2014)	Entegre liman kaynak tahsisi	Enterprise Dynamics simülasyon yazılımı, Evrimsel Algoritma
Bye ve Schaathun (2015)	Römorkör filosunun dinamik olarak konumlandırılması	Uzaklaşan ufuk ("receding horizon") genetik algoritması
Uğurlu ve diğerleri (2015)	Tüpraş İzmit Tanker Terminali'nin simülasyon ile analizi	AweSim simülasyon yazılımı
Nas ve diğerleri (2016)	Römorkörcülük hizmeti yetki sahalarında römorkör sayısının simülasyon ile analizi	ProModel simülasyon yazılımı
Wang ve diğerleri (2018)	Liman alanının römorkör yapılandırmasına etkisi	Arena simülasyon yazılımı

Tablo 7'den de görüldüğü üzere, optimizasyon algoritmaları kullanılarak yapılan çalışmaların çoğunlukla liman veya terminallerde römorkör çizelgeleme, atama, tahsis problemleri üzerinde durduğu tespit edilmiştir. Simülasyon çalışmalarına bakıldığında ise, bazı simülasyon yazılımları kullanılarak terminal/liman modellemeleri, boğaz trafiği modellemesi ve analizlerinin yapıldığı tespit edilmiştir.

2.3.2.1. Römorkörcülük Hizmetlerinde Optimizasyon Çalışmaları

Römorkörcülük hizmetleri ile ilgili gerçekleştirilen optimizasyon çalışmalarını inceleyecek olursak; Yan ve diğerleri (2009), römorkör çizelgeleme problemi için geliştirilmiş bir parçacık sürü optimizasyonu algoritması önermiştir. Çalışmada, standart ve geliştirilmiş algoritmalar, Tianjin Limanı'ndaki gerçek römorkör verileri üzerinde ayrı ayrı test edilmiştir. Önerilen algoritma, römorkör çizelgeleme probleminde başarıyla kullanılmakta ve standart parçacık sürü optimizasyonundan daha hızlı yakınsama ve daha iyi sonuç avantajlarını göstermektedir. Liu (2009) da römorkör çizelgeleme problemi üzerinde durmuştur. Bu çalışmada, problemin optimizasyonu için yerel arama stratejisine dayanan evrimsel algoritma kullanılmıştır. Sonuçlar, algoritmanın etkili ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Tao ve Wenwen (2010), römorkör operasyonunun özelliklerine göre römorkör çizelgeleme problemi üzerine bir çalışma yapmıştır. Problemi bir tür özel paralel makine çizelgeleme problemi olarak tanımlamışlardır. Tao ve Wenwen, Liu tarafından yapılan çalışmaya benzer olarak evrimsel algorithmadan yararlanmıştır. Bu algoritma etkili bir çözüm sağlamıştır. Wang ve diğerleri (2010), bir römorkör çizelgeleme modeli önermiş ve bu problemin çözümü için geliştirilmiş bir ayrık kaos parçacık sürü optimizasyonu algoritması uygulamıştır. Bu çalışmada, Çin'de bulunan bir konteyner terminali için römorkör çizelgeleme problemi ile ilgili bir senaryo yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, temel parçacık sürü optimizasyonu ile karşılaştırıldığında, çalışmada geliştirilen ayrık kaos parçacık sürü optimizasyonunun römorkör kullanım oranını ve konteyner terminallerinin verimliliğini iyileştirebileceğini göstermiştir. Wenhui (2011), limanda römorkörlerin tahsisi için sezgisel bir simülasyon ve optimizasyon sistemi geliştirmiştir. Çalışmada, optimizasyon algoritmasını oluşturmak için evrim stratejisi kullanılmıştır. Geliştirilen simülasyon yazılımı, liman römorkörlerinin optimal tahsisi için karar verme desteği sağlamıştır. Xu ve diğerleri (2012), römorkör çizelgeleme problemini çok işlemcili bir görev çizelgeleme problemi olarak formüle etmiştir. Çalışmada, bir limandaki tüm römorkörlerin toplam çalışma sürelerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için, benzetilmiş tavlama tabanlı bir karınca kolonisi algoritması önerilmiştir.

Wang ve Meng (2006), ekipman çizelgelemenin konteyner terminallerinde en önemli prosedür olduğunu ve bu problem üzerinde simülasyon ve optimizasyon yöntemiyle çalışılması gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada, ekipman çizelgeleme için bütünleşik bir simülasyon ve optimizasyon çerçevesi ve simülasyon modelleri için ajan temelli yeni bir yöntem önerilmiştir. Ardından, bazı Çin konteyner terminallerinde römorkör çizelgeleme problemlerini çözmek için, gömülü bir optimizasyon yöntemi olarak karınca kolonisi optimizasyonu uygulanmıştır. Diğer bir çalışmada Wang ve Meng (2007), konteyner terminallerinde kaynak tahsisi ve çizelgeleme problemi için genetik algoritma ve karınca kolonisi optimizasyonunu birleştiren yeni bir sezgisel yöntem geliştirmiştir. Çalışmada, konteyner terminallerinde römorkör tahsisi optimizasyonunun performansı incelenmiş ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Wang ve diğerleri (2012), konteyner terminallerinde römorkör çizelgelemenin önemli bir karar problemi olduğuna değinmiştir. Çalışmada, römorkör çizelgelemesinin matematiksel bir modeli önerilmiş ve en iyi çizelgeleme planını elde etmek için geliştirilmiş bir güven tabanlı karınca kolonisi optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Simülasyon deneyinin sonuçları, güven tabanlı karınca kolonisi optimizasyonunun konteyner terminallerinde römorkör çizelgeleme problemi için uygun olduğunu ve temel karınca kolonisi optimizasyonundan daha iyi performans elde edebileceğini göstermiştir.

Wang ve diğerleri (2012), konteyner terminallerinde römorkör atama problemini araştırmıştır. Bu problem için, çizelgeleme kuralı ile birleştirilmiş bir karma tamsayılı programlama modeli formüle edilmiştir. Özellikle büyük römorkörlerin sayısı arttıkça, gemilere verilen hizmetin tamamlanma süresinin azalabileceği bulunmuştur. Küçük beygir gücüne sahip römorkör sayısının arttırılmasının, konteyner terminallerinin verimliliği üzerinde daha az etkiye sahip olabileceği tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada Wang ve diğerleri (2014); karma bir çizelgeleme kuralı altındaki römorkör atama probleminin, birden fazla römorkör ve gemi arasındaki atamanın belirlenmesi ve gemilere verilen römorkörcülük hizmetinin tamamlanma süresini en aza indirmek için gemilerin çizelgeleme sırasının belirlenmesi olduğundan bahsetmiştir. Bu problem için bir karma tamsayılı programlama modeli ve çizelgeleme metodu tanımlanmıştır. Ardından, geliştirilmiş

bir ayrık parçacık sürü optimizasyonu algoritması önerilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın genetik algoritma ve temel ayrık parçacık sürü optimizasyonu algoritmasından daha iyi çözümler sağlayabildiğini göstermiştir.

Yukarıda bahsedilen optimizasyon çalışmaları, bir liman veya terminal bölgesinde hizmet veren römorkörlerin çizelgeleme, atama veya tahsis problemleri üzerinde durmaktadır. Farklı problemlerin ele alındığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bye ve Schaathun (2015), Kuzey Norveç kıyı şeridinde petrol tankeri sürüklenme kazalarının riskini azaltmak amacı ile bir römorkör filosunun dinamik olarak konumlandırılması problemini ele almıştır. Çalışmada, römorkör filo optimizasyon problemi tek boyutlu bir model olarak tanımlanmış ve bunun çözümü için bir uzaklaşan ufuk(“receding horizon”) genetik algoritması sunulmuştur. Algoritma, her bir konfigürasyonun etkin bir şekilde benzersiz bir römorkör filo optimizasyon algoritması oluşturduğu bir dizi maliyet fonksiyonuyla yapılandırılabilir. Bu tür algoritmaların performansını ölçmek için iki değerlendirme sezgiseli önerilmiş ve bunlar hesaba dayalı bir simülasyon çalışmasıyla test edilmiştir. Başka bir çalışmada Jaikumar ve Solomon (1987), bir nehir sistemindeki farklı limanlar arasında belirli sayıda mavnanın taşınması için gerekli römorkör sayısının en aza indirilmesi problemini incelemiştir. Problem, bir araç rotalama problemi olarak görülmüş ve bu nedenle rotalama sezgiselleri kullanılmıştır. Problemin çözümü için bir polinomial algoritma geliştirilmiştir.

2.3.2.2. Römorkörcülük Hizmetlerinde Simülasyon Çalışmaları

Yalnızca römorkörcülük hizmetleri üzerinde duran simülasyon çalışmaları olduğu gibi, içerisinde farklı problemlerle birlikte römorkörcülük hizmetlerinin de incelenmiş olduğu çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda Arena, ProModel, AweSim ve Enterprise Dynamics simülasyon yazılımlarının kullanıldığı görülmektedir.

Tamamen römorkörcülük hizmetlerine odaklanan çalışmalara bakıldığında, Nas (2013), Türkiye’de bulunan bir limanda kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetleri sağlayan bir teşkilata ait iki adet römorkörün optimum park yerlerinin belirlenmesini araştırmıştır. Çalışmada simülasyon modellemesi için ProModel yazılımı

kullanılmıştır. En uygun park yerlerinin belirlenmesinde, römorkörlerin park yerinden hizmet verme noktasına gidiş süresi ve hizmet verildikten sonra park yerine dönüş süresi toplamının optimizasyonuna gidilmiştir. Sonuç olarak, iki römorkör için seyir süresinin en az olmasını sağlayan park yerleri belirlenmiştir. Başka bir çalışmada Nas ve diğerleri (2016), bir limandaki deniz trafiğine ait bağımsız değişkenin, römorkör sayısına ait bağımlı değişken üzerindeki etkisinin incelenebileceği bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Simülasyon modelinin oluşturulmasında ProModel yazılımı kullanılmıştır. Limana gelen gemi sayısındaki ve limanda hizmet veren römorkör sayısındaki değişimlerde, römorkörlerin boşa kalma süreleri incelenmiştir. Shahpanah ve diğerleri (2014) ise, konteyner terminallerinin yanaşma alanlarında römorkör operasyonları için gemilerin bekleme süresine odaklanmış ve ortalama bekleme süresini azaltmak için römorkörcülük operasyonundaki kuyruk problemini çözmeye çalışmıştır. Veriler, Malezya’da bulunan büyük bir konteyner terminalinden toplanmıştır. Terminalin modellenmesinde Arena 13.5 simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Farklı senaryolar test edilmiş ve bu senaryoların uygulanmasının ardından ortalama gemi bekleme süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada Wang ve diğerleri (2018); yeterli su yolu olması durumunda, liman alanının, limanda hizmet verilen gemilerin tonajını ve boyutunu doğrudan etkilediğini ve bunun da limanda römorkör yapılandırmasında daha fazla talebe yol açtığını belirtmiştir. Limanın farklı elleçleme kapasitesi koşullarında gerekli olan en uygun römorkör sayısını incelemek üzere, Arena yazılımı kullanılarak, limana giren ve limandan ayrılan gemilerin işleyiş sisteminin bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucu, belirli bir aralıkta, liman elleçleme kapasitesinin gelişmesiyle römorkörlere olan talebin arttığını göstermiştir. Ancak, elleçleme kapasitesi belirli bir değere ulaştığında, römorkör sayısının artmasının, liman elleçleme kapasitesinin iyileştirilmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Bazı çalışmalarda römorkörcülük hizmetleri, temel araştırma konusu olmayıp, farklı problemlerle birlikte çalışma içerisinde incelenmiştir. Özbaş ve Or (2007); kurallar ve düzenlemeler, römorkör ve kılavuz kaptan sayısı, gemi tipi, trafik yoğunluğu ve meteorolojik koşullar gibi faktörlerin İstanbul Boğazi’ndeki deniz trafiği üzerindeki etkilerini analiz etmek üzere bir simülasyon çalışması yapmışlardır.

Boğaz'daki transit trafiğin simülasyon modellemesi için Arena yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en önemli faktörün, kılavuz kaptan ve römorkör sayısı olduğu tespit edilmiştir. Uğurlu ve diğerleri (2014), BOTAŞ Ceyhan Deniz Terminali'nin elleçleme kapasitesi ve kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Terminal; gelen gemilerin sayısı, yanaşma için kuyruk değerleri, yanaşma için gemi bekleme süreleri, limanın kullanılabilirlik değerleri açısından ve ayrıca römorkörcülük hizmeti için kuyruk değerleri, gemilerin römorkörcülük hizmeti almak için beklediği süre ve toplam römorkör etkinliği açısından incelenmiştir. Simülasyon modellemesi için AweSim yazılımı kullanılmıştır. İncelenen senaryolarda, rıhtım ve römorkörcülük-kılavuzluk hizmetleri açısından terminalde yoğun bir sıkışıklık yaşanmayacağı sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışmada Uğurlu ve diğerleri (2015), Tüpraş İzmit Tanker Terminali'nin elleçleme kapasitesini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, terminalin kapasitesini değerlendirmek ve römorkörcülük hizmetleri bakımından oluşabilecek kuyruk miktarını belirlemek için AweSim simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Çalışma verileri kullanılarak, olumsuz hava ve deniz koşullarının olduğu günler için, römorkörcülük hizmetlerinde oluşabilecek maksimum kuyruk miktarı hesaplanmıştır. İlati ve diğerleri (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, simülasyon ve optimizasyon yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Çalışmada rıhtım tahsisi, römorkör tahsisi ve rıhtım vinci atamasının eşzamanlı optimizasyonunu ele alan entegre bir karar problemi incelenmiştir. Liman kaynak tahsisi probleminin bütünlük simülasyon modellemesi (Enterprise Dynamics yazılımı kullanılarak) yapılmış ve probleme iyi bir çözüm sağlamak için bir evrimsel algoritma önerilmiştir. Önerilen simülasyon tabanlı optimizasyon yapısı, İran'da bulunan bir konteyner terminalinde test edilmiştir.

Römorkörcülük hizmeti sağlayacak olan bir teşkilat, bu hizmetteki kaynaklar olan römorkörlerin maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle, yüksek yatırım maliyetleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Teşkilatların hizmet verecekleri liman sahasına ait değişkenleri dikkate alarak en uygun sayıda römorkörü elinde tutması önemlidir. Yetersiz sayıda römorkörle verilecek olan hizmet, gemilerin bekleme sürelerinin artmasına neden olacaktır. Gereğinden fazla sayıda römorkör bulunması ise, yatırım ve işletme maliyetlerinin artmasına ve römorkörlerin boşa kalması

sonucunda kaynak israfına yol açacaktır. Römorkörcülük hizmetleri konusunda yapılmış olan simülasyon ve optimizasyon çalışmalarına bakıldığında, bir liman bölgesine ait değişkenlere göre uygun kaynak kullanımlarının tespit edildiği, her limana uyarlanabilecek bir model ortaya koyan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu tezde, literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi hedeflenmiştir.

Tezde incelenecek olan değişkenler, ilgili literatür dikkate alınarak belirlenmiştir. Nas ve diğerleri (2016), bir liman bölgesindeki deniz trafiğine ait bağımsız değişken olan gelen gemi sayısının, bağımlı değişken olan römorkör sayısı üzerindeki rassal etkilerini incelemiştir. Çalışmada, yetki sahası boyutlarına göre belirlenmiş hizmet düzeyini sağlayacak römorkör sayısının tespitinin, verimlilik açısından oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmadan esinlenerek belirlenen değişkenler, gelen gemi sayısı ve römorkör sayısıdır. Nas (2013) tarafından optimum römorkör park yerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma incelenmiştir. Teşkilatların hizmet verdikleri sahanın büyüklüğünün, hizmet kalitesi açısından önemli bir faktör olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Nas (2013) tarafından yapılan çalışma dikkate alınarak belirlenen değişken saha büyüklüğüdür. Shahpanah ve diğerleri (2014), gemi bekleme süresinin bir limanın rekabet avantajında önemli olduğunu belirtmiş ve konteyner terminallerinde gemilerin römorkörcülük hizmeti için bekleme süresine odaklanmıştır. Römorkör sayısını arttırarak gemilerin bekleme süresini azaltmaya çalışmışlardır. Bu çalışmadan esinlenerek belirlenen değişkenler, gemilerin bekleme süresi ve römorkör sayısı olmuştur. Uğurlu ve diğerleri (2014) tarafından mevcut bir terminalin simülasyon yöntemi ile analiz edildiği çalışmada, terminal pek çok açıdan incelenmiş olup, gemilerin römorkörcülük hizmeti almak için beklediği süre de bunlardan biridir. Bu çalışma dikkate alınarak belirlenen değişken, gemilerin bekleme süresidir. Sonuç olarak, bu tezde incelenmek üzere belirlenen değişkenler; gelen gemi sayısı, römorkör sayısı, saha büyüklüğü ve gemilerin bekleme süresidir. Tezde incelenecek olan değişkenler ve bu değişkenlerin hangi çalışmadan esinlenerek belirlendiği Tablo 8’de özetlenmektedir.

Tablo 8: Tezde İncelenecek Olan Değişkenler ve Esinlenilen Çalışmalar

Değişken	Çalışma	Nas ve diğerleri (2016)	Nas (2013)	Shahpanah ve diğerleri (2014)	Uğurlu ve diğerleri (2014)
Gelen gemi sayısı		✓			
Römorkör sayısı		✓		✓	
Saha büyüklüğü			✓		
Gemilerin bekleme süresi				✓	✓

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

LİMAN RÖMORKÖRCÜLÜK HİZMETLERİ İLE İLGİLİ BİR SİMÜLASYON MODELİ

Bu bölüm tezin uygulama kısmından oluşmaktadır. Öncelikle araştırmanın amacı, önemi, süreci ve yönteminden bahsedilmektedir. Sonrasında, yapılan araştırma detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

Teknik seyir hizmetleri kapsamında yer alan römorkörcülük hizmetlerinin verimliliği, bu hizmeti sağlayacak olan kuruluşların hizmet kalitesi, işletme maliyetleri, seyir emniyeti ve çevre koruma açısından oldukça önemlidir. Verimliliği etkileyen faktörler arasında; hizmet sahasının büyüklüğü, kuruluşun elinde bulunan römorkörlerin sayısı ve çekme kuvvetleri, liman bölgesine gelen gemilerin sayısı ve teknik özellikleri, römorkörlerin gemilerin hizmet talebine cevap verme süresi, römorkörlerin park yerleri, manevra sahası ve yanaşma yerlerinin teknik özellikleri, liman bölgesindeki meteorolojik koşullar, akıntılar vb. sayılabilir.

Bu çalışmada; liman römorkörcülük hizmetlerinde kaynakların etkin şekilde kullanımını belirlemeye yönelik bir simülasyon modeli geliştirilmesi ve bu modelin çeşitli senaryolar eşliğinde yürütülmesi sonucunda elde edilecek olan bulgu ve sonuçların, römorkörcülük hizmeti sağlayacak kuruluşlar ve İdare için bir karar destek görevi görmesi hedeflenmektedir. Bağımsız değişkenler olarak belirlenen *gelen gemi sayısı*, *saha büyüklüğü*, *römorkör sayısı* ile bağımlı değişkenler olarak belirlenen gemilerin *açıkta bekleme süresi* ve *terminalde bekleme süresi* arasındaki ilişkilerin matematiksel denklemlerinin ortaya konulması; farklı koşullar ve kısıtlardan oluşan çeşitli durumlar için en uygun kaynak kullanımlarının tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Araştırmada, her limana uyarlanabilecek teorik bir simülasyon modeli geliştirmeye çalışılmıştır. Geliştirilen model liman römorkörcülük hizmetleri ile ilgili bir modeldir. Eskort hizmetleri, açık deniz römorkörcülük hizmetleri vb. diğer römorkörcülük hizmetlerini kapsamamaktadır.

3.2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Römorkörcülük hizmetleri ile ilgili literatür incelendiğinde, yapılan çalışmaların çoğunlukla römorkör çizelgeleme, atama/tahsis problemlerinde optimizasyon konusu üzerinde durduğu görülmüştür. Simülasyon çalışmalarında ise, belli bir liman veya terminalin çeşitli yazılımlar ile modellenerek analiz edildiği tespit edilmiştir. Literatürde, römorkörcülük hizmetleri ile ilgili olarak, her liman için kullanılabilecek sonuçlar ortaya koyan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak, genel bir limandaki römorkörcülük hizmetleri ile ilgili kuyruk problemi simülasyon yöntemi ile modellenmiş ve her limana uyarlanabilecek bir model ortaya koymaya çalışılmıştır. Gelen gemi sayısı, saha büyüklüğü ve römorkör sayısı değişkenlerinin çeşitli kombinasyonlarından oluşan her bir durum için, gemilerin bekleme süreleri açısından en uygun kaynak kullanımları tespit edilmiştir.

Araştırmada, liman römorkörcülük hizmeti sağlayacak olan kuruluşlara, değişen gemi sayıları ve saha büyüklüklerinde ellerinde bulundurması gereken minimum römorkör sayıları hakkında bir fikir vermeye çalışılmıştır. Ayrıca, kuruluşların sahip olabileceği belli sayıdaki römorkörle, gemi sayısının değiştiği çeşitli durumlarda, hizmet verebilecekleri maksimum saha büyüklükleri ile ilgili tespitler yapılmıştır.

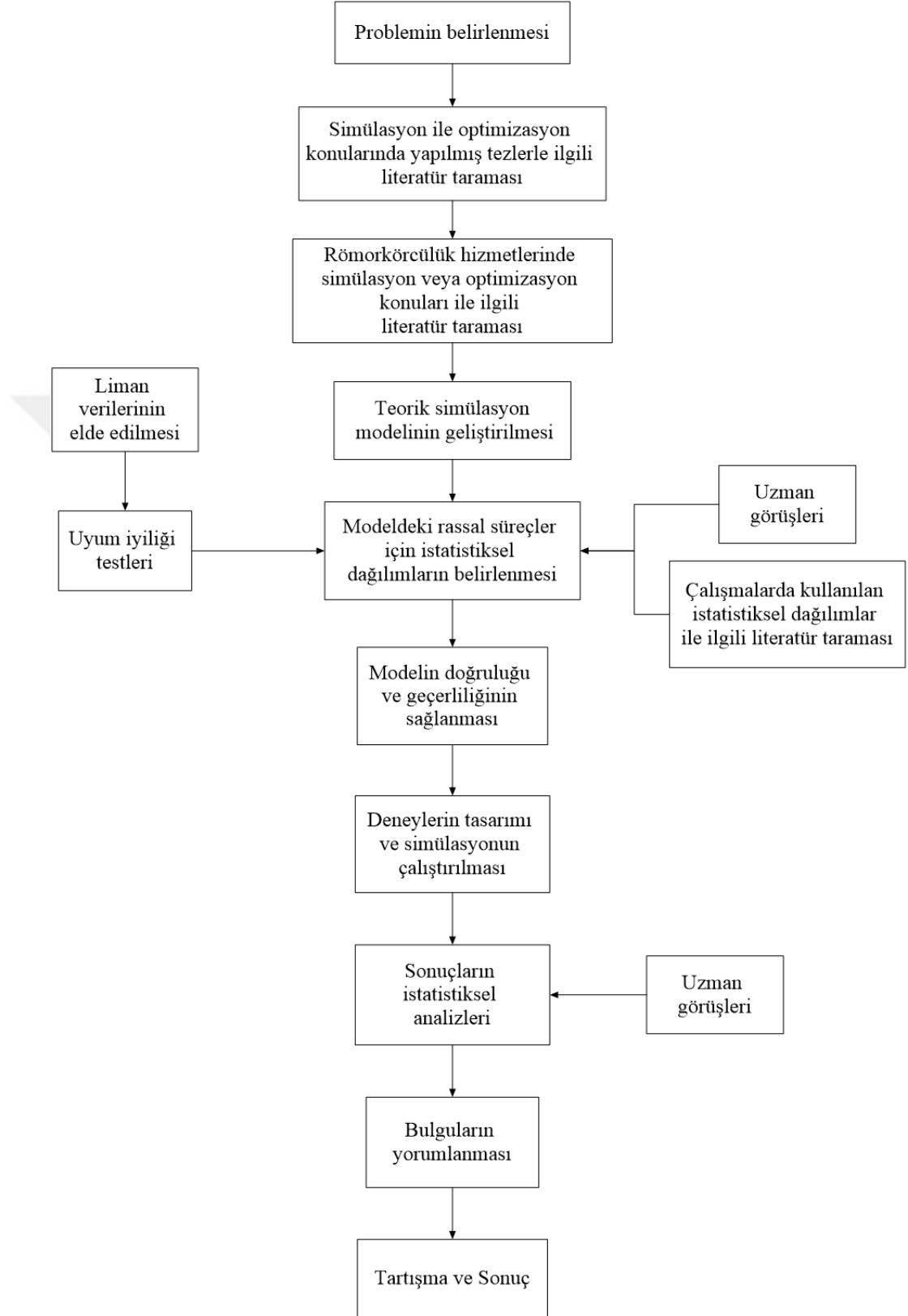
Ayrıca, araştırma sonuçlarının, liman römorkörcülük hizmetleri hakkında yapılacak olan düzenlemelerde İdare için bir karar desteği sağlayabileceği düşünülmektedir.

3.3. ARAŞTIRMANIN SÜRECİ

Araştırmanın amacı ve kapsamı doğrultusunda izlenen süreçler Şekil 29'da gösterilmektedir. Öncelikle, araştırmanın problemi ortaya konulmuş ve bu problemin nasıl çözüleceği ele alınmıştır. Simülasyon yöntemi ile optimizasyona gidilen tez çalışmaları ve simülasyon ile optimizasyon yöntemlerinin bir arada ele alındığı tez çalışmaları incelenmiştir. Daha sonra, araştırmanın konusu ile ilgili olarak römorkörcülük hizmetlerinde simülasyon veya optimizasyon yöntemlerinin

kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Ardından, araştırma probleminin modellenebileceği uygun bir simülasyon yazılımında liman römorkörcülük hizmeti ile ilgili teorik bir model geliştirilmiştir. Modeldeki rassal süreçleri temsil edebilecek istatistiksel dağılımların tespiti için uzman görüşlerine başvurulmuş, çalışmalarda kullanılan istatistiksel dağılımlar incelenmiş ve Türkiye’deki 3 farklı limana ait gemi operasyonları ile ilgili veriler elde edilmiştir. Liman verilerine uyum iyiliği testleri uygulanarak kullanılabilecek dağılımlar incelenmiştir. Modelde kullanılacak dağılımlar belirlendikten sonra, modelin doğruluğu ve geçerliliği sağlanmıştır. Modelin kurulumu tamamlandıktan sonra deneylerin tasarımına geçilmiştir. Bağımsız değişkenlerin çeşitli kombinasyonlarından deney setleri oluşturulmuş ve bunların simülasyonu yürütülmüştür. Uzman görüşleri alınarak, simülasyon sonuçlarının istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Değişkenler arası ilişkiler incelenmiş ve bağımlı ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin matematiksel denklemleri ortaya konulmuştur. Daha sonra, simülasyon sonuçlarının grafikleri verilerek bulgular yorumlanmıştır. Bağımsız değişkenlerin çeşitli kombinasyonlarının meydana getirdiği farklı durumlar için, en uygun kaynak kullanımları hakkında yorumlar yapılmıştır. Sonrasında, tartışma ve sonuç anlatılmıştır.

Şekil 29: Araştırmanın Süreci



3.4. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Bir liman bölgesinde gemilerin gelişleri arasındaki süreler, yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreleri, gemilerin rıhtımda bağlı iken geçirdikleri süreler, römorkörlerin hızları vb. değişkenler rastgele(rassal) özellik göstermektedir. Bunun dışında, gemiler tonajlarına göre farklı sayıda römorköre tabi olmaktadır. Liman bölgesinde bekleyen gemilerin hangilerine römorkörcülük hizmeti için öncelik verileceği belirlenmelidir. Ayrıca, hizmet sahasının büyüklüğüne, römorkörlerin sayısına, hızına vb. nedenlere bağlı olarak gemilerin hizmet talebine cevap verme süresi de değişkenlik göstermektedir. Bunlar gibi ve benzeri sebepler göz önüne alındığında, liman römorkörcülük hizmetlerinin analitik yöntemlerle modellenmesi zor, hatta imkansız görünmektedir. Karmaşık, stokastik süreçlerden oluşan ve analitik olarak modellenmesi zor olan veya mümkün olmayan sistemlerin modellenmesinde simülasyon yöntemi karşımıza çıkmaktadır. Bu araştırmada, simülasyon modellemesi yöntemi kullanılmıştır.

Limanlardaki römorkörcülük operasyonları kesikli, dinamik ve stokastik bir sistemi temsil etmektedir. Sisteme ait değişimler zaman içinde geliştiği için dinamiktir. Gemi gelişleri, römorkörler eşliğinde yanaşma ve kalkış manevraları gibi süreçler olasılıksal olduğu için stokastik bir sistem mevcuttur. Gemiler belirli zamanlarda sisteme geldiği ve sistemden ayrıldığı için, sistemde bulunan gemi sayısı zamanın farklı noktalarında yani kesikli olarak değişmektedir. Römorkörcülük hizmeti alan gemi sayısı, hizmet bekleyen gemi sayısı, rıhtımdaki gemi sayısı da yine kesikli olarak değişen durum değişkenlerine örnek olarak verilebilir. Liman römorkörcülük sisteminin bu özellikleri dikkate alındığında, bir kesikli(ayrık) olay simülasyon yazılımının kullanılması uygun görülmüştür. Araştırmada, ProModel simülasyon yazılımı kullanılmış ve bir kesikli olay simülasyon modeli geliştirilmiştir.

3.4.1. ProModel Simülasyon Yazılımı

ProModel, herhangi bir kesikli olay sistemini etkin bir şekilde modellemek için tasarlanmış, kullanımı kolay, güçlü bir simülasyon paketidir. Ayrıca, tanklara ve

diğer kaplara giren ve çıkan akışları modellemek için sürekli modelleme yeteneklerine sahiptir. Bir sistemde verilen mantıksal kararları tanımlamak için bir takım temel modelleme yapıları ve bir dil sağlaması bakımından diğer simülasyon ürünlerine benzerdir (Harrell ve diğerleri, 2004: 19-93).

Bir kesikli olay simülasyon yazılımı olarak ProModel, öncelikle kesikli parça imalat sistemlerinin modellenmesi için tasarlanmıştır. Ek olarak ProModel; sistem olaylarının çoğunlukla zaman içinde belirli noktalarda gerçekleştiği sistemlerin modellenmesinde kullanılmaktadır (ProModel Corporation, 2011: 6).

ProModel’de bir model; grafik araçları, veri giriş tabloları ve boşluk doldurma iletişim pencereleri kullanılarak tanımlanır. ProModel kullanılarak oluşturulan bir model; varlıklar (işlenen öğeler), konumlar (işlemlerin gerçekleştiği yerler), kaynaklar (varlıkları işlemek ve taşımak için kullanılan birimler) ve yol ağlarını (varlıkların ve kaynakların geçtiği yollar ve koridorlar) içerir. İletişim pencereleri; varlık varışları ve işlem mantığı gibi operasyonel davranışların tanımlanması için, bu modelleme elemanlarının her biriyle ilişkilidir. Varlıklar, kaynaklar ve konumlar için; çizelgeler, aksama süreleri ve diğer özellikler tanımlanabilir (Harrell ve diğerleri, 2004: 93).

3.4.1.1. ProModel’de Genel Modelleme Elemanları

ProModel simülasyon yazılımındaki genel modelleme elemanları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Harrell ve diğerleri, 2004: 175-179; Harrell ve Price, 2003: 176-177; ProModel Corporation, 2011: 125-210):

- **Locations (Konumlar):** Sistemde varlıkların işleme tabi tutulma, bekleme, depolama, başka bir faaliyet veya karar alma için yönlendirildiği sabit yerleri temsil ederler. Makine, tedavi odası, iş istasyonu, kuyruk, depolama alanı konumlara örnek olarak verilebilir. Konumlar belli bir kapasiteye sahiptir ve uygun oldukları belirli zamanları olabilir. Ayrıca, en yüksek önceliğe dayalı girdi veya FIFO (ilk giren ilk çıkar) kuralına dayalı çıktı gibi özel girdi ve çıktılara sahip olabilirler.
- **Entities (Varlıklar):** Modelde işlenen ve sistemin girdi ve çıktılarını

temsil eden nesnelerdir. Hammaddeler, küçük parçalar, yükler, bitmiş ürünler, insanlar, telefon görüşmeleri, dokümanlar varlıklara örnek olarak verilebilir. Bir sistemdeki varlıklar hız, boyut, durum vb. özel niteliklere sahip olabilir. Varlıklar sistemde bir veya daha fazla farklı güzergahları izlerler. Sistemin dışından gelebilir veya sistem içinde oluşturulabilirler. Varlıklar genellikle, tanımlanmış bir konum sırasını ziyaret ettikten sonra sistemden çıkarlar. Varlıklara, karar vermede kontrol edilebilecek veya belli istatistiklerin toplanması için kullanılabilecek öznitelikler atanabilir.

- **Path Networks (Yol Ağları):** Yol ağları isteğe bağlıdır ve varlıkların ve kaynakların sistemde hareket ederken gezebileceği olası yolları tanımlar. Yol ağları, yol parçalarıyla birbirine bağlanan düğümlerden oluşur. Birden çok yol ağı tanımlanabilir ve bir veya daha fazla kaynak ve/veya varlık aynı ağı paylaşabilir. Bir yol ağı boyunca hareket; mesafe-hız veya zamana göre tanımlanabilir.
- **Resources (Kaynaklar):** Kaynaklar şu işlevlerden biri veya daha fazlası için kullanılırlar: varlıkların taşınması, konumlardaki varlıklar üzerinde işlemlerin gerçekleştirilmesine yardımcı olmak, konumların bakımlarının yapılması veya diğer kaynakların bakımlarının yapılması. İnsan, araç, taşıt, ekipman kaynaklara örnek olarak verilebilir. Kaynaklar, sabit olmalarına (fotokopi makinesi gibi) veya sistemde hareket etmelerine (operatör gibi) bağlı olarak statik veya dinamik olabilir.
- **Processing (İşlemler):** Varlıkların sistem boyunca yönlendirilmesini ve girdikleri her konumda gerçekleşen operasyonları tanımlar. Varlıkların sisteme “Gelişler” tablosunda tanımlandığı gibi girdikten sonra, sistemden çıkana kadar başına gelen her şey, “İşlemler” kısmında belirtilir. Konumlardaki operasyon veya hizmet süreleri, kaynak gereksinimleri, işlem mantığı, girdi/çıkı ilişkisi, yönlendirme koşulları, hareket süreleri veya gereksinimleri “İşlemler” kısmında tanımlanabilir.
- **Arrivals (Gelişler):** Yeni varlıkların sisteme girdiği herhangi bir zamana geliş denir. Bir geliş kaydı şu bilgiler belirtilerek tanımlanır: geliş başına yeni varlık sayısı, gelişlerin sıklığı, geliş konumu, ilk geliş zamanı, gelişlerin toplam meydana gelme sayısı.

3.4.1.2. ProModel’de İleri Düzey Modelleme Elemanları

ProModel simülasyon yazılımında bulunan ileri düzey modelleme elemanlarından bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Harrell ve diğerleri, 2004: 475-673; Harrell ve Price, 2003: 177-178; ProModel Corporation, 2011: 294-344):

- **Attributes (Öznitelikler):** Öznitelikler değişkenlere benzer yer tutuculardır; fakat belirli konumlara ve varlıklara bağlı olmakta ve genellikle o konum veya varlık hakkında bilgi içermektedir. Özniteliklere, kullanıcı tanımlı alfanümerik isimler ve reel veya tam sayı değerleri atanır. Özniteliklere örnek olarak şunlar verilebilir: parça türü, müşteri numarası, bir varlığın geliş zamanı, uzunluğu, ağırlığı, hacmi veya başka bir özelliği.
- **Variables (Değişkenler):** Değişkenler, simülasyon boyunca değişebilecek reel veya tam sayılar için yer tutuculardır. Genellikle karar vermek veya veri toplamak için kullanılırlar. Değişkenler iki türdür: global (genel) ve local (yerel). Genel değişkenler, değişen sayısal değerleri temsil etmek için kullanıcı tarafından tanımlanan yer tutuculardır. Yerel değişkenler, yalnızca kendilerini bildiren mantık dahilinde kullanılabilir olan yer tutuculardır.
- **Arrays (Diziler):** Bir dizi, reel veya tam sayı değerleri içeren bir hücre matrisidir. Bir dizideki her hücre bir değişkene benzer şekilde çalışır ve bir dizideki bir hücreye yapılan referans, bir değişkenin kullanılabileceği herhangi bir yerde kullanılabilir. Bir dizi, bir veya daha fazla boyuta sahip olabilmektedir.
- **Macros (Makrolar):** Bir makro; sık kullanılan bir ifade, komut ve işlevler kümesi veya bir ifade veya mantık alanında kullanılabilecek herhangi bir metin için bir yer tutucudur. Bir makro bir kere yazılabilmekte ve daha sonra makronun adı modelin herhangi bir yerinde ve gerektiği kadar temsil ettiği metnin yerine kullanılabilmektedir.
- **Subroutines (Altyordamlar):** Bir altyordam, belirli bir görevi gerçekleştirmeyi amaçlayan ayrı bir kod bölümüdür. Bir mantık bloğunu yerine getirmek ve isteğe bağlı olarak bir değer döndürmek için

çağrılabilir kullanıcı tanımlı bir komuttur.

- **User Distributions (Kullanıcı Dağılımları):** Bazen, ProModel'in yerleşik dağılımlarından hiçbirisi bir veri setini yeterince temsil edememektedir. Bu durumlarda kullanıcı, veri setini temsil etmek için bir kullanıcı dağılımı tanımlayabilir. Kullanıcı tanımlı dağılımlar kesikli veya sürekli olabilir.

3.4.2. Simülasyon Modelinin Geliştirilmesi

Liman römorkörcülük hizmeti ile ilgili teorik simülasyon modelinin oluşturulmasında, ProModel simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Modeli oluşturan modelleme elemanları ile ilgili bilgiler şu şekildedir:

- Varlıklar: Sisteme giriş yapan ve hizmet aldıktan sonra sistemi terk eden varlıklar, gemilerdir.
- Kaynaklar: Varlıkların (gemilerin) bir yerden başka bir yere taşınması için kullanılan kaynaklar, römorkörlerdir. Römorkörler sistemde hareket halinde oldukları için dinamik kaynaklardır.
- Konumlar: Modelde; gemilerin sisteme giriş yaptıkları *Geliş* konumu, liman bölgesine gelen gemiye verilen römorkörcülük hizmetinin başladığı *Pilot On Board (POB)* konumu, römorkörlerin hizmet vermediği zamanlarda bağlı oldukları *İstasyon* konumu, gemilerin sistemden çıkış yaptığı *Çıkış* konumu ve liman bölgesindeki iki adet terminali temsil eden *Terminal 1* ve *Terminal 2* konumları bulunmaktadır.
- Yol Ağları: Kaynakların izleyeceği yollarla ilgilidir. Modelde kaynakların izleyebileceği yollar; *POB* ile *İstasyon* arasında, *POB* ile terminaller arasında, iki terminal arasında ve *İstasyon* ile terminaller arasında bulunmaktadır.
- Gelişler: Gemilerin sisteme giriş yapacağı konum, *Geliş* konumu olarak tanımlanmıştır.
- Değişkenler: Gemilerin *POB* konumunda iken ve terminallerde iken römorkörleri bekledikleri süreler ile ilgili olarak değişkenler

tanımlanmıştır.

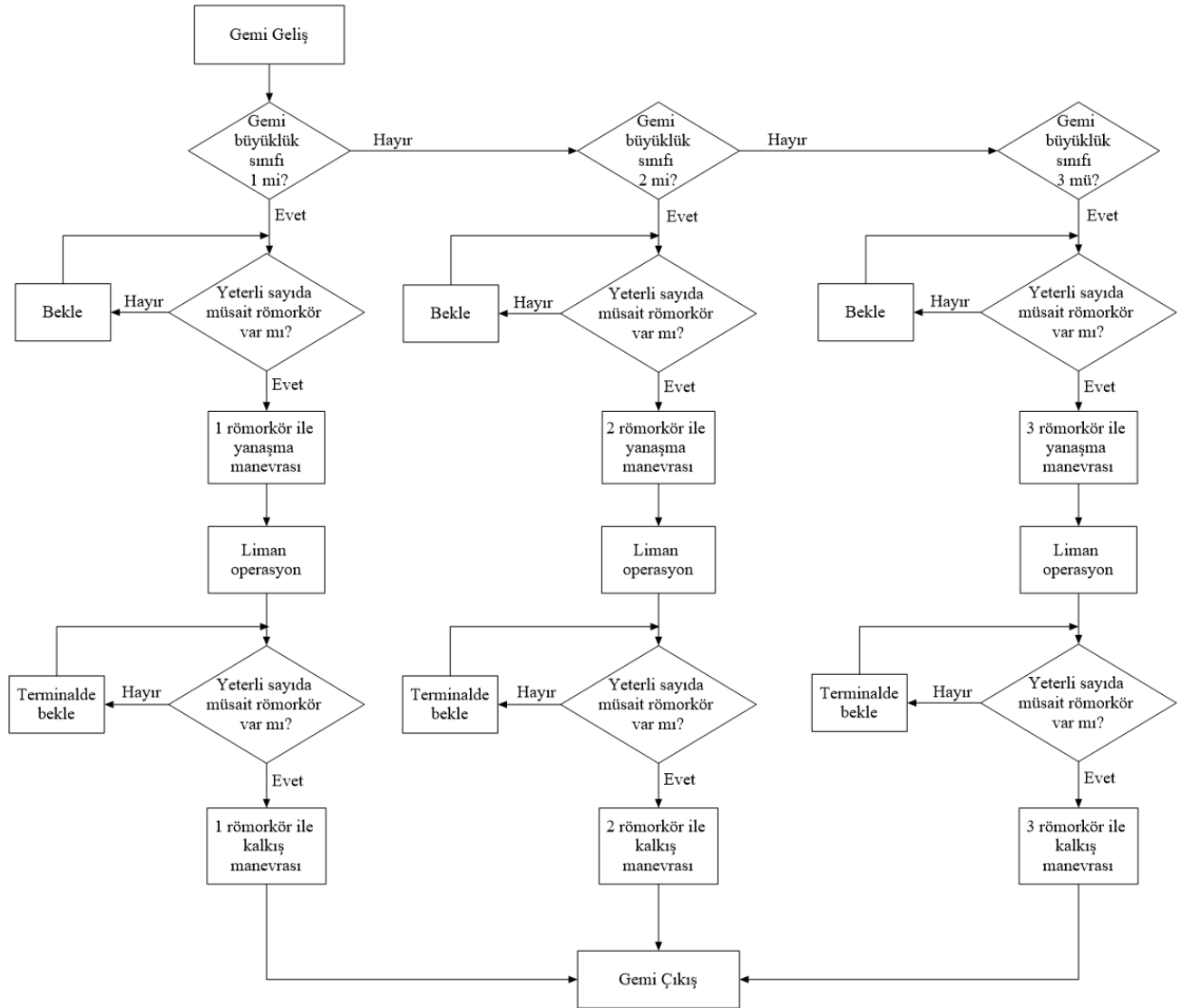
- Öznitelikler: Modelde, gemi büyüklük sınıfları için ve gemilerin bekleme süreleri ile ilgili değişkenlerin hesaplanmasında kullanılan zaman kayıtları için öznitelikler tanımlanmıştır.
- Makrolar: Simülasyon deneylerinde kolaylık sağlaması bakımından, girdi değişkenleri için makrolar tanımlanmıştır. Böylece senaryo yöneticisinde, girdi değişkenlerinin değerleri tek seferde belirtilerek çeşitli deneylerin simülasyonu art arda yürütülebilmektedir.
- Kullanıcı Dağılımları: İlerleyen bölümlerde de anlatılacağı üzere, yanaşma manevrası ve kalkış manevrası sürelerine ait veri setleri, kullanıcı tanımlı dağılım olarak programa girilmiştir. Ayrıca, sisteme gelen gemilerin büyüklük sınıflarına göre yüzdelerinin programa girilmesi için yine kullanıcı dağılımları kullanılmıştır.

3.4.2.1. Modelin Algoritması

Simülasyon modelinin çalışma prensibini gösteren algoritma Şekil 30'da gösterilmektedir. Gemiler gelişler arası süre dağılımına göre, *Geliş* konumunda sisteme giriş yapmaktadır. Daha sonra gemiler *POB* konumuna doğru hareket etmekte ve uygun sayıda müsait römorkör varsa *POB* konumunda römorkör(ler) gemilere bağlanmaktadır. Uygun sayıda müsait römorkör yoksa gemiler *POB* konumunda beklemektedir. *POB* konumunda 1.gemi büyüklük sınıfındaki gemilere 1 römorkör, 2.gemi büyüklük sınıfındaki gemilere 2 römorkör, 3.gemi büyüklük sınıfındaki gemilere 3 römorkör bağlanmaktadır. Gemiler römorkör(ler) eşliğinde, yanaşma manevra süresi dağılımlarına uygun bir sürede terminallerden birine yanaşmaktadır. Yanaşan gemiler servis süresi dağılımlarına uygun bir süre zarfında, yükleme ve boşaltma operasyonları için terminalde kalmaktadır. Liman operasyon sürecini tamamlayan gemiler, yeterli sayıda müsait römorkör varsa römorkör(ler) eşliğinde kalkış manevra süresi dağılımlarına uygun bir sürede kalkış manevralarını gerçekleştirmektedir. Eğer yeterli sayıda müsait römorkör yoksa terminalde beklemektedirler. Kalkış manevralarını gerçekleştiren gemiler *POB* konumunda römorkörlerden ayrılmakta ve *Çıkış* konumuna gelerek sistemi terk etmektedirler.

Gemilerin büyüklüklerine göre sınıflandırılması ve bu sınıflara göre kaç adet römorkör alacağı, 31.10.2012 tarihli ve 28453 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Limanlar Yönetmeliği'ne göre belirlenmiştir. Yapılan bu sınıflandırma, “Modelin Varsayımları” kısmında daha detaylı olarak anlatılmaktadır.

Şekil 30: Simülasyon Modelinin Algoritması



Römorkör talep eden bir gemi, müsait olan römorkörler arasından seçim yapması gerektiğinde, en yakınındaki römorkörü/römorkörleri seçmektedir. İki veya daha fazla gemi aynı anda römorkör talep ettiğinde ise römorkörler, hizmet vermek üzere en fazla bekleyen gemiyi seçmektedir. Römorkörler herhangi bir hizmet talebi olmadığında *İstasyon* konumunda beklemektedir.

3.4.2.2. Modelin Varsayımları

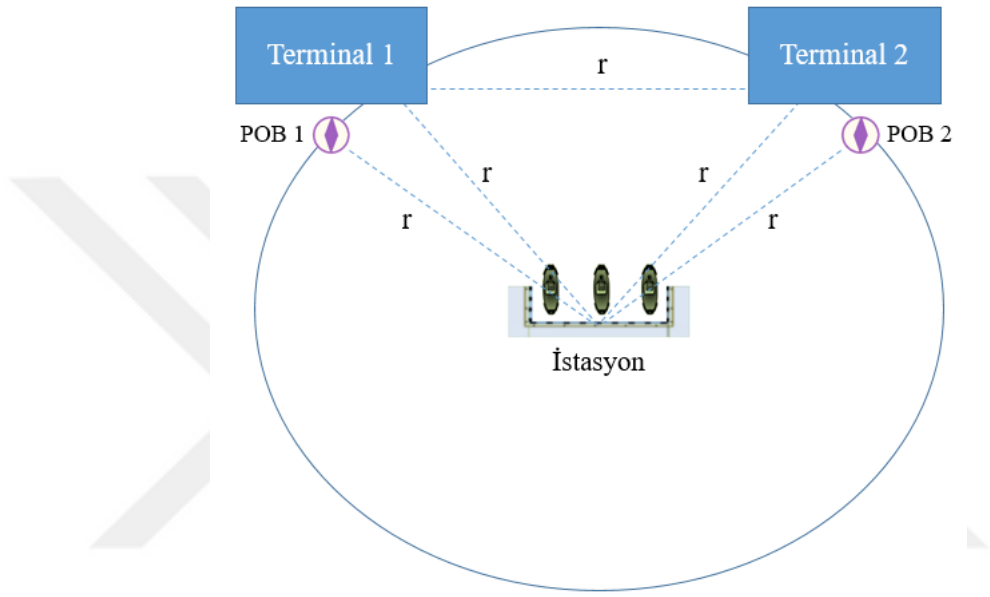
Simülasyon modeli oluşturulurken bazı varsayımlar yapılmıştır:

- Hizmet almak üzere sisteme gelen gemiler, büyüklüklerine göre sınıflara ayrılmıştır. Sınıflandırma yapılırken, 31.10.2012 tarihli ve 28453 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Limanlar Yönetmeliği esas alınmıştır. Yönetmeliğe göre 2.000-5.000 GRT arası tüm gemiler asgari 1 römorkör, 5.001-45.000 GRT arası tüm gemiler asgari 2 römorkör, 45.000 GRT üzeri tehlikeli madde taşımayan gemiler asgari 2, taşıyan gemiler ise asgari 3 römorkör almak zorundadır (Limanlar Yönetmeliği, 2012). Bu çalışmada, 45.000 GRT üzeri tüm gemiler 3 römorkör alan gemi olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak liman verileri, gemilerin gros tonajına bağlı olarak üç gemi büyüklük sınıfına göre incelenmiştir (bkz. Tablo 9).
- Modeldeki liman bölgesi, birden fazla yük tipinin elleçlendiği çok amaçlı (multi-purpose) bir liman bölgesidir.
- Modelde liman kapasitesi ile ilgili herhangi bir kısıt bulunmamaktadır. Sisteme gelen gemiler, hizmet almak üzere liman bölgesindeki herhangi bir terminale yanaşabilmektedir. Gemilerin *POB* konumunda yaptığı beklemler, yalnızca römorkörlerin müsaitliğini bekledikleri süre ile ilgilidir.
- Liman bölgesinde 2 adet terminal bulunmaktadır. Bu terminaller, gerçek hayatta bir liman bölgesinin herhangi bir yerinde bulunan terminalleri temsil etmektedir. Terminaller arası ortalama mesafe r olarak kabul edilmiştir (bkz. Şekil 31).
- Römorkör istasyonunun terminallere olan uzaklığı (r) eşittir. İstasyon, römorkörcülük hizmet sahasının tam ortasına konumlandırılmıştır (bkz. Şekil 31).
- Kılavuz kaptan sayısı ve müsaitliği ile ilgili herhangi bir kısıt bulunmamaktadır. Kılavuz botu sayısı ile ilgili bir kısıt da yoktur.
- Römorkörlerin hepsi tek tip olup, liman römorkörüdür.

Tablo 9: Gemi Büyüklük Sınıfları

Gros Tonaj (GRT)	Gemi Büyüklük Sınıfı
2.000 – 5.000	1
5.001 – 45.000	2
45.001 ve üzeri	3

Şekil 31: Römorkörcülük Hizmet Sahası ve Mesafeler



3.4.2.3. Modelde Kullanılan İstatistiksel Dağılımlar

Geliştirilen simülasyon modeli, çeşitli rassal süreçlerden oluştuğu için stokastik bir simülasyon modelidir. Modeldeki rassal süreçler; gemi gelişleri, yanaşma manevrası, servis süreci ve kalkış manevrası şeklindedir. Bu süreçleri temsil edebilecek uygun istatistiksel dağılımların belirlenmesi gerekmektedir.

Gemilerin gelişler arası süre dağılımı, sisteme gelen gemilerin her birinin sisteme giriş yaptıkları zamanlar arasındaki süreler aittir. Servis süresi dağılımı, gemilerin yükleme ve boşaltma hizmetlerini gerçekleştirmek üzere rıhtımda bağlı olarak geçirdikleri süreler aittir. Yanaşma manevra süresi dağılımı, her bir geminin römorkör ve kılavuz kaptan eşliğinde terminale yanaşmak için geçirdiği süreler aittir. Kalkış manevra süresi dağılımı ise, her bir geminin römorkör ve kılavuz kaptan eşliğinde terminalden kalkış süreci için

geçirdiği sürelerle ait dağılımdır.

Bu tezde geliştirilen simülasyon modeli, teorik bir model olduğu için sisteme ait herhangi bir veri söz konusu değildir. Bu sebeple, yukarıda anlatılan rassal süreçler için bazı istatistiksel dağılımlar kabul edilmiş ve simülasyon modeline girilmiştir. Bu dağılımların belirlenmesi için öncelikle literatür taraması yapılmış ve çalışmalarda hangi dağılımların kullanıldığı incelenmiştir. Daha sonra, Türkiye’de bulunan farklı limanlara ait veriler analiz edilmiştir.

3.4.2.3.1. İstatistiksel Dağılımlar ile ilgili Literatür Taraması

Gemilerin gelişler arası süreleri ve rıhtımda geçirdikleri servis süreleri için çalışmalarda kullanılan istatistiksel dağılımlar, incelenen terminal tipleri ve kullanılan yöntemler Tablo 10’da verilmektedir.

Tablo 10: İstatistiksel Dağılımlar ile ilgili Literatür Taraması

Yazar / Yıl	Terminal / Liman	Kullanılan Yöntem(ler)	Gelişler Arası Süre Dağılımı	Servis Süresi Dağılımı
Lai ve Shih (1992)	Konteyner	Simülasyon	Üssel	-
Groenveld ve Wanders (1999)	Konteyner	Simülasyon	Üssel	-
Kia ve diğerleri (2002)	Konteyner	Simülasyon	Üssel	Erlang
Demirci (2003)	Liman	Simülasyon	Üssel	Üssel
Lee ve diğerleri (2003)	Konteyner	Simülasyon	Erlang	Beta
Imai ve diğerleri (2005)	Konteyner	Sezgisel algoritma	Üssel	Uniform
Dragovic ve diğerleri (2006)	Konteyner	Kuyruk teorisi, Simülasyon	Üssel	Erlang
Bugaric ve Petrovic (2007)	Dökme yük	Simülasyon	Üssel	-
Huang ve diğerleri (2008)	Konteyner	Simülasyon	Üssel	-
Esmer ve diğerleri (2013)	Konteyner	Simülasyon	Gamma	Erlang, Beta
Nas (2013)	Liman	Simülasyon	Üssel, Normal	Normal
Layaa ve Dullaert (2014)	Genel yük, Konteyner	Kuyruk teorisi, Simülasyon	Gamma, Weibull	Lognormal, Lognormal
Tang ve diğerleri (2014)	Liman	Simülasyon	Üssel	Üssel
Tang ve diğerleri (2016)	Konteyner	Simülasyon	Üssel	Erlang

Gelişler arası süre dağılımlarına bakıldığında, yapılan çalışmalarda büyük çoğunlukla Üssel dağılım kullanıldığı görülmüştür. Bunun dışında Gamma, Weibull ve Erlang dağılımları da kullanılmıştır. Gemilerin gelişler arası süre dağılımı için en çok benimsenen ve kullanılan dağılımın Üssel dağılım (Poisson süreci) olduğu bazı çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Huang ve diğerleri, 2008: 249; Tang ve diğerleri, 2016: 178-179; Tang ve diğerleri, 2014).

Servis süresi için, en basit kuyruk sistemlerinde en sık karşılaşılan dağılım Üssel dağılımdır. Bazı durumlarda servis süresi dağılımları, Üssel dağılımdan daha ağır kuyruklu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tablo 10’da, limanlardaki servis süresi dağılımlarına bakıldığında, Erlang ve Lognormal gibi kuyruklu dağılımların kullanıldığı ve ayrıca, Beta ve Uniform gibi dağılımların da kullanıldığı görülmektedir.

Gemilerin yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreçleri için çalışmalarda kullanılan dağılımlar ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Yapılan çoğu çalışmada (Dragovic ve diğerleri, 2006: 290; Lin ve diğerleri, 2014: 164; Peng-fei ve diğerleri, 2006: 179; Uğurlu ve diğerleri, 2014: 146) bu süreçlerde geçen süreler için istatistiksel dağılım yerine sabit değerler kullanıldığı gözlemlenmiştir. Nas ve diğerleri (2016), römorkörcülük hizmeti yetki sahalarında gerekli römorkör sayısının tespit edilmesine yönelik bir simülasyon çalışması yapmışlar ve yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreleri için Normal dağılım kabul etmişlerdir.

3.4.2.3.1.1. Gelişler Arası Süre Dağılımının Belirlenmesi

Tablo 10’da verilen çalışmalar incelendiğinde, gemilerin gelişler arası süre dağılımı için çoğunlukla Üssel dağılım kullanıldığı tespit edilmişti. Bu tezde geliştirilen modelde de, gemilerin gelişler arası süre dağılımları için Üssel dağılım kabul edilmiştir. Gemi gelişleri, simülasyon deneylerinde kullanılan bağımsız değişkenlerinden biri olduğu için bu dağılımın parametresi olan ortalama değer, 1 yılda gelen toplam gemi sayısına göre değişmektedir. Örneğin; sisteme 1 yılda (8.760 saat) 1.000 gemi geldiği düşünüldüğünde, ortalama 8,76 saatte bir gemi gelişi olmakta ve gelişler arası süre dağılımı programda “E(8,76) HR” şeklinde belirtilmektedir.

Diğer süreçler olan servis, yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreçleri için simülasyon modeline girilecek istatistiksel dağılımların belirlenmesinde, Türkiye’de bulunan farklı limanlara ait veriler incelenmiştir.

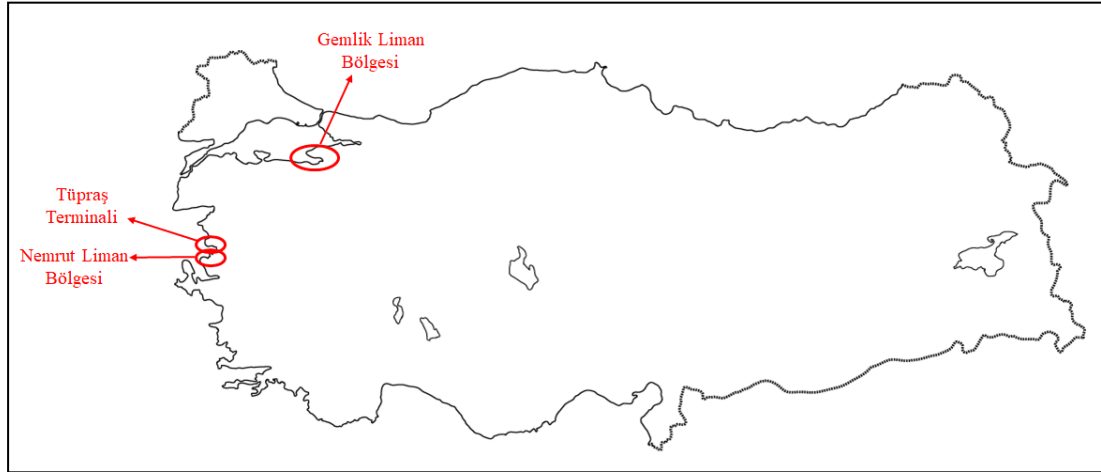
3.4.2.3.2. Liman Verilerinin Analizi

Simülasyon modeline girilecek istatistiksel dağılımların belirlenmesi konusunda literatür taramasına ek olarak, Türkiye’deki 3 farklı liman bölgesine ait gemi operasyonları ile ilgili veriler incelenmiştir. Bunlar:

- Gemlik Körfezi’ndeki liman bölgesine ait 2018 yılı ve 2010 yılı verileri,
- Nemrut Körfezi’ndeki liman bölgesine ait 2010 yılı verileri,
- TÜPRAŞ’ın Aliaga’daki terminaline ait 2017 yılı verileridir.

Gemlik Körfezi ve Nemrut Körfezi, çeşitli yüklerin elleçlenebildiği çok amaçlı liman bölgeleridir. Tüpraş Terminali ise, bir sıvı yük terminalidir. Şekil 32’de, bu 3 liman bölgesinin haritadaki konumları gösterilmektedir.

Şekil 32: Verileri İncelenen Liman Bölgeleri



Gemlik Körfezi’ne ait 2018 yılı verilerinin talep edilmesi ile ilgili resmi yazı EK 1’de sunulmaktadır. Gemlik Körfezi’ne ait 2010 yılı verileri, Nas (2013) tarafından yapılan bir çalışmada kullanılan verilerdir. Tüpraş Terminali’ne ait 2017 yılı verileri, Özkan ve diğerleri (2019) tarafından yapılan bir çalışmada kullanılan

verilerden oluşmaktadır. Nemrut Körfezi'ne ait 2010 yılı verileri ise, Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi'nde yürütülen “Uzmar Kılavuzluk ve Römorkörcülük Teşkilatında Emniyet Kültürünü Güçlendirme Çalışması Projesi” kapsamında elde edilmiş verilerdir.

Gemi operasyonları ile ilgili liman verileri, Tablo 9'da belirtilen gemi büyüklük sınıflarına göre incelenmiştir. Bir yılda limanlara gelen gemi sayıları, gemi büyüklük sınıflarına göre Tablo 11'de verilmektedir.

Tablo 11: Limanlara Gelen Gemi Sayıları (1 yılda)

Gemi büyüklük sınıfı	Gemlik 2018	Gemlik 2010	Nemrut 2010	Tüpraş Aliğa 2017	TOPLAM
1	729	846	1.069	135	2.779
2	2.009	1.515	1.247	377	5.148
3	299	10	6	123	438
TOPLAM	3.037	2.371	2.322	635	8.365

Tablo 11 incelendiğinde, 5.001-45.000 arası GRT'ye sahip olan 2.gemi büyüklük sınıfındaki gemilerin çoğunluğu oluşturduğu görülmektedir. 45.001 ve üzeri GRT'ye sahip olan 3.gemi büyüklük sınıfındaki gemilerin sayısı ise en düşüktür.

3.4.2.3.2.1. Modeldeki Gemi Büyüklük Sınıflarına Ait Yüzdelerin Belirlenmesi

Simülasyon modeline, sisteme gelen gemilerin büyüklük sınıflarına göre yüzdelik değerleri girilirken, Tablo 11'deki veriler dikkate alınmıştır. Bütün limanlardaki her gemi büyüklük sınıfına ait gemi sayılarının toplamı, genel toplama bölünmüş ve bulunan yüzdelere modele girilmiştir (bkz. Tablo 12).

Tablo 12: Modelde Kullanılan Gemi Büyüklük Sınıflarına Ait Yüzdelere

Gemi büyüklük sınıfı	Yüzde (%)
1	33,22
2	61,54
3	5,24

Buna göre, gelişler arası süre dağılımına göre sisteme gelen gemilerin % 33,22'sini 1.gemi büyüklük sınıfı, %61,54'ünü 2.gemi büyüklük sınıfı, %5,24'ünü ise 3.gemi büyüklük sınıfına ait gemiler oluşturmaktadır.

3.4.2.3.2.2. Servis Süresi Dağılımlarının Belirlenmesi

Servis süresine uygun olabilecek dağılımların tespiti için liman verileri incelenmiştir. Gemlik Körfezi liman bölgesine ait veriler incelenirken “Yanaşma Pilot Bitiş” ve “Kalkış Pilot Başlama” zamanları arasında geçen süreler bulunmuştur. Nemrut Körfezi liman bölgesine ait veriler incelenirken ise, “İskele Bağlama” ve “Kalkış Pilot Başlama” zamanları arasında geçen süreler hesaplanmıştır. Tüpraş Terminali'ne ait veriler incelenirken, “İskele Bağlama” ve “İskeleden Ayrılma” zamanları arasındaki süreler hesaplanmıştır.

Her bir gemi büyüklük sınıfı için servis süresine uygun dağılımların bulunmasında ProModel simülasyon yazılımının içerisinde bulunan StatFit programı kullanılmıştır. Kolmogorov-Smirnov (K-S) ve Anderson-Darling (A-D) uyum iyiliği testlerinin sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 13'te, 1.gemi büyüklük sınıfına ait servis süresi için uygun olabilecek dağılımlar, bu dağılımlara ait K-S ile A-D test sonuçlarından elde edilen p değerleri ve dağılımların uygunluk yüzdeleri verilmektedir.

Örneğin, Tablo 13'te verilen Gemlik 2010 veri seti için servis süresi dağılımına ait uyum iyiliği testinde, hipotezler aşağıdaki gibi kurulabilir:

H_0 : Veriler “Inverse Weibull” dağılımına uymaktadır.

H_1 : Veriler “Inverse Weibull” dağılımına uymamaktadır.

Uyum iyiliği testi için önem düzeyi $\alpha=0.05$ olarak belirlenmiş olup, hem K-S hem de A-D uyum iyiliği testleri için hesaplanan p-değerleri α 'dan büyük olduğundan sıfır hipotezi reddedilemez. Sonuç olarak bu verilerin “Inverse Weibull” dağılımı ile uyum gösterdiği % 95 güven ile söylenebilir.

Tablo 13: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Servis Süresi için Uyum İyiliği Testleri

GEMLİK 2010				GEMLİK 2018			
DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi	DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi
	K-S	A-D			K-S	A-D	
Inverse Weibull	0,292	0,225	92,4	Inverse Gaussian	0,836	0,783	100
LogLogistic	0,316	0,188	83,5	Lognormal	0,72	0,744	81,8
Pearson 5	0,265	0,195	72,9	Pearson 6	0,647	0,499	49,3
Lognormal	0,165	0,123	28,6	Pearson 5	0,298	0,409	18,6
Inverse Gaussian	0,0612	0,0706	6,09	LogLogistic	0,417	0,155	9,87
				Inverse Weibull	0,206	0,29	9,14
				Gamma	0,105	0,0906	1,46
				Weibull	0,0553	0,0219	0,185
NEMRUT 2010				TÜPRAŞ ALİAĞA 2017			
DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi	DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi
	K-S	A-D			K-S	A-D	
LogLogistic	0,209	0,118	96	LogLogistic	0,451	0,56	100
Inverse Weibull	0,101	0,123	48,5	Inverse Weibull	0,319	0,359	45,3
Pearson 5	0,055	0,0836	17,9	Pearson 5	0,261	0,255	26,4
				Pearson 6	0,169	0,173	11,5
				Lognormal	0,186	0,146	10,7
				Inverse Gaussian	0,129	0,0923	4,71
				Gamma	0,0519	0,0282	0,578

StatFit programı, uygun olan dağılımları göreceli uyum iyiliklerine göre sıralamaktadır. Tablo 13’te, her bir veri seti için, servis süresine uygun olan dağılımlar uygunluk yüzdelerine göre sıralanmaktadır. 1.gemi büyüklük sınıfı için en uygun servis süresi dağılımları; Gemlik 2010 veri seti için “Inverse Weibull”, Gemlik 2018 veri seti için “Inverse Gaussian”, Nemrut 2010 ve Tüpraş 2017 veri setleri için ise “LogLogistic” olarak bulunmuştur.

Tablo 14’te, 2.gemi büyüklük sınıfına ait servis süresi için uygun olabilecek dağılımlar, bu dağılımlara ait K-S ile A-D test sonuçlarından elde edilen p değerleri ve dağılımların uygunluk yüzdeleri verilmektedir. Gemlik 2018 ve Nemrut 2010 veri setleri için herhangi uygun bir dağılım bulunamamış olup, Tüpraş 2017 ve Gemlik 2010 veri setlerine ait sonuçlar Tablo 14’te özetlenmiştir.

Tablo 14: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Servis Süresi için Uyum İyiliği Testleri

TÜPRAŞ ALİAĞA 2017				GEMLİK 2010			
DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi	DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi
	K-S	A-D			K-S	A-D	
Lognormal	0,408	0,33	64,3	Inverse Weibull	0,511	0,342	100
Pearson 6	0,439	0,286	60	LogLogistic	0,439	0,105	26,3
Inverse Gaussian	0,367	0,299	52,5	Pearson 5	0,217	0,0887	11
Erlang	0,361	0,184	31,9	Pearson 6	0,108	0,0252	1,56
Pearson 5	0,243	0,254	29,5				
Gamma	0,262	0,165	20,7				
Inverse Weibull	0,184	0,207	18,2				
LogLogistic	0,217	0,0955	9,93				
Beta	0,124	0,0582	3,46				
Weibull	0,0748	0,0187	0,67				

Tablo 14’e bakıldığında, 2.gemi büyüklük sınıfı için en uygun servis süresi dağılımları; Tüpraş 2017 veri seti için “Lognormal”, Gemlik 2010 veri seti için ise “Inverse Weibull” olarak bulunmuştur.

Tablo 15’te, 3.gemi büyüklük sınıfına ait servis süresi için uygun olabilecek dağılımlar, bu dağılımlara ait K-S ile A-D test sonuçlarından elde edilen p değerleri ve dağılımların uygunluk yüzdeleri verilmektedir. Gemlik 2010 ve Nemrut 2010 veri setleri yeterli veri olmadığı için incelenememiş olup, Gemlik 2018 ve Tüpraş 2017 veri setlerine ait sonuçlar Tablo 15’te özetlenmiştir.

Tablo 15: 3.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Servis Süresi için Uyum İyiliği Testleri

GEMLİK 2018				TÜPRAŞ ALİAĞA 2017			
DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi	DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi
	K-S	A-D			K-S	A-D	
Inverse Weibull	0,96	0,925	99,6	Weibull	0,816	0,902	100
Pearson 5	0,942	0,929	98,2	Beta	0,75	0,859	87,5
Lognormal	0,864	0,871	84,5	Gamma	0,552	0,739	55,4
LogLogistic	0,751	0,883	74,4	Extreme Value IA	0,503	0,534	36,4
Extreme Value IA	0,69	0,856	66,2	Erlang	0,497	0,539	36,4
Inverse Gaussian	0,74	0,777	64,5	Inverse Gaussian	0,438	0,596	35,4
Erlang	0,607	0,634	43,2	Lognormal	0,422	0,555	31,8
Pearson 6	0,747	0,486	40,8	Pearson 5	0,408	0,517	28,7
Gamma	0,555	0,557	34,7	Rayleigh	0,445	0,443	26,8
Beta	0,552	0,505	31,3	LogLogistic	0,392	0,359	19,1
Chi Squared	0,286	0,338	10,8	Pearson 6	0,36	0,369	18
Weibull	0,161	0,075	1,36	Chi Squared	0,369	0,332	16,7
Rayleigh	0,069	0,0427	0,33	Logistic	0,416	0,226	12,8
				Normal	0,323	0,19	8,31

Tablo 15’e bakıldığında, 3.gemi büyüklük sınıfı için en uygun servis süresi dağılımları; Gemlik 2018 veri seti için “Inverse Weibull”, Tüpraş 2017 veri seti için ise “Weibull” olarak bulunmuştur.

Genel olarak bakıldığında, gemilerin rıhtımda geçirdikleri süre olan servis süresi için uygun olabilecek dağılımlar arasında “Inverse Weibull”, “LogLogistic”, “Lognormal”, “Inverse Gaussian” vb. kuyruklu dağılımların olduğu görülmüştür. Bu modelde servis süresi dağılımı olarak, parametrelerinin diğerlerine nazaran daha rahat belirlenebilmesi ve kuyruklu bir dağılımı temsil etmesi bakımından “Lognormal” dağılım kullanılması uygun görülmüştür.

Simülasyon modelinin her liman ve gemi tipi için geçerli olması açısından gemi servis süresi dağılımları için, birçok limana ve gemi tipine ait verilerin genel ortalamaları ve standart sapmaları referans alınmıştır. Sonuç olarak, simülasyon modeline her gemi büyüklük sınıfı için girilecek servis süresi dağılımının (“Lognormal” dağılımın) parametreleri belirlenirken, bütün liman verilerindeki (Gemlik, Nemrut, Tüpraş) her gemi büyüklük sınıfına ait servis sürelerinin genel ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır (bkz. Tablo 16).

Tablo 16: Simülasyon Modeline Girilen Servis Süresi Dağılımları

Gemi Büyüklük Sınıfı	Servis Sürelerinin Ortalaması (saat)	Servis Sürelerinin Standart Sapması (saat)	Modele girilen dağılımın ifadesi
1	41,82	36,1	L(41.82, 36.1)
2	30,86	46,21	L(30.86, 46.21)
3	22,11	17,14	L(22.11, 17.14)

3.4.2.3.2.3. Yanaşma Manevrası Süreleri ve Kalkış Manevrası Sürelerine Ait Dağılımların Belirlenmesi

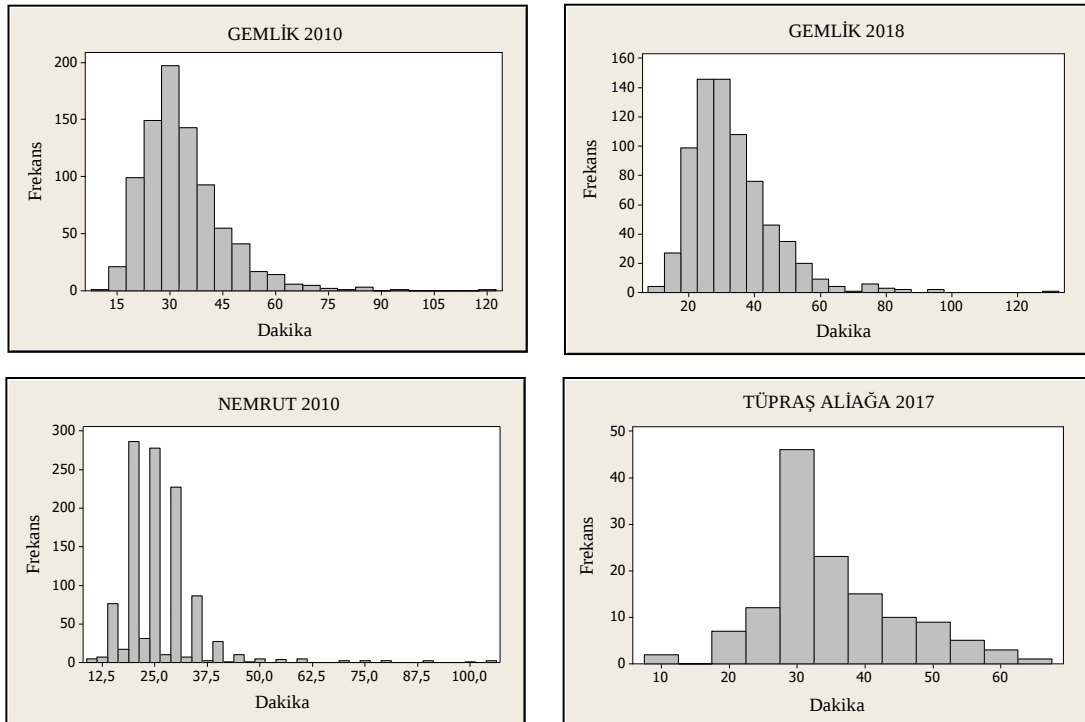
Yanaşma manevrası süreleri için, Gemlik Körfezi ve Nemrut Körfezi liman bölgelerine ait veriler incelenirken, “Yanaşma Pilot Başlama” ve “Yanaşma Pilot Bitiş” zamanları arasında geçen süreler hesaplanmıştır. Tüpraş Terminali’ne ait veriler incelenirken, “Yanaşma Pilot Başlama” ve “İskele Bağlama” zamanları arasında geçen süreler hesaplanmıştır.

Kalkış manevrası süreleri için, Gemlik Körfezi ve Nemrut Körfezi liman bölgelerine ait veriler incelenirken, “Kalkış Pilot Başlama” ve “Kalkış Pilot Bitiş” zamanları arasında geçen süreler hesaplanmıştır. Tüpraş Terminali’ne ait veri seti, gemilerin kalkış manevrası ile ilgili herhangi bir veri olmadığı için incelenememiştir.

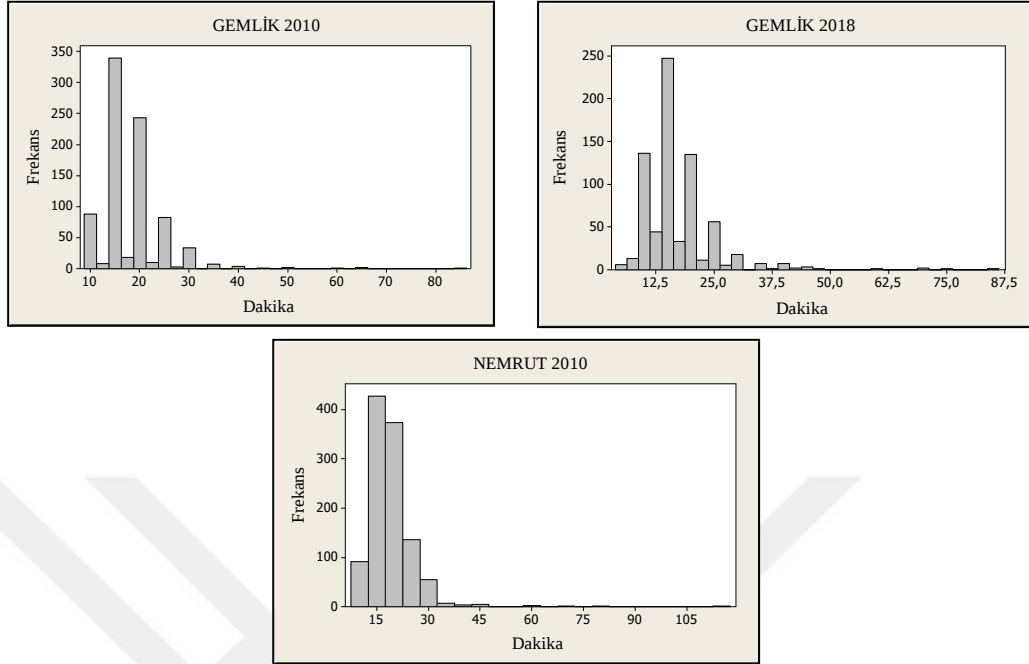
Her bir gemi büyüklük sınıfı için yanaşma manevrası ve kalkış manevrası sürelerine uygun dağılımların bulunmasında StatFit programı kullanılmış ve Kolmogorov-Smirnov (K-S) ve Anderson-Darling (A-D) uyum iyiliği testleri yapılmıştır.

Bütün veri setlerinde, 1. ve 2.gemi büyüklük sınıflarındaki gemilerin yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreleri için uygun olan herhangi bir istatistiksel dağılım bulunamamıştır. Örnek olarak Şekil 33 ve Şekil 34’te, 1.gemi büyüklük sınıfına ait yanaşma manevrası ve kalkış manevrası sürelerinin frekans dağılım grafikleri gösterilmektedir. 2.gemi büyüklük sınıfına ait yanaşma manevrası ve kalkış manevrası sürelerinin frekans dağılım grafikleri ise EK 2 ve EK 3’te verilmiştir.

Şekil 33: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Grafikleri



Şekil 34: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Grafikleri



Şekil 33, Şekil 34, EK 2 ve EK 3'teki grafiklerde görüldüğü üzere, yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreleri belli değerlerde yüksek frekanslar göstermektedir. EK 4'ten EK 9'a kadar olan kısımda, gemilerin büyüklük sınıflarına göre yanaşma manevrası ve kalkış manevrası sürelerine ait frekans dağılım tabloları verilmektedir. EK 4 ve EK 5'te verilen tablolardaki değerlere bakıldığında; Gemlik 2010, Gemlik 2018 ve Nemrut 2010 veri setlerindeki 1. ve 2.gemi büyüklük sınıflarına ait yanaşma manevrası sürelerinin 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 gibi değerlerinde yığılmalar olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, EK 7 ve EK 8'de verilen tablolardaki değerlere bakıldığında; 1. ve 2.gemi büyüklük sınıflarına ait kalkış manevrası sürelerinin 10, 15, 20, 25, 30, 35 gibi değerlerinde sıklıkların fazla olduğu görülmektedir. Belirli değerlerin yüksek frekans göstermesi, veri setleri için uygun dağılımların tespitini olanaksız hale getirmektedir. Sonuç olarak, 1. ve 2.gemi büyüklük sınıflarına ait yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreleri için uygun herhangi bir dağılım bulunamamıştır.

3.gemi büyüklük sınıfına ait yanaşma manevrası süreleri için yalnızca Gemlik 2018 ve Tüpraş 2017 verileri incelenebilmiş ve Tablo 17'de verilmiştir. Diğer veri setleri, yeterli veri olmadığı için incelenememiştir.

Tablo 17: 3.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Süresi için Uyum İyiliği Testleri

TÜPRAŞ ALİAĞA 2017				GEMLİK 2018			
DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi	DAĞILIM	p değerleri		Uygunluk yüzdesi
	K-S	A-D			K-S	A-D	
Lognormal	0,482	0,604	96,4	LogLogistic	0,187	0,421	100
Pearson 5	0,456	0,607	91,7	Lognormal	0,0528	0,287	19,3
LogLogistic	0,497	0,529	87,1	Logistic	0,0725	0,18	16,6
Erlang	0,444	0,591	86,9				
Gamma	0,44	0,591	86				
Beta	0,36	0,538	64				
Logistic	0,427	0,381	53,9				
Weibull	0,243	0,436	35,1				
Pearson 6	0,247	0,364	29,7				
Chi Squared	0,222	0,395	29				
Extreme Value IA	0,161	0,385	20,5				
Normal	0,163	0,252	13,5				
Inverse Gaussian	0,1	0,248	8,2				
Rayleigh	0,0641	0,163	3,46				

Tablo 17'ye bakıldığında, 3.gemi büyüklük sınıfı için en uygun yanaşma manevra süresi dağılımları; Tüpraş 2017 veri seti için “Lognormal”, Gemlik 2018 veri seti için ise “LogLogistic” olarak bulunmuştur.

Tüpraş 2017 veri setine ait kalkış manevrası ile ilgili veri olmadığı ve Gemlik 2018 veri setindeki kalkış manevra süresi verileri herhangi bir dağılıma uymadığı için, 3.gemi büyüklük sınıfının kalkış manevrası süresine uygun olabilecek dağılımlar ile ilgili herhangi bir sonuç elde edilememiştir.

Genel olarak bakıldığında, 1. ve 2.gemi büyüklük sınıflarının yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreleri için herhangi uygun bir dağılım bulunamamıştır. 3.gemi büyüklük sınıfı için ise yalnızca yanaşma manevrası süresi için bazı dağılımlar bulunabilmiş ve kalkış manevrası süresi için bir sonuca ulaşamamıştır.

Sonuç olarak, gemilerin yanaşma manevrası ve kalkış manevrası sürelerini simülasyon modeline dahil etmek için, teorik dağılımlar yerine deneysel dağılımlar kullanılmıştır. ProModel’de bulunan “User Distributions” kullanılmış ve kullanıcı tanımlı dağılımlar oluşturulmuştur. Bunun için, tezin EK 4’ten EK 9’a kadar olan kısmında verilen frekans dağılım tabloları kullanılmıştır. Simülasyon modelinin her liman ve gemi tipi için geçerli olması açısından, her bir gemi büyüklük sınıfının yanaşma manevrası ve kalkış manevrası sürelerine ait dağılımlar için, tablolarda

verilen bütün limanlara ait sürelerin sıklıkları toplanmış ve daha sonra bu sürelerin yüzdeleri hesaplanmıştır. Örneğin 1.gemi büyüklük sınıfının yanaşma manevrası süresine ait dağılım oluşturulurken, EK 4’te verilen tablodaki bütün limanlara ait sürelerin sıklıkları toplanmış ve ardından sürelerin yüzdeleri hesaplanmıştır. Daha sonra, süreler ve bunların yüzdeleri girilerek dağılım oluşturulmuştur. Sonuç olarak, her bir gemi büyüklük sınıfının yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreleri, toplamda 6 adet kullanıcı tanımlı dağılım (3 adet yanaşma manevra süresi dağılımı, 3 adet kalkış manevra süresi dağılımı) ile programa tanımlanmıştır.

3.4.2.3.3. Römorkörlerin Hızı

Simülasyon modelinde kullanılan bir diğer dağılım ise römorkörlerin hızı ile ilgilidir. Römorkörlerin bir gemiye hizmet vermedikleri zamanlarda, yani tek başına hareket halinde iken hızları, normal dağılıma uygun olarak ortalama 6 knot, standart sapması 1 knot olarak kabul edilmiş ve simülasyon modeline dahil edilmiştir (1 knot = 1 deniz mili / saat).

3.4.3. Modelin Doğruluğu ve Geçerliliği

Simülasyon modelinin doğruluğu, modelin doğru bir şekilde kurulması ile ilgilidir. Model içinde mantıksal veya aritmetik hataların olmaması sağlanmalıdır. Bunun için öncelikle, ProModel simülasyon yazılımının “Processing” menüsünde bulunan işlem mantığı ve hareket mantığı kısımlarındaki komutların doğru yazılıp yazılmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra simülasyon çalıştırılmış ve çalışma hızı yavaşlatılarak modelde gerçekleşen süreçler izlenmiştir. Gemilerin gelişleri, büyüklük sınıflarına göre kaç römorkör aldıkları, römorkörler ile birlikte hareketleri kontrol edilmiştir. Gemilerin açıkta ve terminallerde beklemelerini hesaplayan değişkenlerin ekrandaki değerleri, simülasyon çalışırken ilerleyen zaman birimi dikkate alınarak kontrol edilmiştir.

Simülasyon modelinin geçerliliği, modelin gerçek dünya sistemini yeterince temsil edip etmediği ile ilgilidir. Bunun için, belirlenen bazı performans ölçümünün simülasyonun çalışması sonucu elde edilen değerleri ile gerçek sistemdeki

değerlerinin uyumlu olup olmadığına bakılması gerekmektedir. Bu tezde geliştirilen simülasyon modeli, mevcut bir limana ait römorkörcülük hizmetlerini temsil etmemektedir. Model, genel bir liman bölgesindeki römorkörcülük hizmetlerini temsil etmektedir ve bu çalışma teorik bir simülasyon çalışmasıdır. Bununla birlikte, modelde; gemilerin gelişleri, yanaşma manevraları, terminalde servis almaları ve kalkış manevraları süreçlerinin hepsi gerçek hayattaki karşılıklarıyla benzer şekilde gerçekleşmektedir. Simülasyondan elde edilen sonuçlar da bunu desteklemektedir. Ayrıca, tezin “Tartışma” kısmında modelin geçerliliğine değinilmiştir.

3.4.4. Deneylerin Tasarımı ve Simülasyonun Çalıştırılması

Simülasyon deneylerinin tasarlanması ve analiz edilmesine yönelik mevcut seçenekler, simülasyonun sonlanan (terminating) veya sonlanmayan (non-terminating) bir simülasyon olup olmadığına bağlıdır (Law, 2010: 67).

Sonlanan bir simülasyon, simülasyonun tanımlanmış bir durumda veya zamanda başladığı ve tanımlanmış başka bir duruma veya zamana ulaştığı zaman bittiği simülasyondur (Harrell ve diğerleri, 2004: 236). Örnek olarak, ticari bir kuruluş her akşam kapanmaktadır. Kuruluş saat 09:00’den 17:00’a kadar açıksa, simülasyonun amacı, saat 09:00’da başlayan ve kapılar saat 17:00’da kapanmadan önce giriş yapan son müşteriye hizmet verildiğinde sona eren dönem boyunca, müşteri hizmetinin kalitesinin bir ölçüsünü tahmin etmek olabilir (Law, 2010: 68).

Sonlanmayan bir simülasyon ise, sistemin kararlı durum davranışının analiz edildiği simülasyondur. Sonlanmayan simülasyon, simülasyonun hiçbir zaman sona ermeyeceği veya benzetimi yapılan sistemin nihai bir sonlandırmaya sahip olmadığı anlamına gelmez. Bu sadece, simülasyonun davranışta istatistiksel bir değişiklik olmadan teorik olarak, süresiz olarak devam edebileceği anlamına gelir. Bu tür sistemler için, sistemin kararlı durum davranışı hakkında istatistik toplamak amacıyla modeli çalıştırmak için uygun bir süre belirlenmelidir. Sürekli olarak üretimin yapıldığı bir imalat operasyon modeli, sonlanmayan bir simülasyona örnek olarak verilebilir (Harrell ve diğerleri, 2004: 236).

Özetle; sonlanan simülasyonlarda, simülasyonun çalışma uzunluğunu belirleyen doğal bir bitiş noktası vardır. Sonlanmayan simülasyonlarda bu bitiş

noktası yoktur ve simülasyonun çalışma süresinin model kullanıcısı tarafından belirlenmesi gerekmektedir (Robinson, 2004: 138).

Bu tezde geliştirilen simülasyon modeli; gemilerin limandan hizmet almak üzere herhangi bir zamanda sisteme geliş yapabildiği, liman hizmetlerinin sürekli olarak sağlanabildiği ve gemilerin yanaşma ve kalkış manevraları için herhangi bir zamanda römorkör talep edebildiği bir modeldir. Model çalışırken, simülasyonu sonlandıracak herhangi bir durum veya zaman kısıtı yoktur. Dolayısıyla bu model ile yürütülen simülasyon, sonlanmayan bir simülasyondur.

3.4.4.1. Modeldeki Değişkenler

Daha önce de bahsedildiği üzere, ilgili literatür dikkate alınarak belirlenen bağımsız değişkenler aşağıdaki gibidir:

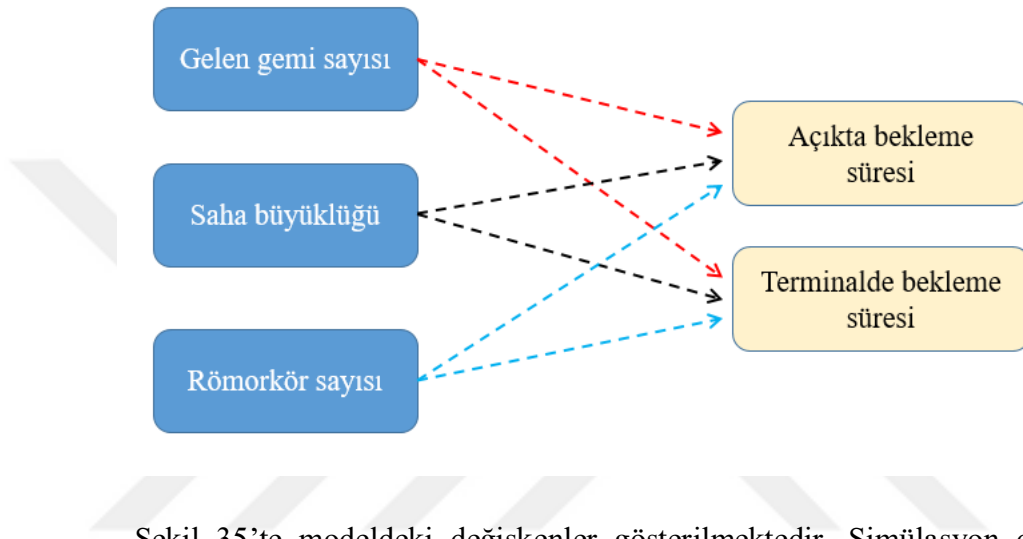
- **Gelen gemi sayısı (GGS):** Liman bölgesine 1 yılda gelen toplam gemi sayısı ile ilgili değişkendir.
- **Römorkör sayısı (RS):** Gemilere yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreçlerinde hizmet verecek olan römorkörlerin sistemdeki toplam sayısıdır.
- **Saha büyüklüğü (SB):** Liman bölgesinde römorkörlerin hizmet verdiği alanın deniz mili cinsinden büyüklüğüdür. Römorkör istasyonunun terminallere ve *POB* konumuna olan uzaklığı r ise, saha büyüklüğü $2r$ 'dir (bkz. Şekil 31).

Simülasyon deneylerinde performans ölçümü olarak kullanılacak olan bağımlı değişkenler, daha önce de değinildiği gibi ilgili literatür dikkate alınarak belirlenmiştir. Bağımlı değişkenler, gemilerin römorkörcülük hizmeti almak için beklediği süreler ile ilgilidir ve aşağıdaki gibidir:

- **Açıkta bekleme süresi (ABS):** Liman bölgesine gelen gemilerin terminale yanaşmak üzere, müsait olan römorkörleri *POB* konumunda beklerken geçirdikleri süreler ile ilgili değişkendir. Römorkörlerin açıkta bulunan gemilerin hizmet talebine cevap verme süresini ifade eder.

- **Terminalde bekleme süresi (TBS):** Yükleme/boşaltma süreçlerini tamamlamış olan gemilerin terminalden ayrılmak üzere, müsait olan römorkörleri rıhtımda bağlı olarak beklerken geçirdikleri süreler ile ilgili değişkendir. Römorkörlerin terminalde bulunan gemilerin hizmet talebine cevap verme süresini ifade eder.

Şekil 35: Modelin Değişkenleri



Şekil 35’te modeldeki değişkenler gösterilmektedir. Simülasyon deneyleri tasarlanırken GGS, SB ve RS bağımsız değişkenlerinin değerleri belli aralıklarda değiştirilmiştir. Daha sonra her bir deneyde, ABS ve TBS bağımlı değişkenlerine ait sonuçlar elde edilmiştir.

3.4.4.2. Isınma Süresinin Belirlenmesi

Sonlanmayan simülasyonlarda çıktı, genellikle kararlı duruma (steady state) ulaşmaktadır. Örneğin üretim tesisi ile ilgili bir model ele alınacak olursa, simülasyonun çalışmasının başlangıcında sistemde hiçbir parça yoktur. Zaman ilerledikçe, parçalar sistemde dolaşmaya ve sistemden çıkmaya başlarlar. Sonuç olarak, modelde kaydedilen iş hacmi düşük bir seviyede başlar ve yavaş yavaş kararlı durum seviyesine gelir. Kararlı durum seviyesine gelene kadar geçen süreçte elde edilen çıktı verileri gerçekçi değildir. Bu verilerin dahil edilmesi, simülasyondan elde edilen sonuçları etkileyecektir (Robinson, 2004: 138-140). Sistemin başlangıç

koşullarından uzun dönem istatistiklerini yansıttığı ana kadar geçen süre (ısınma süresi) hesaplamalara dahil edilmemelidir. Isınma süresinin belirlenmesinde grafiksel, sezgisel, istatistiksel ve hibrit yöntemler mevcuttur (Uncu, 2017: 202-203).

Simülasyon parametrelerinin değiştirilmesi sistemin kararlı duruma ulaşmasını etkilemekte ve bu yüzden ısınma süresinin güncellenmesi gerekmektedir (Uncu, 2017: 202). Bu tezdeki simülasyon modeli çalıştırılırken her deney seti için uygun olacak genel bir ısınma süresi belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için bağımsız değişkenlerden biri olan GGS'nin en küçük (1.000 gemi) ve en büyük (10.000 gemi) değerlerini incelemek yeterli olacak ve gerekli olan en fazla ısınma süresi tüm deney setlerinde kullanılacaktır. Diğer bağımsız değişken olan SB'nin en küçük (1 deniz mili) ve en büyük (10 deniz mili) değerleri incelenmiştir. Başka bir bağımsız değişken olan RS'nin ise deney setlerindeki en küçük değerleri ele alınmıştır. Çünkü RS'nin fazla olması sistemin kararlı hale gelmesini kolaylaştıracağından, en az RS'nin incelenmesi, gerekli ısınma süresinin belirlenmesi için yeterli olacaktır. Tablo 18'de gösterildiği gibi, 4 deney seti incelenmiştir.

Tablo 18: Genel Bir Isınma Süresinin Belirlenmesi için Yapılan Deneyler

Deney	Bağımsız Değişkenler			Simülasyon Tekrar Sayısı	Simülasyon Çalışma Süresi
	GGS	SB (deniz mili)	RS		
1	1.000	1	3	20	1 yıl
2	1.000	10	3	20	1 yıl
3	10.000	1	4	20	1 yıl
4	10.000	10	6	20	1 yıl

Yapılan deneylerde çıktı olarak, sistemde bulunan ortalama gemi sayısı incelenmiştir. EK 10'da, her bir deneyde sistemde bulunan ortalama gemi sayısının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Grafiklerdeki değerler, 20 tekrarın ortalamasıdır. Grafiklerdeki kırmızı çizgiler, sistemin yaklaşık olarak kararlı hale ulaştığı anları göstermektedir.

EK 10'daki grafikler incelendiğinde; 1.deney için yaklaşık 130 saat, 2.deney için yaklaşık 350 saat, 3.deney için yaklaşık 250 saat, 4.deney için ise yaklaşık 170 saatlik ısınma süresinin gerekli olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, yapılacak olan tüm deneyler için 360 saatlik (15 günlük) bir ısınma süresinin uygun olacağı belirlenmiştir.

3.4.4.3. Simülasyon Deneylerinin Yürütülmesi

Her bir deney için simülasyonun çalışma süresi 8760 saat(1 yıl) olarak belirlenmiştir. Bu sürenin 360 saati ısınma süresidir. Her bir deneyin tekrar sayısı ise 20 olarak belirlenmiştir. Simülasyon deneylerinde kullanılan bağımsız değişkenlere ait değerlerin değişim aralıkları Tablo 19’da verilmektedir.

Tablo 19: Simülasyon Deneylerinde Bağımsız Değişkenlerin Değişim Aralıkları

GGS	SB (deniz mili)	RS	Deney Sayısı
1.000	1-10 arası	3-5 arası	30
2.000	1-10 arası	3-7 arası	50
3.000	1-10 arası	3-7 arası	50
4.000	1-10 arası	3-7 arası	50
5.000	1-10 arası	3-7 arası	50
6.000	1-7 arası	3-7 arası	35
	8-10 arası	4-8 arası	15
7.000	1-5 arası	3-7 arası	25
	6-10 arası	4-8 arası	25
8.000	1-3 arası	3-7 arası	15
	4-9 arası	4-8 arası	30
	10	5-9 arası	5
9.000	1-2 arası	3-7 arası	10
	3-7 arası	4-8 arası	25
	8-10 arası	5-9 arası	15
10.000	1-6 arası	4-8 arası	30
	7-9 arası	5-9 arası	15
	10	6-10 arası	5
TOPLAM = 480			

Deneylerde, GGS 1.000 ile 10.000 adet arasında 1.000’er arttırılarak değiştirilmiştir. GGS’nin 10.000 adete kadar belirlenmesinde, İzmit Körfezi’ne bir yılda gelen gemi sayısı dikkate alınmıştır (Url 13). SB, her gemi sayısı için 1 ile 10 deniz mili arasında değişmektedir. RS ise farklı aralıklarda değişmektedir. Örneğin GGS’nin 7.000, SB’nin 6 deniz mili olduğu bir durum için RS 3’ten değil, 4’ten itibaren incelenmeye başlamıştır. Çünkü 7.000 gemi, 6 deniz mili ve 3 römorkör ile yapılan simülasyon deneyi kararlı hale ulaşmamakta ve anlamlı sonuçlar

vermemektedir. Sonuç olarak, kararlı duruma ulaşmayan ve anlamlı sonuçlar vermeyen deney setleri dikkate alınmamıştır.

Deney setlerinde RS'nin 3'ün altında alınmamasının nedeni, modelde aynı anda 3 römorkör talep eden gemilerin (3.büyükölük sınıfına ait gemiler) bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Toplamda 480 adet deneyin simülasyonu her biri 20 tekrar olmak üzere çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Deneylerin her bir tekrarının sonuçları ortalama sonuçlardır. Açıkta bekleme süresi (ABS) ve terminalde bekleme süresi (TBS) değişkenlerine ait sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, her bir deneyin 20 tekrarına ait sonuçların ortalamalarından oluşmaktadır.

3.5. SİMÜLASYON SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZLERİ VE BULGULARIN YORUMLANMASI

Simülasyon deneylerinden elde edilen sonuçların istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle değişkenler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Ardından simülasyon çıktılarının normallik testleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesi ve formüle edilmesi için çoklu doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Son kısımda ise, simülasyon sonuçlarına ait bulgular detaylı bir şekilde yorumlanmıştır.

Bağımsız değişkenlerin kombinasyonlarından oluşan deney setlerinde, bağımsız değişkenlerdeki değişimlerin daima aynı aralıkta olması, sağlıklı bir istatistiksel analiz için önemlidir. Ayrıca, parametrik analiz tekniklerinin uygulanabilmesi için normal dağılan veya dönüşüm uygulandığında normal dağılan verilerin kullanılması da önemlidir. Bunun için, istatistiksel analizlerde, Tablo 20'de verilen bağımsız değişkenlerin değişim aralıklarından oluşan deney setlerine ait sonuçlar analiz edilmiştir.

Tablo 20: İstatistiksel Analizler için Dikkate Alınan Deneyler

GGs	SB (deniz mili)	RS	Toplam Deney Sayısı
2.000-7.000 arası	3-10 arası	4-7 arası	192

GGs'nin 2.000 ile 7.000 arasında (1.000'er değişim), SB'nin 3 ile 10 deniz mili arasında (1'er değişim), RS'nin ise 4 ile 7 arasında değişmesinden oluşan toplamda 192 deney, istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Analizlerde her bir deneyin 20 tekrarının ortalaması dikkate alınmıştır. Bu analizlerin gerçekleştirilmesinde SPSS programı kullanılmıştır.

Simülasyon sonuçlarına ait bulguların yorumlanması kısmında ise, Tablo 19'da verilen bütün deney setlerine ait sonuçlar incelenmiştir.

3.5.1. Değişkenler Arası İlişkilerin İncelenmesi

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesi ve bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusallık problemi olup olmadığının tespiti için Spearman korelasyon analizi uygulanmıştır. Tablo 21'de, değişkenlerin korelasyon analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 21: Değişkenlerin Korelasyon Analizi Sonuçları

Korelasyonlar								
				Bağımsız Değişkenler			Bağımlı Değişkenler	
				GGs	SB	RS	ABS	TBS
Spearman's rho	Bağımsız Değişkenler	GGs	Correlation Coefficient	1,000	0,000	0,000	0,619**	0,205**
			Sig. (2-tailed)	.	1,000	1,000	0,000	0,004
			N	192	192	192	192	192
		SB	Correlation Coefficient	0,000	1,000	0,000	0,449**	0,931**
			Sig. (2-tailed)	1,000	.	1,000	0,000	0,000
			N	192	192	192	192	192
		RS	Correlation Coefficient	0,000	0,000	1,000	-0,616**	-0,233**
			Sig. (2-tailed)	1,000	1,000	.	0,000	0,001
			N	192	192	192	192	192
	Bağımlı Değişkenler	ABS	Correlation Coefficient	0,619**	0,449**	-0,616**	1,000	0,693**
			Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	.	0,000
			N	192	192	192	192	192
		TBS	Correlation Coefficient	0,205**	0,931**	-0,233**	0,693**	1,000
			Sig. (2-tailed)	0,004	0,000	0,001	0,000	.
			N	192	192	192	192	192

** 0.01 seviyesinde (çift kuyruklu) korelasyon anlamlıdır.

p = Anlamlılık değeri

r = Korelasyon katsayısı

Çoklu doğrusal regresyon analizi yapabilmek için, bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon olan çoklu doğrusallık(multi-collinearity) probleminin olmaması gerekmektedir. Tablo 21'e bakıldığında, GGS ile SB arasında herhangi bir ilişki bulunmadığı görülmüştür ($r = 0,000$; $p = 1,000$). GGS ile RS arasında da herhangi bir ilişki gözlemlenmemiştir ($r = 0,000$; $p = 1,000$). Benzer şekilde, SB ile RS arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır ($r = 0,000$; $p = 1,000$). Sonuç olarak, bağımsız değişkenler arasında herhangi bir ilişki olmadığından çoklu doğrusallık problemi bulunmamıştır.

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. GGS ile ABS arasında pozitif yönde, orta düzeyde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r = 0,619$; $p = 0,000$). GGS ile TBS arasında pozitif yönde, zayıf ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir ($r = 0,205$; $p = 0,004$). Korelasyon katsayıları incelendiğinde; GGS arttıkça, TBS'ye nazaran ABS'nin daha fazla arttığı, TBS'deki artışın ise düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

SB ile ABS arasında pozitif yönde, orta düzeyde ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r = 0,449$; $p = 0,000$). SB ile TBS arasında pozitif yönde, yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r = 0,931$; $p = 0,000$). Bu bulgulara göre; SB arttıkça, ABS ve TBS'nin arttığı, fakat TBS'deki artışın oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

RS ile ABS arasında negatif yönde, orta düzeyde ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir ($r = -0,616$; $p = 0,000$). RS ile TBS arasında negatif yönde, zayıf ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r = -0,233$; $p = 0,001$). Buna göre; RS arttıkça, TBS'ye nazaran ABS'nin daha fazla azaldığı, TBS'deki azalışın ise düşük olduğu tespit edilmiştir.

3.5.2. Normallik Testleri

Parametrik analiz tekniklerinin uygulanabilmesi için verilerin normal veya normale yakın bir dağılım göstermesi gerekmektedir. Simülasyon sonucu elde edilen çıktıların yani bağımlı değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediğini tespit etmek için normallik testleri yapılmıştır. Normallik testlerinde hipotezler aşağıdaki gibi kurulabilir:

H_0 : %95 güvenle veriler normal dağılıma sahiptir.

H_1 : %95 güvenle veriler normal dağılıma sahip değildir.

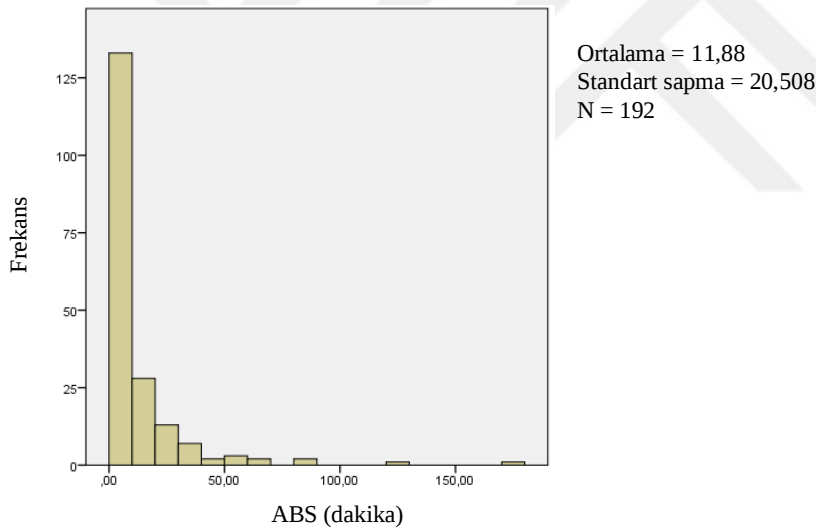
ABS değişkeninin normallik testine ait sonuçlar Tablo 22’de verilmektedir. Değişkenin histogram grafiği ise Şekil 36’da gösterilmektedir.

Tablo 22: ABS Değişkenine Ait Normallik Testi Sonuçları

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ABS	0,282	192	0,000	0,541	192	0,000

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 36: ABS Değişkenine Ait Histogram Grafiği



Normallik testlerinde anlamlılık değeri (Sig.) 0,05’in altında ise, H_0 hipotezi reddedilir. ABS için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerinin anlamlılık değerleri 0,000’dır. Buna göre, ABS’ye ait verilerin normal dağılmadığı belirlenmiştir. Şekil 36’daki histogram grafiğine de bakıldığında, verilerin normal dağılım göstermediği açık bir şekilde görülmektedir.

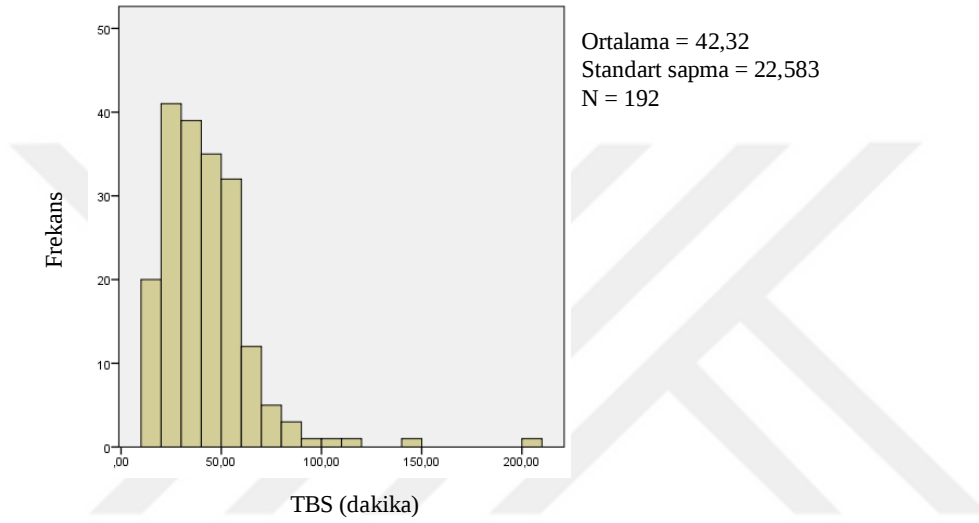
TBS değişkeninin normallik testine ait sonuçlar Tablo 23’te verilmektedir. Değişkenin histogram grafiği ise Şekil 37’de gösterilmektedir.

Tablo 23: TBS Değişkenine Ait Normallik Testi Sonuçları

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TBS	0,124	192	0,000	0,798	192	0,000

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 37: TBS Değişkenine Ait Histogram Grafiği



TBS için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerinin anlamlılık değerleri 0,000'dır. Buna göre, TBS'ye ait verilerin normal dağılmadığı belirlenmiştir. Verilerin normal dağılmadığı Şekil 37'deki grafikten de görülebilmektedir.

Sonuç olarak ABS ve TBS değişkenlerinin normal dağılmadığı, sağa (pozitif) çarpık bir dağılım gösterdikleri görülmektedir.

Herhangi bir değişkene ait veriler pozitif veya negatif çarpıklık gösteriyorsa ve bu veriler kullanılarak parametrik bir test yapılmak isteniyorsa, veriler üzerinde bazı dönüşümler yapmak kaçınılmaz olmaktadır (Altunışık ve diğerleri, 2012: 160).

3.5.2.1. Veri Dönüştürme

Genellikle negatif çarpık dağılımlar kare veya küp dönüşümü kullanılarak en iyi şekilde dönüştürülürken, pozitif çarpıklık için logaritma veya karekök dönüşümü

en çok işe yaramaktadır. Çoğu durumda, araştırmacı olası tüm dönüşümleri uygulayabilmekte ve ardından en uygun dönüştürülmüş değişkeni seçebilmektedir (Hair ve diğerleri, 2014: 76).

ABS değişkenine logaritma dönüşümü uygulanmıştır. Ln(ABS) değişkenine ait normallik testi sonuçları Tablo 24'te, histogram grafiği ise Şekil 38'de verilmektedir.

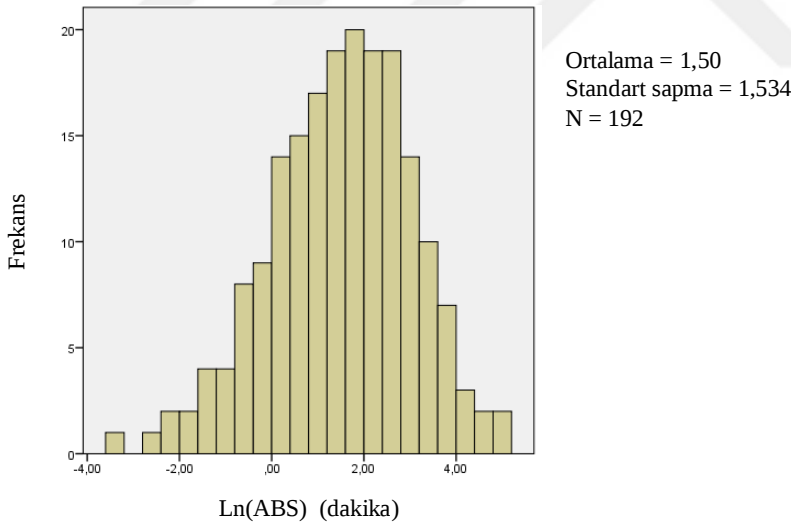
Tablo 24: Ln(ABS) Değişkenine Ait Normallik Testi Sonuçları

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Ln(ABS)	0,043	192	0,200*	0,991	192	0,237

* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 38: Ln(ABS) Değişkenine Ait Histogram Grafiği



Ln(ABS) değişkeni için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerinin anlamlılık değerleri sırasıyla 0,200 ve 0,237'dir. Bu değerler 0,05'in üzerinde olduğu için, her iki test sonucuna göre veriler %95 güvenle normal dağılıma sahiptir.

TBS değişkenine de logaritma dönüşümü uygulanmıştır. Ln(TBS) değişkenine ait normallik testi sonuçları Tablo 25'te, histogram grafiği ise Şekil 39'da verilmektedir.

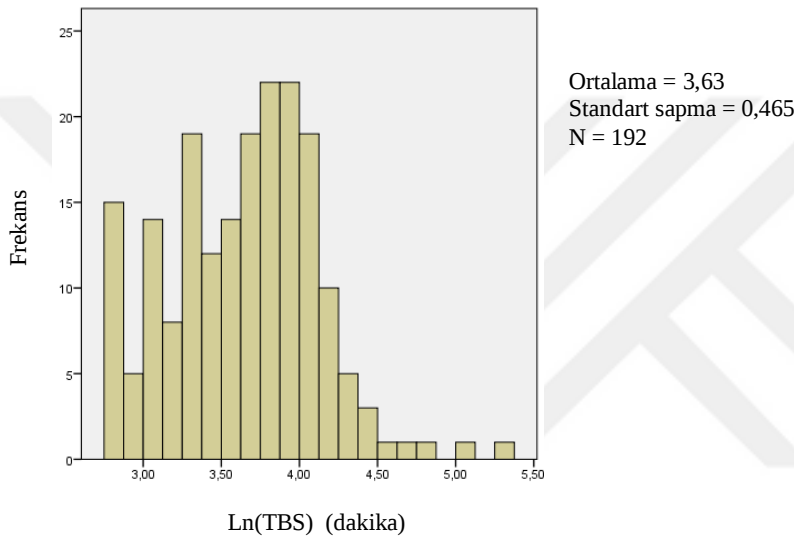
Tablo 25: Ln(TBS) Değişkenine Ait Normallik Testi Sonuçları

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Ln(TBS)	0,057	192	0,200*	0,976	192	0,002

* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 39: Ln(TBS) Değişkenine Ait Histogram Grafiği



Ln(TBS) değişkeni için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerinin anlamlılık değerleri sırasıyla 0,200 ve 0,002'dir. Kolmogorov-Smirnov testi sonucuna göre veriler %95 güvenle normal dağılıma sahiptir. Shapiro-Wilk testi sonucuna göre veriler normal dağılıma uymamaktadır. Kolmogorov-Smirnov testine ait sonuç dikkate alınarak verilerin normal dağıldığı kabul edilmiştir.

Uygulanan dönüşümler sonucunda normal dağılım gösteren Ln(ABS) ve Ln(TBS) bağımlı değişkenleri kullanılarak, çoklu doğrusal regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.5.3. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizleri

Bu kısımda; bağımsız değişkenler olan GGS, SB ve RS ile bağımlı değişkenler olan ABS ve TBS arasındaki ilişkilerin matematiksel modellerinin ortaya

konulması amacıyla gerçekleştirilen çoklu doğrusal regresyon analizleri anlatılmaktadır.

3.5.3.1. Regresyon Modeli 1: Bağımlı Değişkenin Açıkta Bekleme Süresi Olduğu Model

GGs, SB ve RS bağımsız değişkenleri ile Ln(ABS) bağımlı değişkeni arasında çoklu doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 26’da, regresyon modeline ilişkin özet sonuçlar verilmektedir.

Tablo 26: 1.Regresyon Modelinin Özeti

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,989 ^a	0,979	0,978	0,22508
a. Predictors: (Constant), GGS, SB, RS				

R^2 değeri 0,979 olup, bu değer, birlikte ale alınan GGS, SB ve RS bağımsız değişkenlerinin bağımlı değişken olan Ln(ABS)’deki değişimin %97,9’unu açıkladığını göstermektedir.

Regresyon modelinin anlamlı olup olmadığını gösteren ANOVA testi Tablo 27’de verilmektedir.

Tablo 27: 1.Regresyon Modeline Ait ANOVA Testi

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	440,017	3	146,672	2895,211	0,000 ^b
	Residual	9,524	188	0,051		
	Total	449,541	191			
a. Dependent Variable: Ln(ABS)						
b. Predictors: (Constant), GGS, SB, RS						

Tablo 27’ye bakıldığında, F değerine karşılık gelen anlamlılık düzeyi 0,000’dır. Bu değer 0,05’ten küçük olduğu için model anlamlıdır ve regresyon

modelinin bağımlı değişkeni açıklamada istatistiksel açıdan önemli katkı sağladığı söylenebilir.

Tablo 28’de, modelde yer alan değişkenlere ait katsayılarla ilgili bilgiler gösterilmektedir.

Tablo 28: 1.Regresyon Modeline Ait Katsayılar Tablosu

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,621	0,103		15,745	0,000
	GGs	0,560	0,010	0,625	58,888	0,000
	SB	0,306	0,007	0,458	43,141	0,000
	RS	-0,842	0,015	-0,615	-57,937	0,000
a. Dependent Variable: Ln(ABS)						

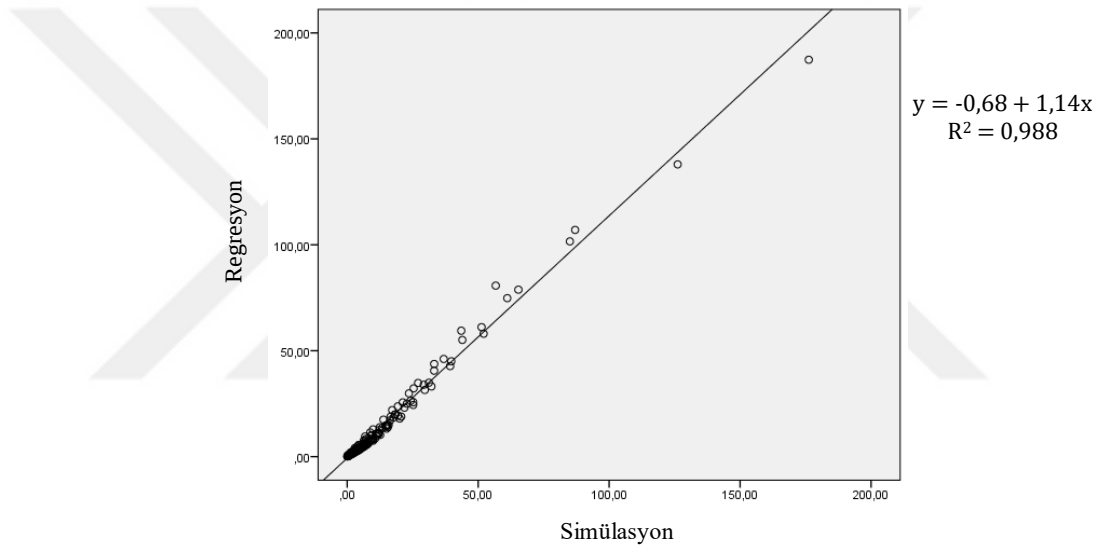
Bir bağımsız değişkene ait B katsayısı, diğer bağımsız değişkenlerin etkileri sabit tutulduğunda, ilgili değişkenin bağımlı değişken üzerine olan etkisini göstermektedir. GGS’deki 1.000 birimlik artışın, Ln(ABS) değişkeninde 0,560 birimlik artışa yol açtığı görülmektedir. Burada t değerine (58,888) karşılık gelen anlamlılık seviyesi ($p = 0,000$) 0,05’ten küçük olduğundan, GGS değişkeninin modelin açıklayıcılığına istatistiksel açıdan anlamlı bir katkı sağladığı söylenebilir. SB’deki 1 birimlik artış, Ln(ABS) değişkenini 0,306 birim arttırmaktadır. SB değişkeninin modelin açıklayıcılığına katkısı anlamlıdır ($p = 0,000$). RS’deki 1 birimlik artış, Ln(ABS) değişkeninde 0,842 birimlik azalmaya neden olmaktadır. RS değişkeninin modelin açıklayıcılığına katkısı anlamlıdır ($p = 0,000$). GGS, SB ve RS bağımsız değişkenlerinin ölçüm düzeyleri farklı olduğundan, değişkenler arasında açıklayıcılık açısından sağlıklı bir karşılaştırma yapmak için standardize edilmiş Beta katsayılarına bakılmıştır. Bağımsız değişkenler arasında en açıklayıcı değişkenler GGS (Beta = 0,625) ve RS (Beta = -0,615) olup, SB (Beta = 0,458) daha sonra gelmektedir.

Tablo 28’e göre, bağımsız değişkenler ile ABS bağımlı değişkeni arasındaki regresyon denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\text{Ln}(\text{ABS}) = 1,621 + (0,560 \times \text{GGS}) + (0,306 \times \text{SB}) - (0,842 \times \text{RS})$$

İstatistiksel analizlerde dikkate alınan 192 adet deneydeki bağımsız değişkenlerin değerleri yukarıda verilen regresyon denkleminde kullanılmış ve ABS değişkenine ait sonuçlar hesaplanmıştır. Regresyon denkleminin geçerliliğini ölçmek için simülasyon sonuçlarıyla regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. ABS değişkeninin simülasyon ve regresyon sonuçlarına ait saçılım grafiği Şekil 40'ta gösterilmektedir.

Şekil 40: ABS Değişkeninin Simülasyon ve Regresyon Sonuçlarına Ait Saçılım Grafiği



Simülasyon ve regresyon sonuçlarının yaklaşık olarak 45°'lik bir doğru etrafında dağılması, regresyon denkleminin simülasyon sonuçlarını temsil etmede güçlü olduğunu gösterecektir. Şekil 40 incelendiğinde, değerlerin 45°'ye yakın bir doğru etrafında dağıldığı görülmektedir. Buna göre; yukarıda verilen ABS bağımlı değişkeni ile ilgili regresyon denkleminin, istatistiksel analizlerde dikkate alınan deneyler kapsamında geçerli olduğu söylenebilir.

3.5.3.2. Regresyon Modeli 2: Bağımlı Değişkenin Terminalde Bekleme Süresi Olduğu Model

GGs, SB ve RS bağımsız değişkenleri ile Ln(TBS) bağımlı değişkeni arasında çoklu doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 29’da regresyon modeli ile ilgili özet sonuçlar verilmektedir.

Tablo 29: 2.Regresyon Modelinin Özeti

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,959 ^a	0,920	0,918	0,13290
a. Predictors: (Constant), GGS, SB, RS				

Tablo 29 incelendiğinde, R² değerinin 0,920 olduğu görülmektedir. Bu değer, birlikte ele alınan GGS, SB ve RS bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan Ln(TBS)’deki değişimin %92’sini açıkladığını göstermektedir.

Tablo 30’da, regresyon modelinin anlamlı olup olmadığını gösteren ANOVA testi verilmektedir.

Tablo 30: 2.Regresyon Modeline Ait ANOVA Testi

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	38,019	3	12,673	717,534	0,000 ^b
	Residual	3,320	188	0,018		
	Total	41,340	191			
a. Dependent Variable: Ln(TBS)						
b. Predictors: (Constant), GGS, SB, RS						

Tablo 30’a bakıldığında, F değerine karşılık gelen anlamlılık düzeyi 0,000’dır. Bu değer 0,05’ten küçük olduğu için model anlamlıdır ve regresyon modelinin bağımlı değişkeni açıklamada istatistiksel açıdan önemli katkı sağladığı söylenebilir.

Modelde yer alan değişkenlere ait katsayılarla ilgili bilgiler Tablo 31’de gösterilmektedir.

Tablo 31: 2.Regresyon Modeline Ait Katsayılar Tablosu

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2,759	0,061		45,378	0,000
	GGs	0,061	0,006	0,223	10,795	0,000
	SB	0,182	0,004	0,897	43,419	0,000
	RS	-0,105	0,009	-0,254	-12,282	0,000
a. Dependent Variable: Ln(TBS)						

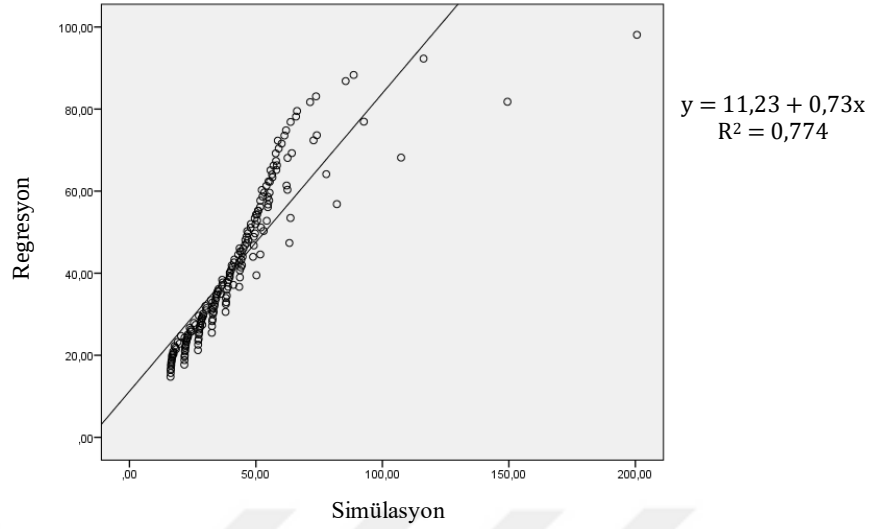
GGs'deki 1.000 birimlik artış, Ln(TBS)'de 0,061 birimlik artışa yol açmaktadır. GGs değişkeni, modelin açıklayıcılığına istatistiksel açıdan anlamlı bir katkı sağlamaktadır ($p = 0,000$). SB'deki 1 birimlik artış, Ln(TBS) değişkenini 0,182 birim arttırmaktadır. SB değişkeninin modelin açıklayıcılığına katkısı anlamlıdır ($p = 0,000$). RS'de gerçekleşen 1 birimlik artış, Ln(TBS)'de 0,105 birim azalmaya neden olmaktadır. RS değişkeninin modelin açıklayıcılığına katkısı anlamlıdır ($p = 0,000$). Standardize edilmiş Beta katsayılarına göre, bağımsız değişkenler arasında en açıklayıcı değişken SB (Beta = 0,897) olup, ardından RS (Beta = -0,254) ve GGs (Beta = 0,223) değişkenleri gelmektedir.

Tablo 31'e göre, bağımsız değişkenler ile TBS bağımlı değişkeni arasındaki regresyon denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\text{Ln(TBS)} = 2,759 + (0,061 \times \text{GGs}) + (0,182 \times \text{SB}) - (0,105 \times \text{RS})$$

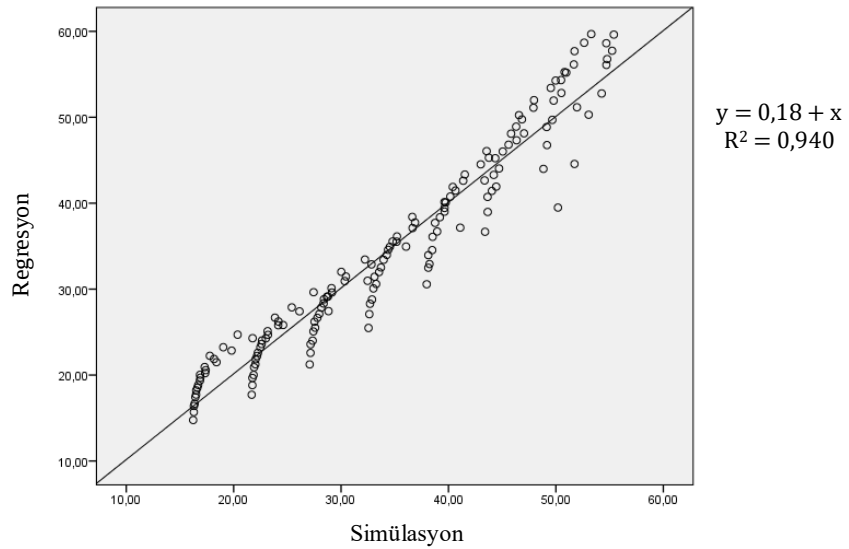
İstatistiksel analizlerde dikkate alınan 192 adet deneydeki bağımsız değişkenlerin değerleri yukarıda verilen regresyon denkleminde kullanılmış ve TBS değişkenine ait sonuçlar hesaplanmıştır. Regresyon denkleminin geçerli olup olmadığını tespit etmek için simülasyon sonuçlarıyla regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. TBS değişkeninin simülasyon ve regresyon sonuçlarına ait saçılım grafiği Şekil 41'de gösterilmektedir.

Şekil 41: TBS Değişkeninin Simülasyon ve Regresyon Sonuçlarına Ait Saçılım Grafiği



Şekil 41 incelendiğinde, sonuçların 45° veya buna yaklaşık bir doğru etrafında dağılmadığı görülmektedir. TBS değişkeninin simülasyon ve regresyon sonuçları incelenmiştir. Regresyon denkleminin, TBS değişkeninin 60 dakika ve üzerindeki değerlerinde simülasyon sonuçlarını yeterince iyi temsil etmediği görülmüştür. Değişkenin 60 dakikanın altındaki değerleri için simülasyon ve regresyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya ait saçılım grafiği Şekil 42’de verilmektedir.

Şekil 42: TBS Değişkeninin 60 Dakikanın Altındaki Değerleri için Simülasyon ve Regresyon Sonuçlarına Ait Saçılım Grafiği



Şekil 42 incelendiğinde, değerlerin 45°'lik bir doğru etrafında dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre yukarıda verilen TBS bağımlı değişkeni ile ilgili regresyon denkleminin, istatistiksel analizlerde dikkate alınan deneyler kapsamında, değişkenin yaklaşık 60 dakikanın altındaki değerleri için geçerli olduğu söylenebilir.

3.5.4. Bulguların Yorumlanması

Simülasyon deneylerinin yürütülmesi sonucunda elde edilen bulgular yorumlanırken, performans ölçümü olarak gemilerin açıkta bekleme süresi ve terminalde bekleme süresi değişkenleri dikkate alınmıştır. Değişen gemi sayıları ve saha büyüklüklerinde, römorkörcülük teşkilatlarının elinde bulundurması gereken minimum römorkör sayıları ile ilgili yorumlar yapılmıştır. Ayrıca, teşkilatların sahip olabileceği belli sayıdaki römorkörle, gemi sayılarının değişiklik gösterdiği durumlarda, hizmet verebilecekleri maksimum saha büyüklükleri ile ilgili yorumlara da yer verilmiştir.

3.5.4.1. Açıkta Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişki

Bu kısımda; ABS ile SB arasındaki ilişkinin, GGS sabit tutulduğunda RS açısından değişimleri ve RS sabit tutulduğunda GGS açısından değişimleri ile ilgili bulgular anlatılmaktadır.

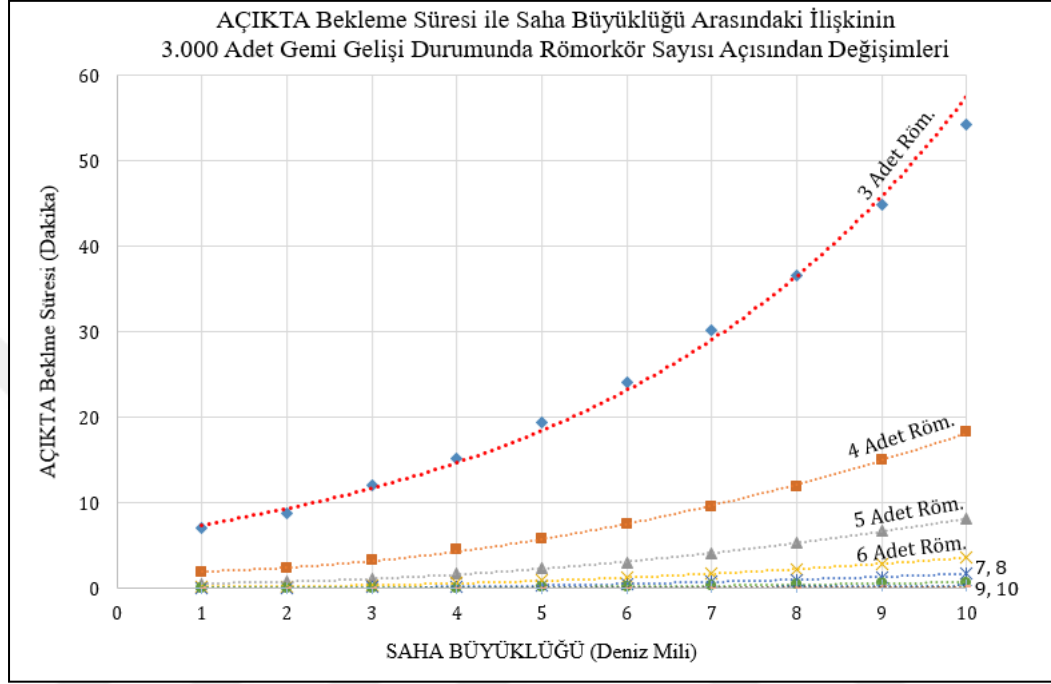
3.5.4.1.1. Açıkta Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişkinin Römorkör Sayısı Açısından Değişimleri

GGS sabit olarak belirlendiğinde, ABS ile SB arasındaki ilişkinin RS açısından değişimleri incelenmiştir. 1.000, 2.000,, 10.000 arasında her binlik GGS sabiti için grafikler oluşturulmuştur. Bütün grafikler EK 11'de verilmektedir. Bu kısımda yalnızca GGS'nin 3.000, 5.000 ve 10.000 olduğu durumlardaki grafikler verilmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 43'te, GGS'nin 3.000 adet olması durumunda, ABS ile SB arasındaki

ilişkinin RS açısından değişimleri gösterilmektedir.

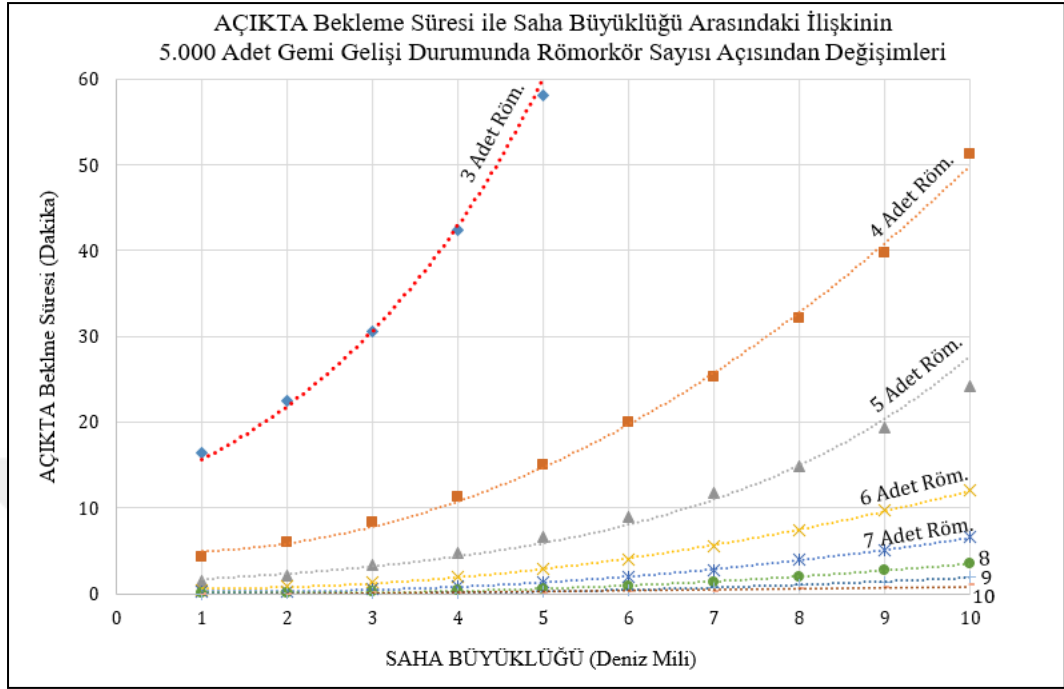
Şekil 43: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



Römorkörlerin açıktaki gemilerin talebine cevap verme süresi, uzman görüşlerine göre yaygın olarak maksimum 10 dk civarı kabul edilmektedir. GGS'nin 3.000 adet olması durumunda, gemileri açıktaki maksimum 10 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, 1 veya 2 deniz mili gibi küçük çaplı SB'lerde 3 adet römorkörün yeterli olduğu görülmektedir. Ancak, SB arttıkça 3 adet römorkör yetersiz kalmaktadır. 8, 9, 10 deniz mili çaplarındaki liman sahalarında 4 adet römorkör dahi ihtiyacı karşılayamamaktadır. Bu saha büyüklüklerinde en az 5 adet römorkör, hizmete cevap verme süresi açısından nispeten daha iyi sonuçlar vermektedir. Şekil 43'e genel olarak bakıldığında, GGS'nin 3.000 adet olduğu durumda, büyük SB'lerde RS'nin 6 adetten fazla olmasının ABS'de kayda değer bir azalma yaratmadığı görülmektedir.

Şekil 44'te, GGS'nin 5.000 adet olduğu durumda, ABS ile SB arasındaki ilişkinin RS açısından değişimleri gösterilmektedir.

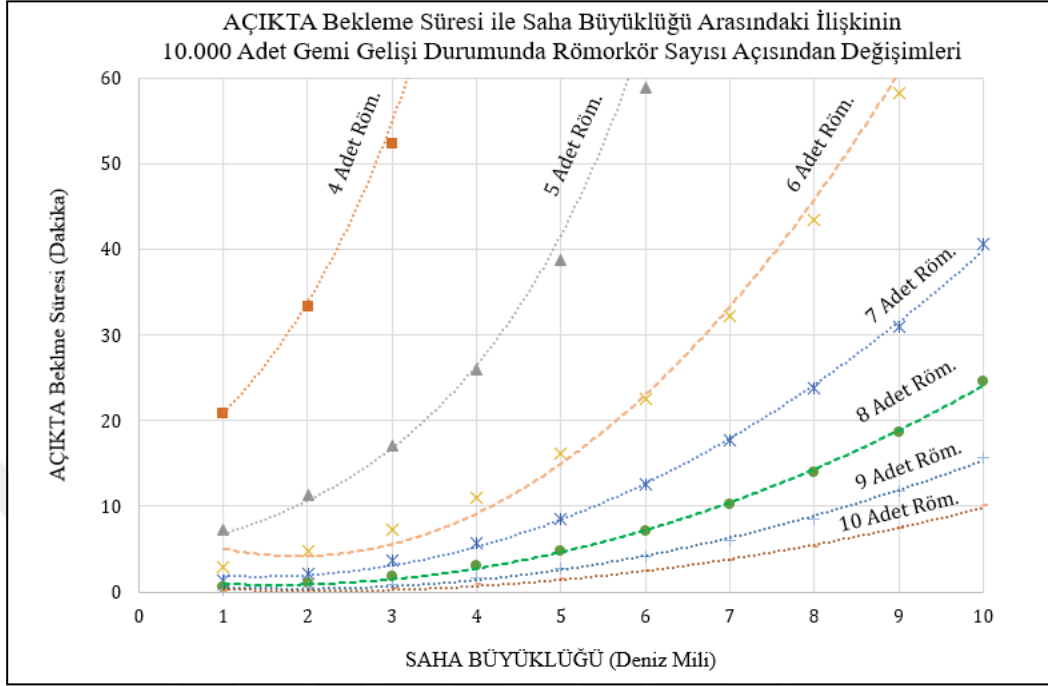
Şekil 44: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 5.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



GGs'nin 5.000 adet olduğu durumda, gemileri açıkta maksimum 10 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, 1, 2 ve 3 deniz mili çaplarındaki SB'ler için en az 4 adet römorkörün gerekli olduğu görülmektedir. 4 ile 7 deniz mili arasındaki SB'lerde en az 5 veya 6 adet römorkör bulunmalıdır. Daha büyük SB'lerde ise en az 6 veya 7 adet römorkörün gerekli olduğu görülmektedir. Şekil 44 genel olarak incelendiğinde, GGS'nin 5.000 adet olduğu bir durumda, büyük SB'lerde RS'nin 7 veya 8'den fazla olmasının ABS'de önemli derecede bir azalma sağlamadığı görülmektedir.

Şekil 45'te, GGS'nin 10.000 adet olduğu durumda, ABS ile SB arasındaki ilişkinin RS açısından değişimleri gösterilmektedir.

Şekil 45: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



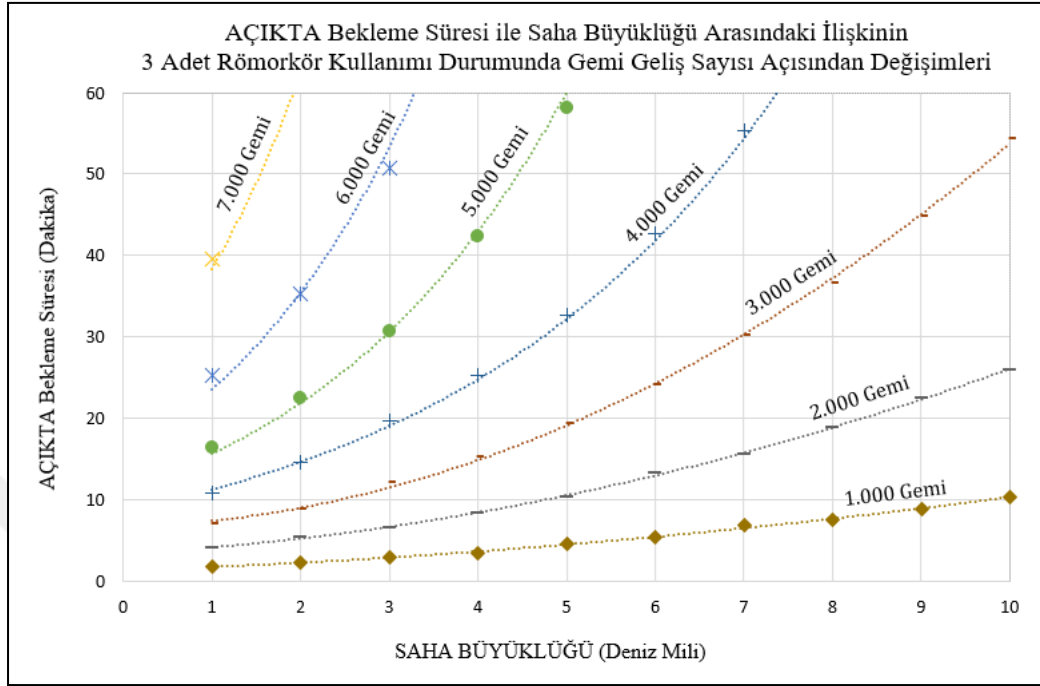
GGs'nin 10.000 adet olması halinde, gemileri açıkta maksimum 10 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, 1 deniz mili çapındaki bir SB için en az 5 adet römorkörün ihtiyacı karşılayabildiği görülmektedir. 2 veya 3 deniz mili SB'lerde en az 6 adet römorkör, 4 veya 5 deniz mili SB'lerde ise en az 7 adet römorkör gerekmektedir. 6 veya 7 deniz mili olan bir SB için en az 8 römorköre, 8 deniz mili bir SB için ise en az 9 römorköre ihtiyaç vardır. 9 veya 10 deniz miline sahip bir SB'de en az 10 adet römorkör bulunması gerekmektedir.

3.5.4.1.2. Açıkta Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişkinin Gemi Geliş Sayısı Açısından Değişimleri

RS sabit olarak belirlendiğinde, ABS ile SB arasındaki ilişkinin GGS açısından değişimleri incelenmiştir. 3, 4,, 10 arasında her RS sabiti için grafikler oluşturulmuştur. Bu grafikler EK 12'de verilmektedir. Bu kısımda yalnızca RS'nin 3, 6 ve 10 adet olduğu durumlardaki grafikler verilmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 46'da RS'nin 3 adet olması durumunda, ABS ile SB arasındaki ilişkinin GGS açısından değişimleri verilmektedir.

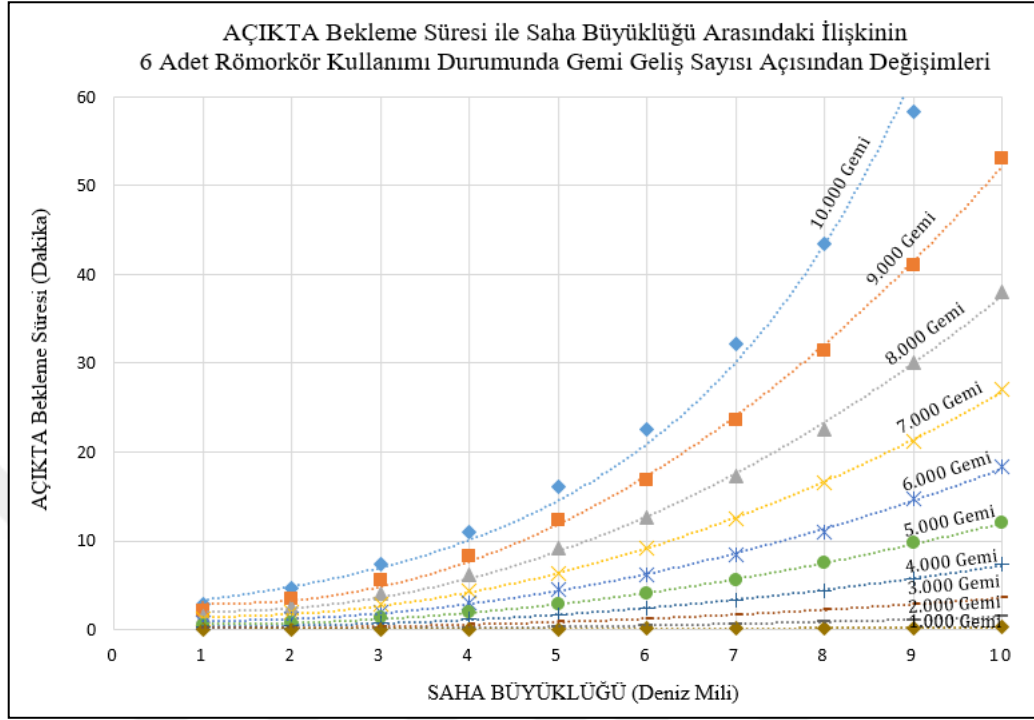
Şekil 46: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 3 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



Gemileri açıkta maksimum 10 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, GGS'nin 1.000 adet olduğu durumda, 3 adet römorkörün tüm SB'lerde yeterli olduğu görülmektedir. 2.000 gemi olması halinde, 3 römorkör ile maksimum 4 deniz miline kadar SB'lerde hizmet verilebilir. GGS 3.000 adete çıktığında, 3 römorkör kullanılarak en fazla 2 deniz mili bir SB'de hizmet sağlanabilir. 3.000 gemiden fazla olması halinde 3 römorkör ile verilecek olan hizmetin yetersiz kaldığı görülmektedir.

Şekil 47'de RS'nin 6 adet olması durumunda, ABS ile SB arasındaki ilişkinin GGS açısından değişimleri verilmektedir.

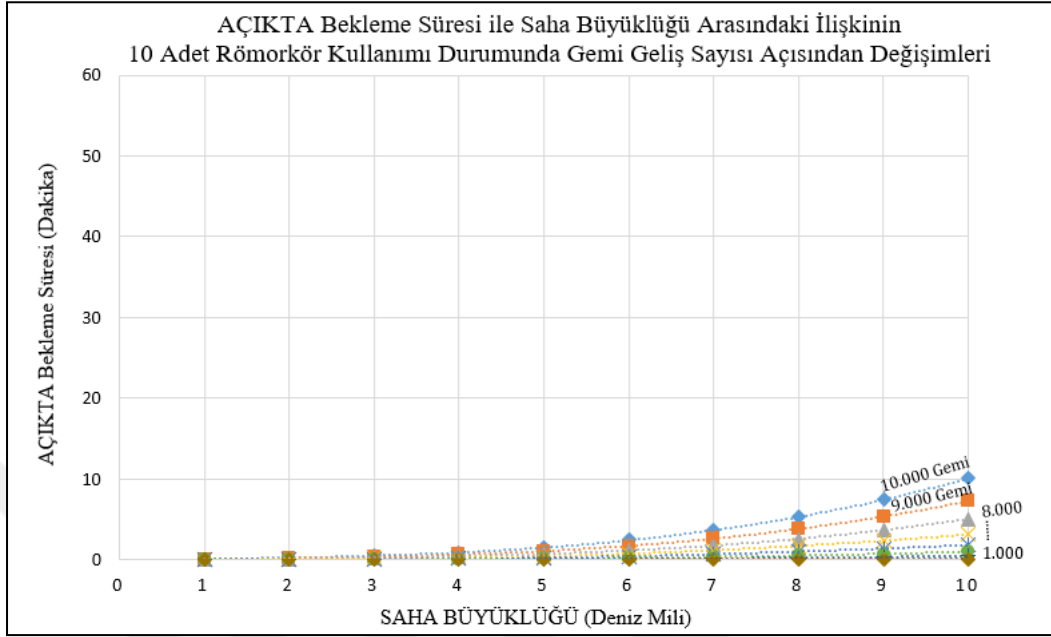
Şekil 47: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 6 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



Şekil 47 incelendiğinde, gemileri açıkta maksimum 10 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, 4.000 adete kadar gemi gelişleri için tüm SB’lerde 6 adet römorkörün yeterli olduğu görülmektedir. 5.000 gemi olduğunda en fazla 9 deniz mili bir SB’de, 6.000 gemi olduğunda en fazla 7 deniz mili bir SB’de hizmet verilebilir. 7.000 gemi olması halinde en fazla 6 deniz mili, 8.000 gemi olduğunda ise maksimum 5 deniz mili bir SB’de 6 römorkör ile hizmet sağlanabilir. 9.000 ve 10.000 gemi gelişlerinde ise sırasıyla en fazla 4 ve 3 deniz mili SB’lerde 6 adet römorkör kullanılabilir.

Şekil 48’de RS’nin 10 adet olması durumunda, ABS ile SB arasındaki ilişkinin GGS açısından değişimleri verilmektedir.

Şekil 48: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 10 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



Şekil 48 incelendiğinde, tüm gemi gelişleri için bütün SB’lerde 10 adet römorkör kullanılması durumunda, ABS’nin 10 dakikadan fazla olmadığı görülmektedir. Buna göre 10 adet römorkörün tüm GGS’lerde ve SB’lerde ihtiyacı karşılayabildiği söylenebilir.

3.5.4.2. Terminalde Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişki

Bu kısımda; TBS ile SB arasındaki ilişkinin, GGS sabit tutulduğunda RS açısından değişimleri ve RS sabit tutulduğunda GGS açısından değişimleri ile ilgili bulgular anlatılmaktadır.

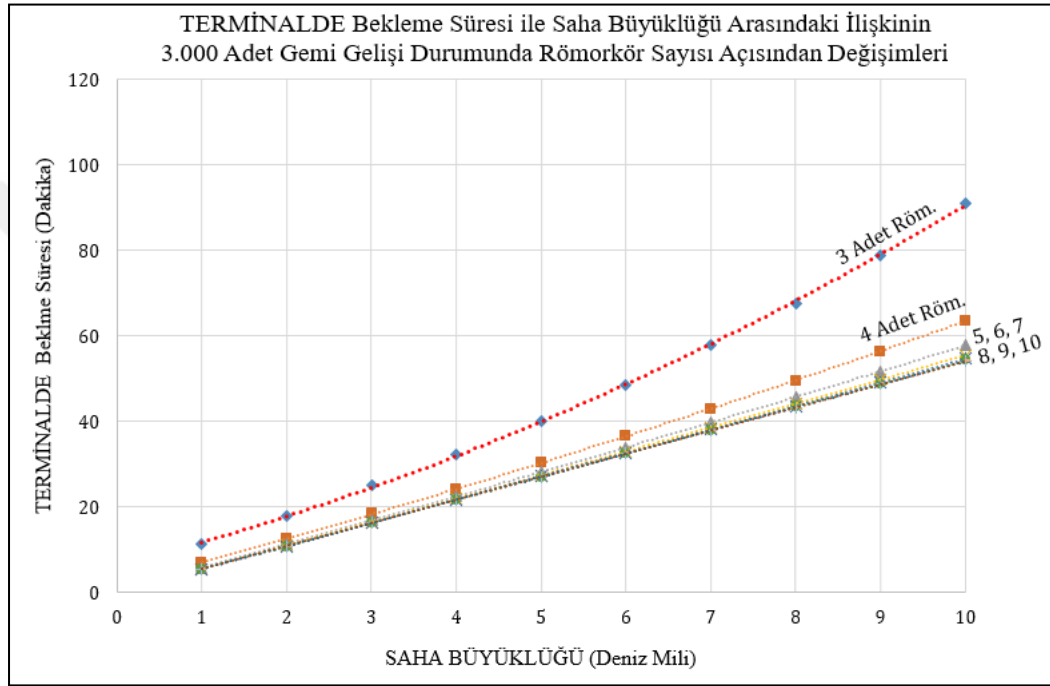
3.5.4.2.1. Terminalde Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişkinin Römorkör Sayısı Açısından Değişimleri

GGS sabit olarak belirlendiğinde, TBS ile SB arasındaki ilişkinin RS açısından değişimleri incelenmiştir. 1.000, 2.000,, 10.000 arasında her binlik GGS sabiti için grafikler oluşturulmuştur. Bütün grafikler EK 13’te verilmektedir.

Bu kısımda yalnızca GGS'nin 3.000, 5.000 ve 10.000 adet olduğu durumlardaki grafikler verilmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 49'da, GGS'nin 3.000 adet olması durumunda, TBS ile SB arasındaki ilişkinin RS açısından değişimleri gösterilmektedir.

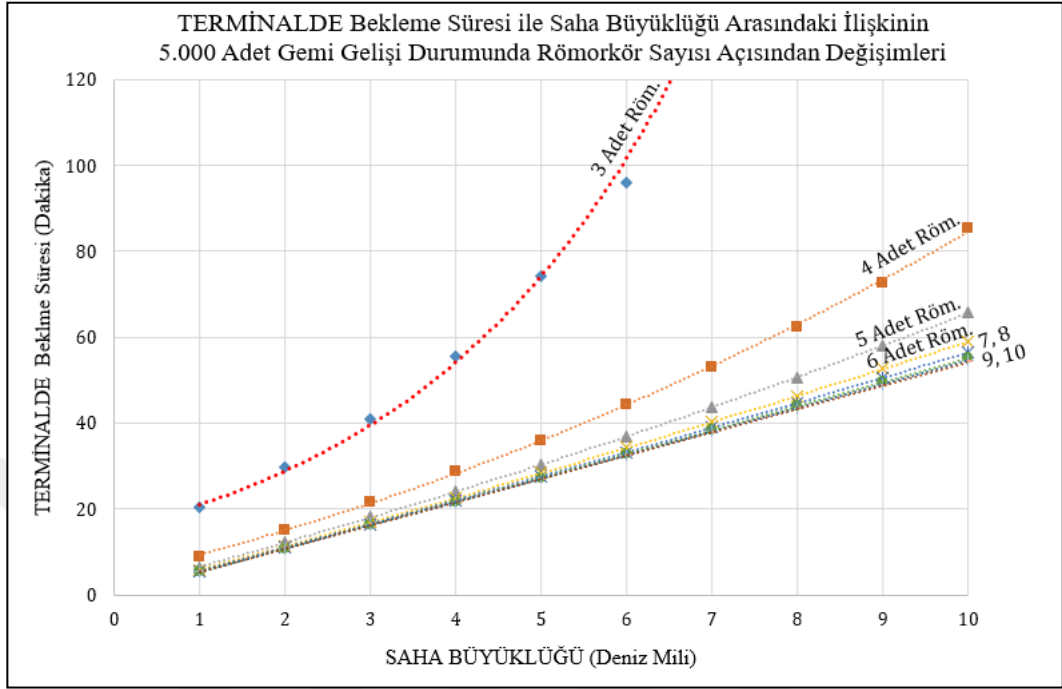
Şekil 49: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



Römorkörlerin terminaldeki gemilerin talebine cevap verme süresi, uzman görüşlerine göre yaygın olarak maksimum 60 dk kabul edilmektedir. GGS'nin 3.000 adet olduğu bir durumda, gemileri terminalde maksimum 60 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, 7 deniz mili SB'ye kadar 3 adet römorkörün yeterli olduğu görülmektedir. Daha büyük SB'lerde 3 adet römorkörün kullanılması, TBS'nin 60 dakikadan fazla olmasına neden olmaktadır. 8 ve 9 deniz mili SB'ler için en az 4 adet römorkör gereklidir. 10 deniz mili bir SB için gerekli minimum römorkör sayısı ise 5 adettir. Şekil 49'a genel olarak bakıldığında, GGS'nin 3.000 adet olduğu durumda, büyük SB'lerde RS'nin 5'ten fazla olmasının TBS'de önemli derecede bir azalma sağlamadığı görülmektedir.

Şekil 50'de, GGS'nin 5.000 adet olduğu durumda, TBS ile SB arasındaki ilişkinin RS açısından değişimleri gösterilmektedir.

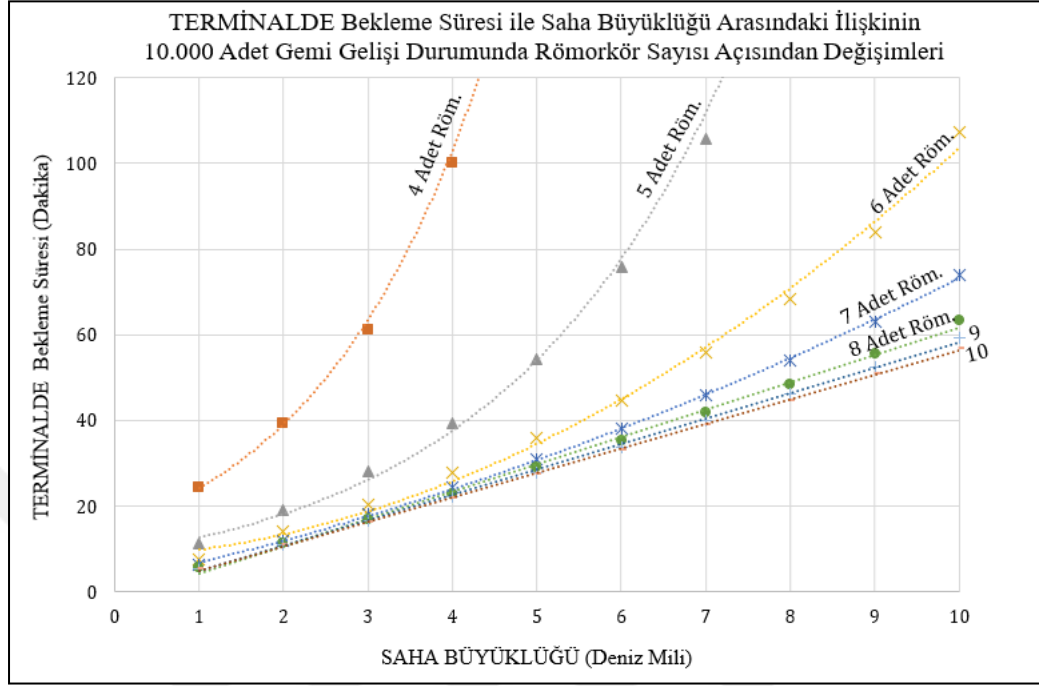
Şekil 50: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 5.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



GGs'nin 5.000 adet olduğu durumda, gemileri terminalde maksimum 60 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, 4 deniz mili SB'ye kadar 3 adet römorkörün yeterli olduğu görülmektedir. 5 ile 7 deniz mili arasındaki SB'lerde en az 4 adet römorkör, 8 ve 9 deniz mili SB'lerde ise en az 5 adet römorkör bulunması gereklidir. 10 deniz miline sahip bir SB için en az 6 adet römorköre ihtiyaç vardır. GGS'nin 5.000 adet olduğu durumda, büyük SB'lerde RS'nin 6'dan fazla olmasının TBS'de önemli derecede bir azalma sağlamadığı görülmektedir.

Şekil 51'de, GGS'nin 10.000 adet olduğu durumda, TBS ile SB arasındaki ilişkinin RS açısından değişimleri gösterilmektedir.

Şekil 51: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



GGs'nin 10.000 adet olması halinde, gemileri terminalde maksimum 60 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, 1 ve 2 deniz miline sahip SB'lerde en az 4 adet römorkör bulunmalıdır. 3 ile 5 deniz mili arasındaki SB'lerde en az 5 adet römorköre ihtiyaç vardır. 6 ve 7 deniz mili SB'lerde en az 6 adet römorkör, 8 deniz mili bir SB için ise en az 7 adet römorkör gereklidir. 9 deniz mili bir SB için en az 8 adet römorköre, 10 deniz mili bir SB için ise en az 9 adet römorköre ihtiyaç vardır. GGS'nin 10.000 adet olduğu durumda, büyük SB'lerde RS'nin 8 veya 9'dan fazla olmasının TBS'de önemli derecede bir azalma sağlamadığı görülmektedir.

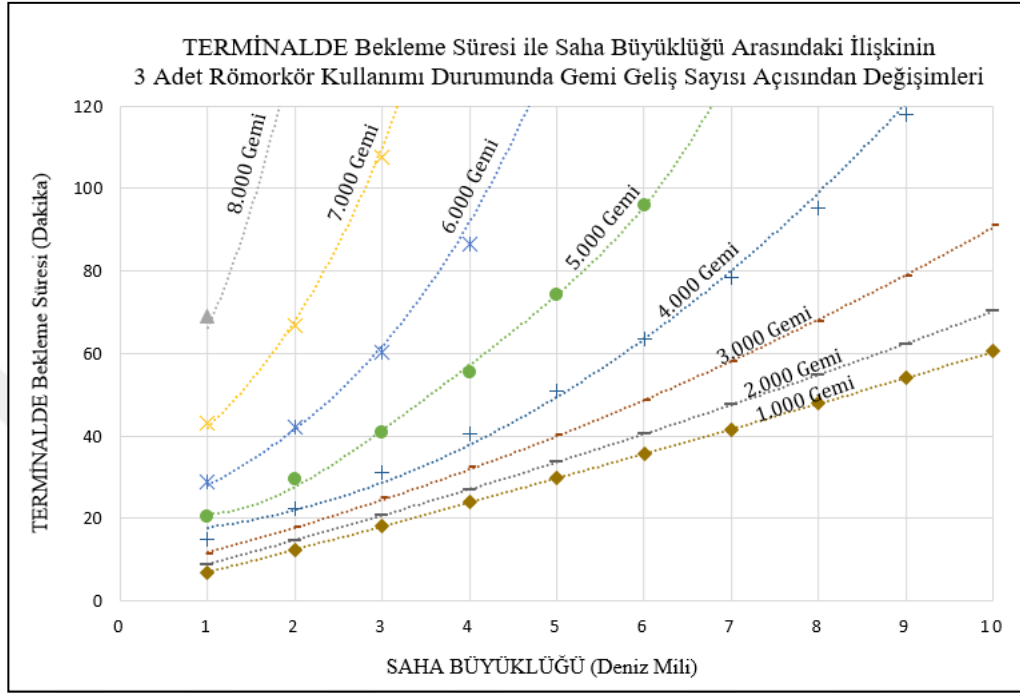
3.5.4.2.2. Terminalde Bekleme Süresi ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişkinin Gemi Geliş Sayısı Açısından Değişimleri

RS sabit olarak belirlendiğinde, TBS ile SB arasındaki ilişkinin GGS açısından değişimleri incelenmiştir. 3, 4,, 10 arasında her RS sabiti için grafikler oluşturulmuştur. Bu grafikler EK 14'te verilmektedir. Bu kısımda yalnızca RS'nin 3, 6 ve 10 adet olduğu durumlardaki grafikler verilmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 52'de, RS'nin 3 adet olması durumunda, TBS ile SB arasındaki ilişkinin

GGs açısından değişimleri verilmektedir.

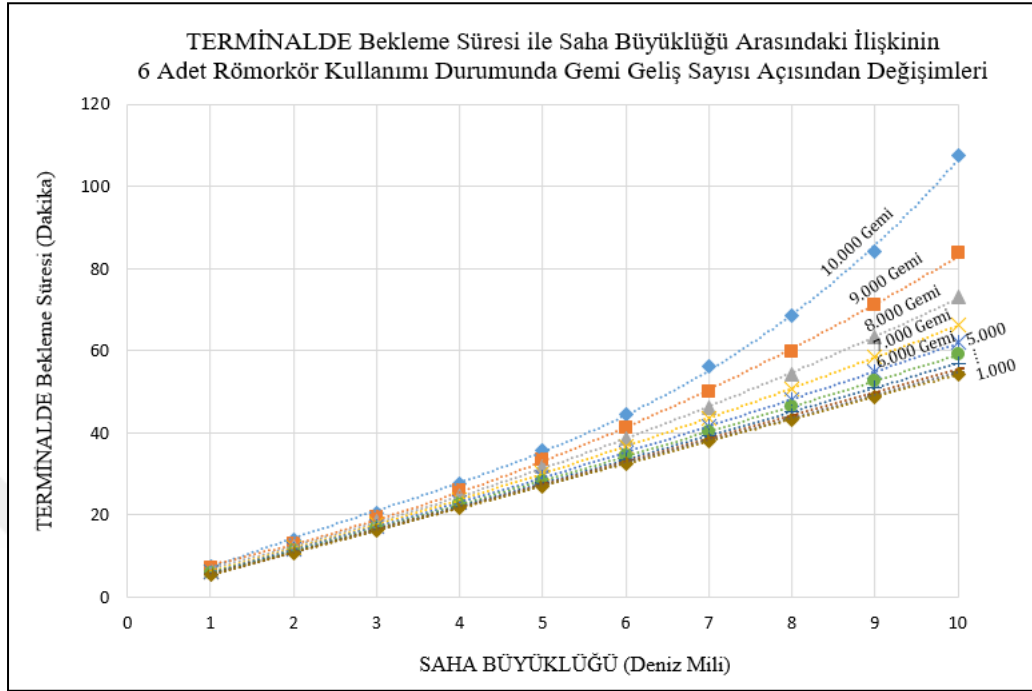
Şekil 52: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 3 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



Gemileri terminalde maksimum 60 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, GGS 1.000 adet olduğunda tüm SB'ler için 3 adet römorkörün yeterli olduğu görülmektedir. 2.000 adet gemi geliş durumunda, 3 adet römorkör ile maksimum 8 deniz mili bir SB'de hizmet verilebilir. 3.000 adet gemi gelişinde en fazla 7 deniz mili bir SB'de, 4.000 adet gemi gelişinde ise en fazla 5 deniz mili bir SB'de hizmet sağlanabilir. GGS 5.000 adet olduğunda en fazla 4 deniz mili bir SB'de, 6.000 adet olduğunda ise en fazla 3 deniz mili bir SB'de 3 adet römorkör kullanılabilir. 7.000 adet gemi gelişinde yalnızca 1 deniz mili SB'de hizmet verilebilir. 8.000 adet ve üzeri gemi gelişlerinde 3 adet römorkör kullanımının yetersiz olduğu görülmektedir.

Şekil 53'te, RS'nin 6 adet olması durumunda, TBS ile SB arasındaki ilişkinin GGS açısından değişimleri verilmektedir.

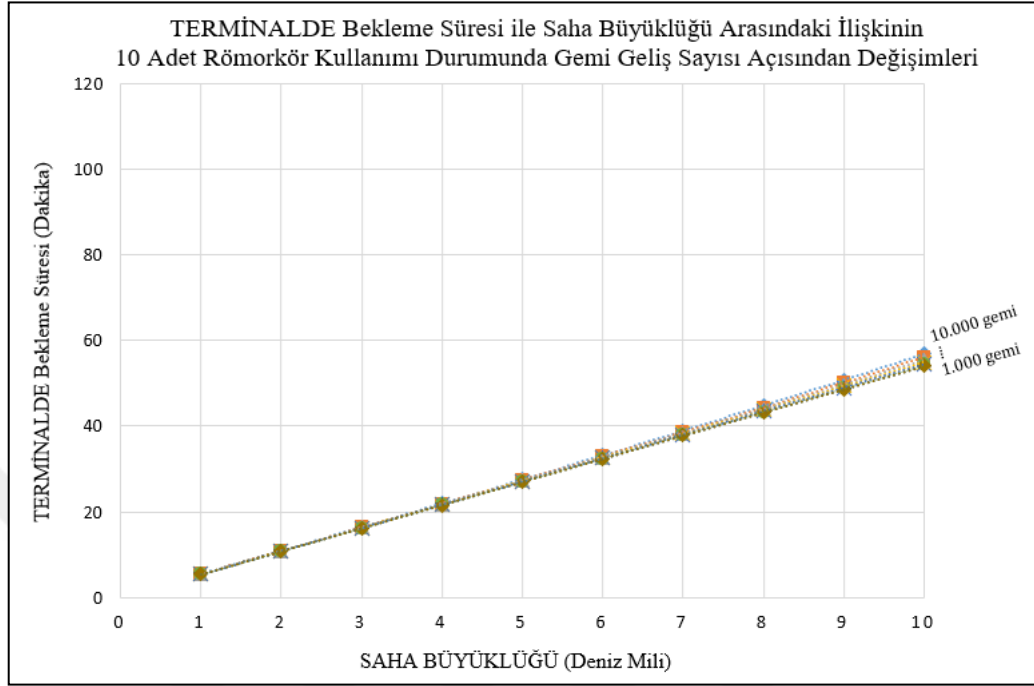
Şekil 53: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 6 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



Şekil 53 incelendiğinde, gemileri terminalde 60 dk bekletme kısıtı dikkate alındığında, 5.000 adete kadar gemi gelişleri için tüm SB’lerde 6 adet römorkörün yeterli olduğu görülmektedir. 6.000 ve 7.000 adet gemi gelişleri için en fazla 9 deniz mili bir SB’de hizmet verilebilir. GGS’nin 8.000 ve 9.000 adet olduğu durumlarda ise en fazla 8 deniz mili bir SB’de hizmet sağlanabilir. 10.000 adet gemi geliş için en fazla 7 deniz mili bir SB’de 6 adet römorkör kullanılabilir.

Şekil 54’te, RS’nin 10 adet olması durumunda, TBS ile SB arasındaki ilişkinin GGS açısından değişimleri verilmektedir.

Şekil 54: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 10 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



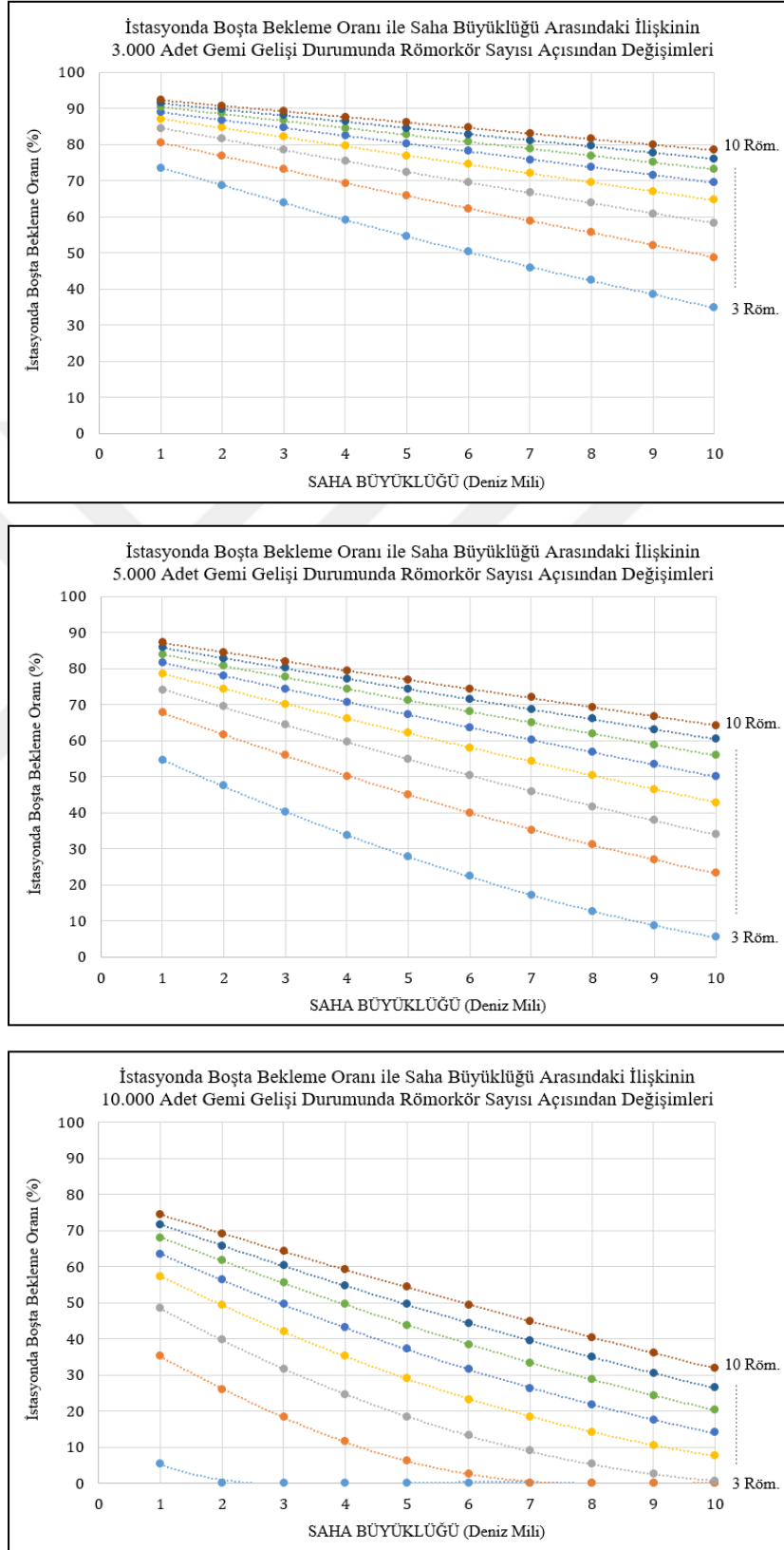
Şekil 54 incelendiğinde, tüm gemi gelişleri için bütün SB'lerde 10 adet römorkör kullanılması durumunda, TBS'nin 60 dakikadan fazla olmadığı görülmektedir. Buna göre 10 adet römorkörün tüm GGS'lerde ve SB'lerde ihtiyacı karşılayabildiği söylenebilir.

3.5.4.3. İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile Saha Büyüklüğü Arasındaki İlişki

Römorkörlerin hizmet vermediği zamanları temsil eden istasyonda boşta bekleme oranı ile SB arasındaki ilişkinin, GGS sabit tutulduğunda RS açısından değişimleri incelenmiştir. 1.000, 2.000,, 10.000 arasında her binlik GGS sabiti için grafikler oluşturulmuştur. Bu grafikler EK 15'te verilmektedir. Bu kısımda yalnızca, GGS'nin 3.000, 5.000 ve 10.000 adet olduğu durumlardaki grafikler verilmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 55'te, GGS'nin 3.000, 5.000 ve 10.000 adet olduğu durumlarda, istasyonda boşta bekleme oranı ile SB arasındaki ilişkinin RS açısından değişimleri gösterilmektedir.

Şekil 55: İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000, 5.000 ve 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumlarında RS Açısından Değişimleri



GGG'nin 3.000 adet olduğu durumda, 10 adet r m rk rle hizmet verilmesi halinde r m rk rler, k   k SB'lerde %86 - %92 arası oranlarda, b   k SB'lerde ise %78 - %85 oranlarında boşta kalmaktadır. R m rk r sayısı 3 adete indiğinde ise r m rk rler, k   k SB'lerde %55 - %74 arası oranlarda, b   k SB'lerde ise %35 - %50 arası oranlarda kullanılmamaktadır.

GGG 5.000 adet olduğunda, 10 adet r m rk r kullanılması halinde r m rk rler, k   k SB'lerde %77 - %87 oranlarında, b   k SB'lerde ise %64 - %74 oranlarında boşta beklemektedir. 3 adet r m rk rle hizmet verilmesi durumunda ise r m rk rler, k   k SB'lerde %28 - %55 arası oranlarda, b   k SB'lerde ise %5 - %23 arası oranlarda boşta kalmaktadır.

GGG'nin 10.000 adet olması durumunda, 10 adet r m rk r kullanılırsa r m rk rler, k   k SB'lerde %54 - %74 oranlarında, b   k SB'lerde ise %32 - %49 oranlarında boşta beklemektedir. R m rk r sayısı 3 adete indiğinde ise r m rk rler, 1 deniz mili bir SB'de %5, diğer b   t n SB'lerde ise %0 oranında boşta kalmaktadır. GGG'nin 10.000 adet olduğu durumda, 3 adet r m rk r n yetersiz kaldığı daha  nce verilen bulgulardan da g r lebilir.

3.6. TARTIşMA

Bu araştırma sonucunda elde edilen bulgular ile ger ek bir liman b lgesine ait veriler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılan liman b lgesi, Gemlik K rfezi'ndeki liman b lgesidir.

Kılavuzluk ve r m rk rc   k hizmetleri ile ilgili Genelge'ye g re, Gemlik K rfezi'nde hizmet verecek olan bir teşkilatın A sınıfı r m rk rc   k faaliyet lisansına sahip olması gerekmektedir. İlgili Y netmeliğe g re ise, A sınıfı r m rk rc   k faaliyet lisansı i in bir teşkilatta en az 6 adet r m rk r bulunmalıdır. En son yapılan yetkilendirmelerde, Gemlik K rfezi i in, A sınıfı r m rk rc   k faaliyet lisansına sahip bir teşkilata hizmet izni verilmiştir. Teşkilattan alınan bilgiye g re, mevcut durumda hizmet veren 6 adet r m rk r bulunmaktadır. Denizcilik Genel M   rl ğ 'n n 2019 yılına ait istatistiklerine g re, Gemlik K rfezi'ne toplam 3.490 gemi uğramıştır. Limanın saha b   kl ğ  ise yaklaşık 2,5 deniz milidir.

Bu araştırmadaki bulgulara bakıldığında, gelen gemi sayısının 3.000 veya

4.000 adet, saha büyüklüğünün yaklaşık 2,5 deniz mili olduğu durumlarda en az 3 veya 4 adet römorkörün yeterli olduğu görülmüştür.

Gemlik Körfezi için bu araştırmada belirlenen en uygun römorkör sayıları ile mevcut durumda hizmet veren römorkör sayısı, boşta bekleme oranları açısından karşılaştırılmıştır. Bu oranlar Tablo 32’de verilmektedir.

Tablo 32: Gemlik Körfezi için Önerilen Durumda ve Mevcut Durumda Römorkörlerin Boşta Bekleme Oranları

	BOŞTA BEKLEME ORANLARI		
	Önerilen Römorkör Sayıları		Mevcut Römorkör Sayısı
	3 römorkör	4 römorkör	6 römorkör
2,5 deniz mili ve 3.000 gemi	%65	%75	%83
2,5 deniz mili ve 4.000 gemi	%55	%66	%78

2,5 deniz mili ve 3.000 adet gemi gelişi için, 3 veya 4 römorkör olması halinde boşta bekleme oranları sırasıyla %65 ve %75 iken, 6 römorkör olduğunda bu oran %83’e çıkmaktadır. 2,5 deniz mili ve 4.000 adet gemi gelişi için, 3 veya 4 römorkör olması halinde boşta bekleme oranları sırasıyla %55 ve %66 iken, 6 römorkör olduğunda bu oran %78’e çıkmaktadır.

Bu araştırmada elde edilen bulgulara göre, Gemlik Körfezi’nde 6 adet römorkör bulunması halinde, römorkörlerin yaklaşık olarak %78 - %83 arası oranlarda, yani çoğunlukla boşta kalabileceği görülmüştür. Gemlik Körfezi’ndeki yetkili teşkilattan elde edilen 2019 yılı verilerine göre ise, 6 adet römorkörün ortalama boşta kalma oranı %87’dir. Elde edilen bu veri de, römorkörlerin çoğunlukla boşta beklediğini göstermektedir. Ayrıca, araştırmada elde edilen bulguların teşkilattan alınan bu veriyle yakın değerde olması, geliştirilen simülasyon modelinin gerçek bir liman bölgesini yaklaşık olarak temsil ettiğini göstermiş ve modelin geçerliliği konusunda olumlu bir sonuç vermiştir.

Nas ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada, römorkörlerin boşta kalma oranının yaklaşık olarak %50 olmasının, gelen gemi sayısına göre yeterli römorkör sayısını verdiği tespit edilmiştir. Nas ve diğerlerinin bu tespitine göre de, 6

adet römorkörün Gemlik Körfezi için fazla olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak bu karşılaştırma; römorkörlerin çekme kuvvetleri, meteorolojik koşullar, yanaşma yerlerinin özellikleri vb. diğer faktörler dikkate alınmayarak yapılmıştır. Römorkörcülük hizmetini etkileyecek olan bütün faktörler dikkate alınarak, her limanın kendi özelliklerine göre modellenmesi ve incelenmesi gerekmektedir.



SONUÇ

Limanlardaki yanaşma ve kalkış manevralarında, boğaz veya kanal geçişlerinde, açık deniz yapılarında kendi imkanlarıyla emniyetli bir şekilde manevra yapma kabiliyetine sahip olmayan gemilere ve deniz araçlarına, itme ve çekme kabiliyetlerine sahip römorkörler yardımıyla manevra desteği sağlanmaktadır. Ayrıca, mavnaların hareket ettirilmesinde, kurtarma ve yangın söndürme operasyonlarında da römorkörler kullanılmaktadır. Limanlarda verilen römorkörcülük hizmetleri, liman hizmetlerinin gemi ile ilgili hizmetler kısmına girmektedir. Kılavuzluk ve palamar hizmetleri ile birlikte “teknik seyir hizmetleri” kapsamındadır. Limanlarda gemilerin yanaşma ve kalkış manevraları esnasında seyir ve çevre emniyeti açısından verilen kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetleri birbirine bağlı hizmetlerdir.

Küreselleşme ile birlikte deniz ulaştırmasında yaşanan gelişmeler arasında; gemi büyüklüklerinde artış, yük elleçleme ekipmanlarının gelişmesi, elleçlenen yük miktarlarında artış, limanlardaki gemi ve yük operasyonlarında sürelerin kısalması, limanların büyütülmesi veya yeni limanların yapılması sayılabilir. Bu gelişmeler karşısında, artan talebe cevap verebilmek için limanlarda yeni römorkör yatırımları yapılmıştır. Türkiye’de liman römorkörcülük hizmetlerinin özel teşkilatlar tarafından da sağlanması ile birlikte, römorkörcülük endüstrisi büyümeye başlamıştır.

Liman römorkörcülük hizmetlerini sağlayacak olan kuruluşların verimliliği; hizmet kalitesi, işletme maliyetleri, seyir emniyeti ve çevre koruma açısından önem arz etmektedir. Römorkörcülük hizmetlerinin verimliliğini etkileyen faktörler arasında; liman bölgesindeki gemi trafik yoğunluğu, hizmet sahasının büyüklüğü, hizmet sağlayan kuruluşun sahip olduğu römorkörlerin sayısı ve çekme kuvvetleri, römorkörlerin park yerleri, römorkörlerin gemilerin hizmet talebine cevap verme süresi (diğer bir deyişle gemilerin römorkörcülük hizmetini bekleme süresi), manevra sahası ve yanaşma yerlerinin özellikleri, meteorolojik koşullar, akıntılar vb. sayılabilir. Römorkörcülük hizmeti sağlayacak olan bir kuruluşun, bu faktörleri ve ilgili yasal düzenlemeleri dikkate alarak etkin kaynak kullanımını sağlaması önemlidir.

Römorkörcülük hizmetlerindeki en önemli kaynak olan römorkörlerin

maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, teşkilatlar yüksek yatırım maliyetleri ile karşılaşmaktadır. Hizmet verilecek liman sahasındaki değişkenler göz önüne alınarak en uygun römorkör sayısının tespit edilmesi önemlidir. Teşkilatların yetersiz sayıda römorkör bulundurması gemilerin bekleme sürelerinin artmasına, fazla sayıda römorkör bulundurması ise yatırım ve işletme maliyetlerinin artmasına ve römorkörlerin boşa kalması sonucunda kaynak israfına neden olacaktır.

Bu araştırmada; liman römorkörcülük hizmetlerinde, farklı koşullar ve kısıtlardan oluşan birçok durum için en uygun kaynak kullanımlarının tespit edilmesine yönelik bir model geliştirilmesi ve bu modelden elde edilen sonuçların hizmet sağlayıcılar ve İdare için bir karar desteği sağlaması hedeflenmiştir. Ayrıca, hizmet düzeyine etki eden değişkenler arasındaki ilişkilerin matematiksel denklemlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Öncelikle problemin konusu ve yöntem ile ilgili literatür taramaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon ile optimizasyona gidilen ve simülasyon ile optimizasyon yöntemlerinin bir arada kullanıldığı tez çalışmaları incelenmiştir. Ardından, römorkörcülük hizmetleri konusunda yapılan simülasyon ve optimizasyon çalışmaları incelenmiştir. Araştırma probleminin karmaşık ve stokastik yapısından dolayı, simülasyon modellemesi yönteminin kullanılması uygun görülmüştür. ProModel simülasyon yazılımında, liman römorkörcülük hizmetleri ile ilgili bir kesikli olay simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model, çeşitli gemi ve yük tipine hizmet veren genel bir liman bölgesini temsil etmektedir.

Modeldeki rassal süreçleri temsil edecek olan istatistiksel dağılımların belirlenmesi için literatür taraması yapılmış, Türkiye’deki 3 farklı liman bölgesine ait gemi operasyon verileri analiz edilmiş ve uzman görüşlerine başvurulmuştur. Verileri incelenen liman bölgeleri: Gemlik Körfezi, Nemrut Körfezi ve Tüpraş Aliağa Terminali’dir. Verilerin analizinde, ProModel simülasyon yazılımının içerisinde bulunan StatFit programı kullanılarak uyum iyiliği testleri gerçekleştirilmiştir. Gemilerin gelişler arası süresi için Üssel dağılım, rıhtımda bağlı iken geçirdikleri süre olan terminaldeki servis süresi için Lognormal dağılım kullanılmıştır. Yanaşma manevrası ve kalkış manevrası süreleri için herhangi bir istatistiksel dağılıma uygunluk bulunamamıştır. Bu süreleri temsil etmek için teorik dağılımlar yerine deneysel dağılımlar, yani kullanıcı tanımlı dağılımlar

kullanılmıştır. Bunun için, liman verilerinden elde edilen frekans dağılımlarından yararlanılmıştır. Römorkörlerin seyir halindeki hızları için ise Normal dağılım kabul edilmiştir.

Modelin geliştirilmesi, doğruluğu ve geçerliliği aşamalarından sonra deneyler tasarlanmıştır. Belirlenen bağımsız değişkenler; gelen gemi sayısı (GGS), römorkör sayısı (RS) ve saha büyüklüğüdür (SB). Bağımlı değişkenler ise; gemilerin açıkta bekleme süresi (ABS) ve terminalde bekleme süresidir (TBS). Bu süreler, gemilerin römorkörleri bekleme sürelerini, yani römorkörlerin gemilerin hizmet talebine cevap verme sürelerini ifade etmektedir. Bağımsız değişkenlerin çeşitli kombinasyonları ile deney setleri oluşturulmuştur. Kararlı hale ulaşmayarak anlamsız sonuçlar veren deneyler dikkate alınmamıştır. Toplamda 480 adet deney incelenmiştir. Her bir deney için simülasyonun çalışma süresi 8760 saat(1 yıl), ısınma süresi 360 saat(15 gün), tekrar sayısı ise 20 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen simülasyon sonuçlarının istatistiksel analizleri yapılmış ve bu aşamada uzman görüşlerine başvurulmuştur. Bağımsız değişkenlerdeki değişimlerin daima aynı aralıkta olması, istatistiksel analizlerin sağlıklı yapılabilmesi için önemlidir. Bunun dışında, parametrik analiz tekniklerinin uygulanabilmesi için verilerin normal dağılıma uygun olması beklenir. Bu nedenlerden ötürü istatistiksel analizlerde; GGS'nin 2.000 - 7.000 adet aralığında, SB'nin 3 - 10 deniz mili aralığında, RS'nin ise 4 - 7 adet aralığında değişmesinden oluşan toplam 192 adet deney incelenmiştir. İstatistiksel analizlerin dışında, bulguların yorumlanması kısmında en uygun kaynak kullanımları tespit edilirken bütün deneyler (480 adet) dikkate alınmıştır.

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin formüle edilmesi için uygulanacak olan çoklu doğrusal regresyon analizlerinde, bağımsız değişkenlerin arasında korelasyon (çoklu doğrusallık) olmaması gerekmektedir. Korelasyon sonuçlarına göre böyle bir problem tespit edilmemiştir, yani bağımsız değişkenlerin arasında herhangi bir ilişki yoktur. Daha sonra, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. GGS ile ABS arasında pozitif yönde, orta seviyede ve anlamlı bir ilişki, GGS ile TBS arasında ise pozitif, zayıf düzeyde ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır. GGS'nin artmasının, TBS ile kıyaslandığında ABS'yi daha fazla arttırdığı, TBS'yi ise az bir miktarda arttırdığı söylenebilir. SB ile ABS

arasında pozitif, orta seviyede ve anlamlı bir ilişki, SB ile TBS arasında ise pozitif, yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vardır. SB arttıkça, ABS ve TBS'nin arttığı, fakat TBS'deki artışın oldukça yüksek olduğu söylenebilir. RS ile ABS arasında negatif, orta seviyede ve anlamlı bir ilişki, RS ile TBS arasında ise negatif, zayıf ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. RS arttıkça, TBS'ye kıyasla ABS'nin daha fazla azaldığı, TBS'deki azalışın ise az miktarda olduğu söylenebilir.

Simülasyon çıktıları olan ABS ve TBS bağımlı değişkenlerinin normallik testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, değişkenlerin normal dağılıma uymadıkları saptanmıştır. Bu sebeple, her iki değişkene logaritma dönüşümü uygulanmıştır. Logaritma dönüşümü ile veriler çarpıklıktan kurtararak, normal dağılıma uygunluk sağlanmıştır. Daha sonra; GGS, SB ve RS bağımsız değişkenleri ile ABS ve TBS bağımlı değişkenleri arasındaki ilişkilerin formüle edilmesi için çoklu doğrusal regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bağımlı değişkenin ABS olduğu model ve bağımlı değişkenin TBS olduğu model olmak üzere iki adet regresyon modeli elde edilmiştir. Regresyon modellerinin geçerli olup olmadığını tespit etmek için, bağımsız değişkenlere ait değerlerin regresyon denkleminde yerine konulmasıyla elde edilen sonuçlar ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. ABS değişkeni ile ilgili regresyon denkleminin, istatistiksel analizlerde dikkate alınan deneyler dahilinde geçerli olduğu görülmüştür. TBS değişkeni ile ilgili regresyon denkleminin ise, istatistiksel analizlerde dikkate alınan deneyler dahilinde, değişkenin yaklaşık 60 dakikanın altındaki değerleri için geçerli olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu denklemlerin liman römorkörcülük teşkilatlarına, hizmet verdikleri bölgeye ait saha büyüklüğü, gelen gemi sayısı değerlerine göre ve gemilerin bekleme sürelerini dikkate alarak, gerekli römorkör sayısı hakkında bir fikir verebileceği düşünülmektedir.

Simülasyon sonuçlarına ait bulgular yorumlanmıştır. Bulgular yorumlanırken dikkate alınan performans ölçümleri, ABS ve TBS değişkenlerine ait değerlerdir. En uygun kaynak kullanımları ile ilgili yorumlar yapılırken bazı kısıtlar dikkate alınmıştır. Bu kısıtlar; ABS'nin göz önüne alındığı durumlarda bu sürenin maksimum 10 dk olması, TBS'nin göz önüne alındığı durumlarda ise bu sürenin maksimum 60 dk olmasıdır. Gelen gemi sayısının ve saha büyüklüğünün değiştiği çeşitli durumlarda, römorkörcülük teşkilatlarının hizmet vereceği bölgede

bulundurması gereken minimum römorkör sayıları hakkında bazı tespitler yapılmıştır. Ayrıca, teşkilatların elinde bulunan belli sayıdaki römorkörle, gemi sayısının değişiklik gösterdiği çeşitli durumlarda, hizmet verebilecekleri maksimum saha büyüklüklerine ilişkin tespitlerde bulunulmuştur.

İlgili literatür incelendiğinde çoğunlukla römorkör çizelgeleme, atama, tahsis problemleri üzerine odaklanıldığı görülmüştür. Bu problemler; karınca kolonisi algoritması, genetik algoritma, evrimsel algoritma, parçacık sürü optimizasyonu algoritması gibi çeşitli optimizasyon algoritmaları yardımıyla çözülmeye çalışılmıştır. Diğer yandan, bazı liman ve terminallerin çeşitli simülasyon yazılımlarıyla modellenerek analiz edildiği çalışmalar da mevcuttur. Bu tezin konusuna en yakın araştırma Nas ve diğerleri (2016) tarafından yapılmıştır. Nas ve diğerleri, bir liman bölgesinde gelen gemi sayısı ve römorkör sayısı değişkenleri üzerinde durmuştur. Başka bir çalışmada Shahpanah ve diğerleri (2014), konteyner terminallerinde gemilerin römorkör operasyonları için bekleme süresine odaklanmıştır. Uğurlu ve diğerleri (2014), Türkiye’de bulunan bir terminali birçok açıdan incelemiş olup, gemilerin römorkörcülük hizmeti almak için beklediği süre de bunlardan biridir. Bu tez çalışmasında ise; gelen gemi sayısı, römorkör sayısı, saha büyüklüğü, açıkta bulunan gemilerin römorkörleri bekleme süreleri ve terminalde bulunan gemilerin römorkörleri bekleme süreleri üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada, her limana uyarlanabilecek teorik bir simülasyon modeli ortaya koymaya çalışılmıştır. Model, genel bir liman bölgesini temsil etmektedir ve belirli varsayımlar altında geliştirilmiştir. Her limanın veya terminalin, kendi özelliklerine göre modellenmesi ve analizlerinin yapılması gerekmektedir.

Araştırmanın en önemli kısıtlarından biri, römorkörlerin çekme kuvvetleri üzerinde durulmamasıdır. Gelecek çalışmalarda, römorkör sayısı konusunda yapılacak olan deneylerde, römorkörlerin çekme kuvvetlerinin de hesaba katılması önerilmektedir. Araştırmanın diğer bir kısıtı ise, terminal sayısı ve kapasitesinin dikkate alınmamasıdır. İleride yapılacak olan çalışmalarda, gerçek bir liman modellemesi yapılacaksa, terminal sayısı ve kapasitesinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Modelde römorkörlerin park yeri için tek bir konum belirlenmiştir. Römorkör operasyonları konusunda yapılacak olan gerçek liman simülasyonu çalışmalarında, römorkörlerin park yerleri için en uygun konum(lar) bir veya birden

fazla olabilir. Bunun dışında, çalışmada kılavuz kaptan sayısı ve kılavuz botu sayısı ile ilgili bir kısıt bulunmamaktadır. Kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetleri, gemilerin yanaşma ve kalkış manevraları esnasında verilen ve birbirine bağlı olan hizmetlerdir. Bu nedenle, kılavuz kaptan sayısı ve kılavuz botu sayısı ile ilgili kısıtların römorkör operasyonlarını etkileyebileceği ve dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

Akcan, S. (2010). *Hastane Sistemlerinde Çoklu Malzeme Durumu için Simülasyon Meta-Modellemeye Dayalı Stok Optimizasyonu*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Allan, R. G. (2008). The Evolution of the Z-Tech Concept. *Proceedings of the 20th International Tug and Salvage Convention* (pp. 37-54), Düzenleyen The ABR Company Ltd. Singapore. 19 - 23 Mayıs 2008.

Allan, R. G. (Ocak 2014). *The 'ART' of Tug Design*. <http://ral.ca/wp-content/uploads/2016/01/WM-Jan14-pgs-23-27-Art-of-tug-design.pdf>, (12.09.2018).

Altıok, T. ve Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. Elsevier.

Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S., Yıldırım, E. (2012). *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri: SPSS Uygulamalı*. 7.baskı, Sakarya Yayıncılık.

Artyszuk, J. (2013). Types and Power of Harbour Tugs - The Latest Trends. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport*. 98: 9-20.

Atik, O. ve Cerit, A. G. (2008). Government Support for Sustainability of Marine Salvage Services: A Case for Turkey. *Proceedings of IMLA 16th Conference on MET* (ss. 151-163). İzmir. 14 - 17 Ekim 2008.

Aydemir, E. (2009). *Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Baird, A. J. ve Valentine, V. F. (2007). Port Privatisation in the United Kingdom. *Devolution, Port Governance and Port Performance* (pp. 55-84). Elsevier.

Bakan, K. ve Kum, S. (2015). Türkiye’de Römorkörcülük Hizmetlerine Genel Bakış. *Kılavuzluk/Römorkörcülük Hizmetleri ve Teknolojileri Kongresi I Bildiriler Kitabı* (ss. 51-59). İzmir. 23 Ekim 2015.

Balakrishnan, P. K. ve Sasi, S. (2016). Technological and Economic Advancement of Tug Boats. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. International Conference on Emerging Trends in Engineering & Management (ICETEM-2016), 1(5): 87-96.

Baniela, S. I., Varela, P. L., Rodriguez, E. M. (2005). Concept and Operation Mode of the Advanced Electronic Control System of the Azimuth Propellers in Tugs. *Journal of Maritime Research*. 2(3): 3-18.

Banks, J. (1998). Principles of Simulation. *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice* (pp. 3-30). John Wiley & Sons.

Banks, C. M. (2009). What is Modeling and Simulation? *Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach* (pp. 3-24). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Banks, C. M. (2010). Introduction to Modeling and Simulation. *Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains* (pp. 1-24). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Bartels, J. E. ve Jürgens, D. (2006). *The Voith Schneider Propeller: Current Applications and New Developments*.
<https://pdfs.semanticscholar.org/b2d7/8bedbdf5893120de12a7a1d128045e8712d.pdf>, (01.09.2018).

Bichou, K. (2009). *Port Operations, Planning and Logistics*. Informa Law.

Bichou, K. ve Gray, R. (2005). A Critical Review of Conventional Terminology for Classifying Seaports. *Transportation Research Part A*. 39(1): 75-92.

Biles, W. E. (1996). Discrete-Event Systems. *Systems Modeling and Computer Simulation* (pp. 219-277). Second edition, New York: Marcel Dekker.

Birta, L. G. ve Arbez, G. (2007). *Modelling and Simulation: Exploring Dynamic System Behaviour*. London: Springer-Verlag.

Blank, J. S. (1989). *Modern Towing*. Centreville, Maryland: Cornell Maritime Press.

Bratley, P., Fox, B. L., Schrage, L. E. (1983). *A Guide to Simulation*. Springer-Verlag.

Bugaric, U. ve Petrovic, D. (2007). Increasing the Capacity of Terminal for Bulk Cargo Unloading. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 15(10): 1366-1381.

Bye, R. T. ve Schaathun, H. G. (2015). A Simulation Study of Evaluation Heuristics for Tug Fleet Optimisation Algorithms. *Operations Research and Enterprise Systems* (pp. 165-190). Springer.

Cağcağ, Ö. (2010). *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Beyin Cerrahisi Polikliniğinin İstatistiksel Simülasyonu ile Optimizasyonu*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cairns, A., Carel, J. M., Li, X. (2016). Port and Harbor Design. *Springer Handbook of Ocean Engineering* (pp. 685-710). Springer.

Cantot, P. (2011). Simulation: History, Concepts, and Examples. *Simulation and Modeling of Systems of Systems* (pp. 1-55). Wiley-ISTE.

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

CEC (Commission of the European Communities). (1997). *Green Paper on Sea Ports and Maritime Infrastructure*. Brussels.

Chatterjee, S. ve Hadi, A. S. (2006). *Regression Analysis by Example*. Fourth Edition, John Wiley & Sons.

Chung, C. A. (2003). *Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach*. Boca Raton: CRC Press.

Couce, L. C., Couce, J. C. C., Formoso, J. A. F. (2015). Operation and Handling in Escort Tugboat Manoeuvres with the aid of Automatic Towing Winch Systems. *The Journal of Navigation*. 68(1): 71-88.

Çekici, V. (2013). *Müşteri Şikayet Değerlendirme Süreçleri için Kavramsal Bir Model ve Simülasyon Optimizasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

De Jong, G. (2010). *The Class Answer to the Rapidly Developing Tug Industry*. https://towmasters.files.wordpress.com/2010/09/its5_tug_industry_classification_answer.pdf, (29.11.2018).

De Langen, P. W. (2004). Analysing the Performance of Seaport Cluster. *Shipping and Ports in the Twenty-first Century* (pp. 82-98). Routledge.

Demirci, E. (2003). Simulation Modelling and Analysis of a Port Investment. *Simulation*. 79(2): 94-105.

Denktaş Şakar, G. (2013). Deniz Ulaştırması: Yükler, Gemiler, Rotalar. *Denizcilik İşletmeleri Yönetimi* (ss. 35-57). İstanbul: Beta.

Dohmen, C. J. E. (2016). *Scheduling Methods in Liquid Bulk Terminals*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Delft: Delft University of Technology.

Dosdoğru, A. T. (2012). *Dynamic Flexible Job Shop Scheduling with Simulation Optimization by Using Genetic Algorithm*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dragovic, B., Park, N. K., Radmilovic, Z. (2006). Ship-Berth Link Performance Evaluation: Simulation and Analytical Approaches. *Maritime Policy & Management*. 33(3): 281-299.

Dwarakish, G. S. ve Salim, A. M. (2015). Review on the Role of Ports in the Development of a Nation. *Aquatic Procedia*. 4: 295-301.

Eke, A. B. (2010). *Römorkör İşletmeciliği Uygulama Yöntemlerine Göre Çekme Kuvveti Hesaplamaları*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ergas, H., Fels, T., Soon, J. (2004). Exclusive Licensing in Harbour Towage. *Review of Network Economics*. 3(2): 145-167.

Esmer, S. (2011). *Liman İşletmelerinde Hizmet Pazarlaması*. Ankara: Detay Yayıncılık.

Esmer, S. ve Karataş Çetin, Ç. (2013). Liman İşletme Yönetimi. *Denizcilik İşletmeleri Yönetimi* (ss. 379-415). İstanbul: Beta.

Esmer, S., Yıldız, G., Tuna, O. (2013). A New Simulation Modelling Approach to Continuous Berth Allocation. *International Journal of Logistics Research and Applications*. 16(5): 398-409.

ETA (European Tugowners Association) (2015). *Guidelines for Safe Harbour Towage Operations*. <http://eurotugowners.com/wp-content/uploads/2017/11/STP-Guidelines-First-Edition-February-2015.pdf>, (31.07.2018).

Etçioğlu, E. (2009). *Kapasite Planlamasının Simülasyon Tekniği ile Optimizasyonu ve Bir İmalat İşletmesi Uygulaması*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Fishman, G. S. (2001). *Discrete-Event Simulation: Modeling, Programming, and Analysis*. Springer-Verlag.

Garrison, W. L. ve Levinson, D. M. (2014). *The Transportation Experience*. Second edition, New York: Oxford University Press.

Gege, C. (2018). *A Simulation Optimization Study for An Emergency Department of A Hospital in İzmir*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Goldsman, D. ve Goldsman, P. (2015). Discrete-Event Simulation. *Modeling and Simulation in the Systems Engineering Life Cycle: Core Concepts and Accompanying Lectures* (pp. 103-109). London: Springer-Verlag.

Greasley, A. (2003). *Simulation Modelling for Business*. London: Routledge.

Groenveld, R. ve Wanders, S. (1999). Computer Simulation Model International Container Terminal Tanjung Perak, Surabaya. *The International Workshop on Harbour, Maritime & Industrial Logistics Modelling and Simulation (HMS 1999)*. Genoa, Italy. 16 - 18 Eylül 1999.

Grunau, P. (2015). *Cargo Handling and Stowage: A Guide for Loading, Handling, Stowage, Securing, and Transportation of Different Types of Cargoes, Except Liquid Cargoes and Gas*. Books on Demand.

Gül, M. (2011). *Servis Sistemlerinde Kaynakların Etkin Kullanılmasına Yönelik Benzetim Tabanlı Optimizasyon*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güldoğan, E. U. (2010). *Optimization and Simulation Models for Efficient Port Container Terminal Management*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İzmir: İzmir Ekonomi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Gündüz, Y. (2005). *Akış Tipi Atölye Sisteminde Benzetim ile Eniyileme: Man Türkiye A.Ş.'de Bir Uygulama*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis*. Harlow: Pearson Education Limited.

Harrell, C. R. ve Price, R. N. (2003). Simulation Modeling Using Promodel Technology. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference* (pp. 175-181). New Orleans, USA. 7 - 10 Aralık 2003.

Harrell, C., Ghosh, B. K., Bowden, R. O. (2004). *Simulation Using Promodel*. McGraw-Hill.

Hatip, A. (2001). *Modelling and Optimization of Turkish Army Fuel Supply System Via Simulation*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hensen, H. (2003). *Tug Use in Port: A Practical Guide*. Second Edition, London: The Nautical Institute.

Hira, D. S. (2008). *System Simulation*. 2nd revised edition, S. Chand & Company Ltd.

House, D. J. (2007). *Ship Handling: Theory and Practice*. Butterworth-Heinemann.

Imai, A., Sun, X., Nishimura, E., Papadimitriou, S. (2005). Berth Allocation in a Container Port: Using a Continuous Location Space Approach. *Transportation Research Part B*. 39(3): 199-221.

Huang, S. Y., Hsu, W. J., Chen, C., Ye, R., Nautiyal, S. (2008). Capacity Analysis of Container Terminals Using Simulation Techniques. *International Journal of Computer Applications in Technology*. 32(4): 246-253.

Ilali, G., Sheikholeslami, A., Hassannayebi, E. (2014). A Simulation-Based Optimization Approach for Integrated Port Resource Allocation Problem. *Promet - Traffic & Transportation*. 26(3): 243-255.

Jaikumar, R. ve Solomon, M. M. (1987). The Tug Fleet Size Problem for Barge Line Operations: A Polynomial Algorithm. *Transportation Science*. 21(4): 264-272.

Kahraman, S. (2016). *Liman Kılavuzluk Hizmetlerinde Durumsal Farkındalık Analizi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kaptan, M. ve Uğurlu, Ö. (2015). Türkiye'deki Römorkör Hizmetlerinin Değerlendirilmesi. *Kılavuzluk/Römorkörcülük Hizmetleri ve Teknolojileri Kongresi I Bildiriler Kitabı* (ss. 173-182). İzmir. 23 Ekim 2015.

Karplus, W. J. (2003). The Spectrum of Mathematical Modeling and Systems Simulation. *Modeling and Simulation: Theory and Practice* (pp. 45-58). New York: Springer Science+Business Media.

Kaya, G. (2009). *Facility Layout Optimization Using Simulation in An Automotive Company*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kelton, W. D., Sadowski, R. P., Sadowski, D. A. (2002). *Simulation with Arena*. Second edition, McGraw-Hill.

Kemme, N. (2013). *Design and Operation of Automated Container Storage Systems*. Heidelberg: Physica-Verlag.

Khalique, A. (2016). *Basic Offshore Safety: Safety induction and emergency training for new entrants to the offshore oil and gas industry*. Routledge.

Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri Hakkında Yönetmelik (2020). *T.C. Resmi Gazete*. Sayı: 31002, 08.01.2020.

Kia, M., Shayan, E., Ghotb, F. (2002). Investigation of Port Capacity Under a New Approach by Computer Simulation. *Computers & Industrial Engineering*. 42(2-4): 533-540.

Kim, K. H. ve Günther, H. O. (2007). Container Terminals and Terminal Operations. *Container Terminals and Cargo Systems* (pp. 3-12). Berlin, Heidelberg: Springer.

Koç, Y. (2010). *Kurtarma Yardım İlişkilerinde Kılavuz Kaptanın Hukuki Rolü*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kruse, C. J. ve Hutson, N. (2010). *North American Marine Highways*. (NCFRP Report 5), Washington, DC: Transportation Research Board.

Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill/Irwin.

Lai, K. K. ve Shih, K. (1992). A Study of Container Berth Allocation. *Journal of Advanced Transportation*. 26(1): 45-60.

Law, A. M. ve Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. Second Edition, McGraw-Hill.

Law, A. M. (2010). Statistical Analysis of Simulation Output Data: The Practical State of The Art. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference* (pp. 65-74). Baltimore, MD, USA. 5 - 8 Aralık 2010.

Layaa, J. ve Dullaert, W. (2014). Measuring and Analysing Terminal Capacity in East Africa: The Case of the Seaport of Dar es Salaam. *Maritime Economics & Logistics*. 16(2): 141-164.

Lee, T. W., Park, N. K., Lee, D. W. (2003). A Simulation Study for the Logistics Planning of a Container Terminal in view of SCM. *Maritime Policy & Management*. 30(3): 243-254.

Limanlar Yönetmeliği (2012). *T.C. Resmi Gazete*. Sayı: 28453, 31.10.2012.

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

Lisagor, O., Papuc, A., Juergens, D., Muller, L. (2015). *The Carousel-RAVE Tug: Design Development of A Unique High-Performance Ship Assist/Escort Tug*. <http://ral.ca/wp-content/uploads/2015/11/The-Carousel-RAVE-Tug-D2P5.pdf>, (14.09.2018).

Liu, Z. (2009). Hybrid Evolutionary Strategy Optimization for Port Tugboat Operation Scheduling. *Proceedings - 2009 Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application*, Volume 3 (pp. 511-515). Nanchang, China. 21 - 22 November 2009.

Loper, M. L. (2015). The Modeling and Simulation Life Cycle Process. *Modeling and Simulation in the Systems Engineering Life Cycle: Core Concepts and Accompanying Lectures* (pp. 17-27). London: Springer-Verlag.

Madachy, R. J. ve Houston, D. X. (2018). *What Every Engineer Should Know About Modeling and Simulation*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Makouizad, M. (2013). *Römorkörlerde Stabilite Analizi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Maria, A. (1997). Introduction to Modeling and Simulation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference* (pp. 7-13). Atlanta, Georgia, USA. 7 - 10 Aralık 1997.

MEB (Milli Eğitim Bakanlığı) (2015). *Gemi Makinesiyle Yol Vermek ve Yol Kesme*. [http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gemi%20Makine siyle%20Yol%20Vermek%20Ve%20Yol%20Kesme.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gemi%20Makine%20siyle%20Yol%20Vermek%20Ve%20Yol%20Kesme.pdf), (14.08.2018).

Meisel, F. (2009). *Seaside Operations Planning in Container Terminals*. Heidelberg: Physica-Verlag.

Ming, N. S. ve Shah, M. Z. (2008). Petroleum Terminal's Operation Processes on Vessel Turnaround Time. *EASTS International Symposium on Sustainable Transportation incorporating Malaysian Universities Transport Research Forum Conference 2008 (MUTRFC08)*. Universiti Teknologi Malaysia. 12 - 13 Ağustos 2008.

Minnesota Department of Transportation. (2001). *River Transportation in Minnesota*. <http://www.dot.state.mn.us/ofrw/PDF/2001RiverTransportationMN.pdf>, (19.08.2018).

Montgomery, D. C., Peck, E. A., Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. Fifth edition, John Wiley & Sons.

Morales-Fusco, P., Sauri, S., Spuch, B. (2010). Quality Indicators and Capacity Calculation for RoRo Terminals. *Transportation Planning and Technology*. 33(8): 695-717.

Mori, T. (2011). Tugboat Business in Japan and Asia: The Present Situation and Issues of Tugboat Business. *The International Journal of East Asian Studies*. 16(1): 1-13.

Murray-Smith, D. J. (2015). *Testing and Validation of Computer Simulation Models: Principles, Methods and Applications*. Springer.

Nas, S. (2013). Teknik Seyir Hizmetlerinde Kaynakların Simülasyon Modellemesi Yöntemiyle Optimizasyonu: Römorkör Park Yeri Seçimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*. 5(2): 57-81.

Nas, S., Özkan, E. D., Uçan, E. (2016). Römorkörcülük Hizmeti Yetki Sahalarında Römorkör Sayısının Simülasyon Modellemesi Yöntemiyle Tespiti. *Journal of ETA Maritime Science*. 4(1): 91-99.

Nitonye, S., Adumene, S., Howells, U. U. (2017). Numerical Design and Performance Analysis of a Tug Boat Propulsion System. *Journal of Power and Energy Engineering*. 5(11): 80-98.

Ohnari, M. (1998). *Simulation Engineering*. Tokyo: Ohmsha.

Ören, T., Mittal, S., Durak, U. (2017). The Evolution of Simulation and Its Contribution to Many Disciplines. *Guide to Simulation-Based Disciplines: Advancing Our Computational Future* (pp. 3-24). Springer.

Özbaş, B. ve Or, I. (2007). Analysis and Control of Maritime Transit Traffic through the Istanbul Channel: A Simulation Approach. *Central European Journal of Operations Research*. 15(3): 235-252.

Özkan, E. D., Uzunoğlu Koçer, U. Z., Nas, S., İşlek, Ö., Tüzgen, E., Doğan, A. (2019). Sıvı Yük Terminallerinde Deniz Trafiğinin Simülasyon Yöntemiyle Analizi. *Proceedings - III. Global Conference on Innovation in Marine Technology and the Future of Maritime Transportation* (ss. 646-660). Selçuk, İzmir. 18 - 19 Nisan 2019.

Papadimitriou, G. I., Sadoun, B., Papazoglou, C. (2003). Fundamentals of System Simulation. *Applied System Simulation: Methodologies and Applications* (pp. 9-39). Springer Science+Business Media.

Peng-fei, Z., Zi-jian, G., Xiang-qun, S. (2006). Simulation Study on Container Terminal Performance. *Proceedings of 2006 International Conference on Management Science & Engineering (13th)* (pp. 177-182). Lille, France. 5 - 7 October 2006.

Plomaritou, E. ve Papadopoulos, A. (2017). *Shipbroking and Chartering Practice*. 8th edition, Informa Law from Routledge.

Productivity Commission. (2002). *Economic Regulation of Harbour Towage and Related Services*. Report No. 24, Canberra.

ProModel Corporation (2011). *ProModel 2011 User Guide*. USA.

Radisic, Z. (2003). Principal Types and Characteristics of Harbour Tugs. *Promet - Traffic & Transportation*. 15(6): 381-386.

Robinson, S. (2004). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons.

Robinson, S. (2005). Discrete-Event Simulation: From the Pioneers to the Present, What Next?. *Journal of the Operational Research Society*. 56(6): 619-629.

Rossetti, M. D. (2016). *Simulation Modeling and Arena*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Sargent, R. G. (2013). Verification and Validation of Simulation Models. *Journal of Simulation*. 7(1): 12-24.

Schott, D. L. ve Lodewijks, G. (2007). Analysis of Dry Bulk Terminals: Chances for Exploration. *Particle & Particle Systems Characterization*. 24(4-5): 375-380.

Shahpanah, A., Hashemi, A., Nouredin, G., Zahraee, S. M., Helmi, S. A. (2014). Reduction of Ship Waiting Time at Port Container Terminal Through Enhancement of the Tug/Pilot Machine Operation. *Jurnal Teknologi*. 68(3): 63-66.

Smoker, B., Stockdill, B., Oshkai, P. (2016). Escort Tug Performance Prediction Using Computational Fluid Dynamics. *Journal of Ship Research*. 60(2): 61-77.

Sokolowski, J. A. (2009). Simulation: Models That Vary over Time. *Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach* (pp. 47-69). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Soykan, B. ve Erol, S. (2015). Simülasyon Deneyleri Tasarımı: Bir Simülasyon Modeli Üzerinde Karşılaştırmalı Çalışmalar. *Altıncı Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı Bildiri Kitabı* (ss. 188-199). Ankara. 11 - 12 Kasım 2015.

Soyoğul, Ö. (2016). *A Simulation-Optimization Approach to the Storage Location Assignment Problem: A Case Study of a Distribution Warehouse in Automotive Manufacturing*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Koç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Steenken, D., Vob, S., Stahlbock, R. (2004). Container Terminal Operation and Operations Research – A Classification and Literature Review. *OR Spectrum*. 26(1): 3-49.

Stopford, M. (2009). *Maritime Economics*. 3rd Edition, New York: Routledge.

Şahin Macit, M. (2015). *An Integrated Optimization and Simulation Approach for The Ambulance Location Problem*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Talley, W. K. (2009). *Port Economics*. London: Routledge.

Tang, G., Guo, Z., Yu, X., Song, X., Du, P. (2014). SPAC to Improve Port Performance for Seaports with Very Long One-Way Entrance Channels. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. 140(4): 04014011.

Tang, G., Wang, W., Song, X., Guo, Z., Yu, X., Qiao, F. (2016). Effect of Entrance Channel Dimensions on Berth Occupancy of Container Terminals. *Ocean Engineering*. 117: 174-187.

Tao, H. ve Wenwen, Y. (2010). Research of Tugboat Operation Scheduling Problem Based on Hybrid Evolutionary Strategy. *Proceedings - The 2nd International Conference on Information Science and Engineering* (pp. 1438-1441). Hangzhou, China. 4 - 6 December 2010.

Taşkeser, H. (2014). *Özelleştirme Perspektifinden Kılavuzluk ve Römorkaj Hizmetleri*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gaziantep: Zirve Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

TCDD (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları). (2017). *TCDD Liman Hizmetleri Tarifesi*. <http://www.alsancaklimani.gov.tr/Images/Liman%20Hizmetleri%20Tarifesi%202017%2009%2001.pdf>, (10.02.2018).

Tekkanat, A. O. (2007). *Hat Yönetiminde Simülasyon Tabanlı Optimizasyon ve İstanbul Deniz Otobüsleri A.Ş.'de Bir Uygulama*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Thoresen, C. A. (2003). *Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines*. London: Thomas Telford.

Topçu, O., Durak, U., Oğuztüzün, H., Yılmaz, L. (2016). *Distributed Simulation: A Model Driven Engineering Approach*. Springer.

Trujillo, L. ve Gonzalez, M. (2011). Maritime Ports. *International Handbook of Network Industries: The Liberalization of Infrastructure* (pp. 290-309). Cheltenham: Edward Elgar.

Tupper, E. C. (2004). *Introduction to Naval Architecture*. Butterworth-Heinemann.

Uçan, E. (2013). *İstanbul Boğazı'nda Kılavuzluk Hizmeti Veren Kılavuz Kaptan Sayısının Simülasyon Yöntemiyle Optimizasyonu*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Uğurlu, Ö., Yüksek yıldız, E., Köse, E. (2014). Simulation Model on Determining of Port Capacity and Queue Size: A Case Study for BOTAS Ceyhan Marine Terminal. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 8(1): 143-150.

Uğurlu, Ö. Yıldırım, U., Yüksek yıldız, E., Yıldız, S. (2015). An Awesim Simulation Study: To Determine the Efficiency of Future Improvements on Tupras Izmit Oil Terminal. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*. 5: 271-279.

Uğurlu, Ö., Kaptan, M., Kum, S., Yıldız, S. (2017). Pilotage Services in Turkey; Key Issues and Ideal Pilotage. *Journal of Marine Engineering & Technology*. 16(2): 51-60.

Uncu, N. (2014). *Bilgisayar Ağ Topolojilerinde Kapasite ve Dolaşım Süresinin Simülasyon Optimizasyonu*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uncu, N. (2017). Isınma Periyodu Belirleme Yöntemlerinin Etkinliklerinin Analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 32(4): 201-210.

van Vianen, T. A., Mooijman, D. L., Ottjes, J. A., Negenborn, R. R., Lodewijks, G. (2012). Simulation-based Operational Control of a Dry Bulk Terminal. *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC 2012)* (pp. 73-78). Beijing. 11 - 14 Nisan 2012.

van den Bosch, P. P. J. ve van der Klauw, A. C. (1994). *Modeling, Identification and Simulation of Dynamical Systems*. CRC Press.

Vis, I. F. A. ve de Koster, R. (2003). Transshipment of Containers at A Container Terminal: An Overview. *European Journal of Operational Research*. 147(1): 1-16.

Wang, G. C. S. ve Jain, C. L. (2003). *Regression Analysis: Modeling & Forecasting*. Graceway Publishing Company.

Wang, S. ve Meng, B. (2006). Simulation Modeling and Optimization for Equipment Scheduling in Container Terminals. *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Cognitive Informatics* (pp. 274-279). Beijing, China. 17 - 19 July 2006.

Wang, S. ve Meng, B. (2007). Resource Allocation and Scheduling Problem Based on Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol 4426 (pp. 879-886). Springer.

Wang, S., Zheng, K., Zheng, J., Hu, W. (2010). An Improved Discrete Particle Swarm Optimization for Tugboat Scheduling Problem in Container Terminal. *Proceedings - 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, Volume 3 (pp. 593-596). Kunming, China. 26-28 November 2010.

Wang, S., Zhu, M., Zheng, J., Zheng, K. (2012). Tugboat Scheduling Problem Based on Trust-Based Ant Colony Optimization. *Information Computing and Applications, Lecture Notes in Computer Science*, vol 7473 (pp. 373-380). Springer.

Wang, S., Kaku, I., Chen, G., Zhu, M. (2012). Research on the Modeling of Tugboat Assignment Problem in Container Terminal. *Advanced Materials Research*. Volumes 433-440, pp. 1957-1961.

Wang, S., Zhu, M., Kaku, I., Chen, G., Wang, M. (2014). An Improved Discrete PSO for Tugboat Assignment Problem under a Hybrid Scheduling Rule in Container Terminal. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2014, Article ID 714832.

Wang, W., Zheng, T., Peng, Y. (2018). The Study of the Influence of Port Scale on Tugboat Configuration Based on System Simulation. *Advances in Intelligent Systems Research*. Volume 159, 4-7.

Wathne, E. (2012). *Cargo Stowage Planning in RoRo Shipping*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Wenhui, Y. (2011). Heuristic Algorithm for Simulation and Optimization System of Port Tugboats Allocation. *Proceedings of the 2011 International Conference on Internet Computing and Information Services* (pp. 306-309). Hong Kong. 17 - 18 September 2011.

World Bank (2003). *Port Reform Toolkit*. Washington, DC: World Bank.

Wright, C. (2010). *Tug/Barge Options*.

[http://www.dieselduck.info/library/11%20interesting/2000-](http://www.dieselduck.info/library/11%20interesting/2000-Tug%20Barge%20Options.pdf)

[Tug%20Barge%20Options.pdf](http://www.dieselduck.info/library/11%20interesting/2000-Tug%20Barge%20Options.pdf), (07.12.2018).

Xu, Q., Mao, J., Jin, Z. (2012). Simulated Annealing-Based Ant Colony Algorithm for Tugboat Scheduling Optimization. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2012, Article ID 246978.

Yan, W., Bian, Z., Chang, D., Huang, Y. (2009). An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm for Solving Dynamic Tugboat Scheduling Problem. *2009 2nd Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS 2009)* (pp. 433-437). Shenzhen, China. 19 - 20 December 2009.

Yıldız, A. (2010). *Benzetim Modellemesi ile Üretim Sistemlerinde Süreç Optimizasyonu ve Bir Uygulama Çalışması*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Yiğit, A. M. (2012). *Bir Ofis Mobilyası Üretim Sisteminin Simülasyon ile Analizi ve Optimizasyonu*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Tokat: Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Zorba, Y. ve Nas, S. (2015). Liman Manevralarında İhtiyaç Duyulan Römorkör Kuvvetlerinin Tespiti Üzerine Bir Çalışma. *Kılavuzluk/Römorkörcülük Hizmetleri ve Teknolojileri Kongresi I Bildiriler Kitabı* (ss. 31-49). İzmir. 23 Ekim 2015.

Zotti, I. (2013). River Transport by Barges: Resistance and Directional Stability Problems. *International Conference IDS2013 - Amazonia*. Iquitos, Peru. 17 - 19 July 2013.

İnternet Kaynakları:

- Url 1, <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/navigation/pages/pilotage.aspx>, (11.03.2018).
- Url 2, <http://empa-pilots.eu/pilotage>, (11.03.2018).
- Url 3, <https://www.britannica.com/technology/tugboat>, (06.08.2018).
- Url 4, https://www.shipownersclub.com/media/2015/08/PUBS-Loss-Prevention-Tug-and-Tow-Safety-and-Operational-Guide_A5_onscreen.pdf, (26.07.2018).
- Url 5, <http://ral.ca/wp-content/uploads/2016/01/BCSN-May-12-Tug-Design-Guide.pdf>, (26.07.2018).
- Url 6, <https://ral.ca/designs/anchor-handling-tug-supply-vessels/>, (07.04.2020).
- Url 7, <http://www.eddytug.eu/safety>, (19.09.2018).
- Url 8, <http://www.eddytug.eu/eddyfamily/eddy-33>, (19.09.2018).
- Url 9, <http://ral.ca/articulated-tug-and-barge-systems/>, (22.12.2018).
- Url 10, <https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/tarihce>, (19.12.2018).
- Url 11, https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_filo.aspx, (25.01.2020).
- Url 12, http://www.ubak.gov.tr/BLSM_WIYS/DISGM/tr/Belgelik/Guncel_Haber/genelge-2020-1.pdf, (26.01.2020).
- Url 13, https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_gemi.aspx, (05.02.2020).



EK 1: Gemlik Körfezi Liman Bölgesine Ait 2018 Yılı Verilerinin Talep Edilmesi ile ilgili Resmi Yazı



**T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
DENİZCİLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI**



Sayı:58849140 -938
Konu: Doktora tezi

05/07/2019

GEMPORT GEMLİK LİMAN DEPOLAMA İŞLETMELERİ A.Ş. GENEL MÜDÜRLÜĞÜNE

Fakültemiz Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Selçuk NAS'ın danışmanlığında yönetilmekte olan doktora tezi araştırması ile ilgili olarak 2018 yılına ait gemi manevralarına ait aşağıda sıralanan verilere ihtiyacımız bulunmaktadır. Bu konudaki değerli destekleriniz için şimdiden teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Prof. Dr. Durmuş Ali DEVECİ
Dekan

- Gemi adı
- Gemi GRT
- Pilot Gemide Zamanı (Yanaşma İçin)
- Römorkör /Römorkörler Bağlama Zamanı (Yanaşma İçin)
- Yanaşma Zamanı
- Pilot Gemide Zamanı (Ayrılma İçin)
- Römorkör /Römorkörler Bağlama Zamanı (Ayrılma İçin)
- İskeleyden Ayrılma Zamanı
- Pilot Ayrılma Zamanı

Adatape Mahallesi Doğuş Caddesi
No:207/O Tınaztepe Yerleşkesi
PK: 35390 Buca- İzmir/Türkiye

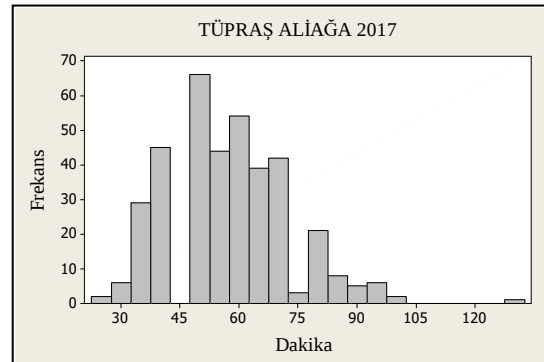
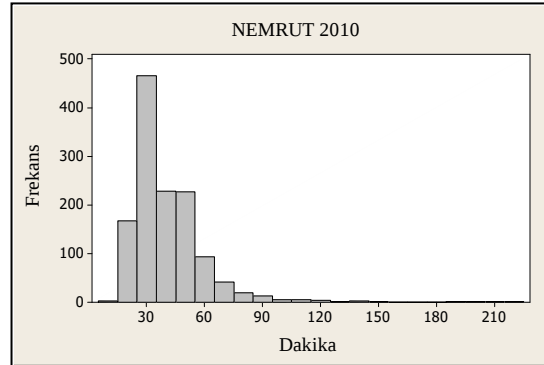
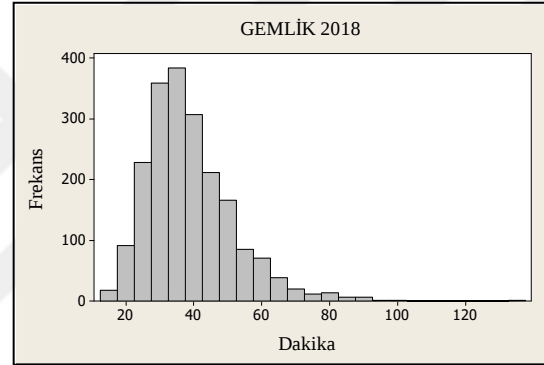
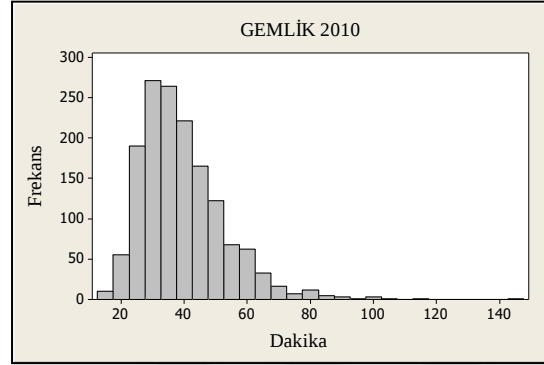


E-posta: denizcilik@deu.edu.tr
Elektronik Ağ: <http://denizcilik.deu.edu.tr>

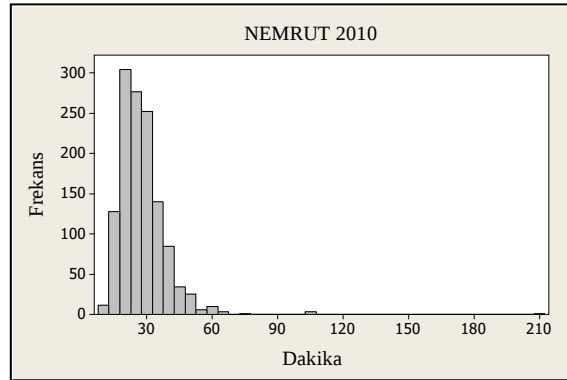
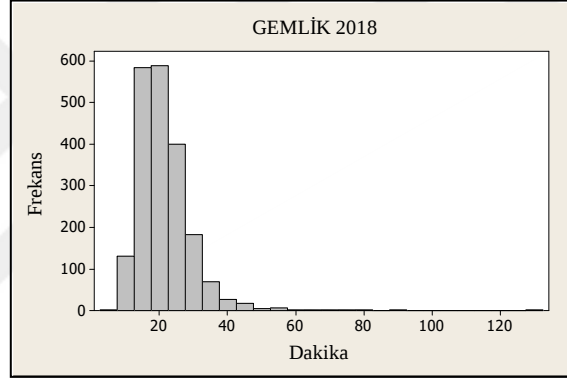
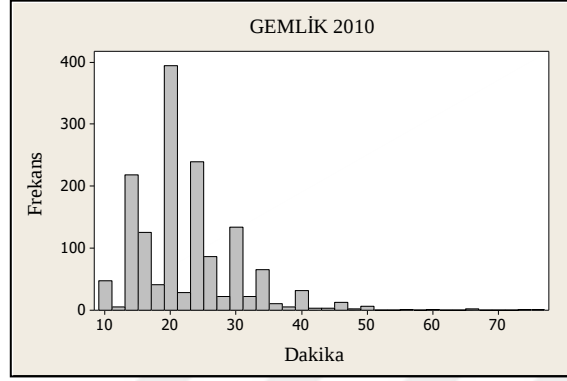
Tel/Faks: +90 232 453 49 92
Faks: +90 232 453 81 97
Urla BirimiTel/Faks: +90 232 752 03 89



EK 2: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Grafikleri



EK 3: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Grafikleri



EK 4: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu

GEMLİK 2010		GEMLİK 2018		NEMRUT 2010		TÜPRAŞ 2017	
Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık
10	1	10	3	10	5	10	2
14	1	12	1	12	4	20	7
15	17	13	3	13	3	25	12
16	2	15	20	14	3	30	46
17	1	17	4	15	72	33	1
19	1	18	3	16	1	34	1
20	96	19	1	17	11	35	18
21	1	20	83	18	6	36	3
22	1	21	1	19	4	40	10
23	3	22	11	20	275	42	5
24	1	23	4	21	7	45	10
25	139	24	6	22	17	48	4
26	2	25	125	23	14	50	5
27	4	26	2	24	3	54	2
28	4	27	9	25	274	55	3
29	2	28	16	26	1	60	3
30	181	29	6	27	5	65	1
31	5	30	116	28	5		
32	5	31	2	29	4		
33	6	32	6	30	222		
34	3	33	9	31	1		
35	129	34	2	32	4		
36	1	35	87	33	3		
37	4	36	3	35	84		
38	2	37	7	36	2		
39	3	38	9	38	2		
40	82	39	1	40	27		
41	2	40	63	42	1		
42	4	41	1	45	10		
43	2	42	2	47	1		
44	1	43	1	50	5		
45	48	45	41	55	4		
46	1	46	1	60	5		
47	3	47	3	70	2		
48	3	48	3	75	2		
49	1	50	29	80	2		

50	37	51	1	90	2		
53	1	52	2	100	1		
55	15	54	1	105	2		
57	1	55	17				
58	1	56	1				
60	13	57	1				
65	6	58	1				
70	5	60	7				
75	2	61	1				
80	1	64	1				
85	2	65	2				
87	1	67	1				
95	1	70	1				
120	1	75	4				
		76	1				
		77	1				
		78	1				
		80	2				
		85	2				
		93	1				
		95	1				
		130	1				

EK 5: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu

GEMLİK 2010		GEMLİK 2018		NEMRUT 2010		TÜPRAŞ 2017	
Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık
15	9	13	2	10	1	24	2
17	1	15	11	15	3	30	6
18	2	16	2	17	2	35	2
20	50	17	3	18	1	36	27
21	1	18	5	19	2	40	2
22	2	19	2	20	59	42	43
23	6	20	76	22	6	48	65
24	6	21	1	23	7	52	1
25	159	22	7	24	5	54	42
26	8	23	14	25	117	55	2
27	11	24	11	27	11	59	1
28	12	25	169	28	12	60	53
29	7	26	9	29	8	65	1
30	233	27	25	30	204	66	38
31	6	28	25	31	3	68	1
32	13	29	12	32	7	70	2
33	14	30	276	33	10	72	39
34	9	31	15	34	7	75	3
35	218	32	31	35	190	78	19
36	10	33	22	36	9	80	1
37	13	34	14	37	7	81	1
38	16	35	300	38	9	83	1
39	8	36	18	39	3	84	7
40	168	37	30	40	157	88	1
41	15	38	34	41	3	90	4
42	14	39	10	42	8	93	1
43	10	40	207	43	4	95	1
44	10	41	15	44	7	96	4
45	125	42	41	45	118	102	2
46	10	43	40	46	1	129	1
47	10	44	9	47	3		
48	12	45	142	48	7		
49	6	46	8	49	2		
50	88	47	13	50	87		
51	7	48	20	51	1		
52	9	49	12	53	2		

53	8	50	114	54	3		
54	8	51	12	55	36		
55	43	52	8	56	2		
56	5	53	9	58	1		
57	4	54	6	60	51		
58	5	55	57	63	1		
59	3	56	5	65	15		
60	49	57	8	66	2		
61	2	58	4	67	1		
62	3	59	6	68	1		
63	2	60	53	69	2		
64	5	61	5	70	20		
65	25	62	3	72	4		
67	1	63	3	75	8		
68	3	64	1	78	1		
69	2	65	27	80	10		
70	9	66	4	84	2		
72	2	67	3	85	1		
73	2	68	2	86	1		
75	4	69	1	90	10		
76	1	70	12	95	1		
78	1	71	3	100	2		
80	8	72	2	105	4		
81	2	74	1	109	1		
82	1	75	9	110	2		
83	2	76	1	115	2		
85	2	78	1	120	2		
87	1	80	11	125	1		
90	3	81	1	130	1		
93	1	85	5	135	1		
99	1	86	1	141	1		
100	2	89	2	150	1		
103	1	90	4	190	1		
115	1	95	1	200	1		
145	1	99	1	210	1		
		135	1	219	1		

EK 6: 3.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Yanaşma Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu

GEMLİK 2010		GEMLİK 2018		NEMRUT 2010		TÜPRAŞ 2017	
Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık
40	2	13	1	42	1	72	2
45	2	24	1	45	3	78	3
50	1	25	6	70	1	84	2
59	1	26	1	73	1	85	1
60	1	28	1			90	15
65	1	30	14			96	12
70	1	31	2			100	2
125	1	32	7			102	14
		33	1			105	2
		34	1			108	15
		35	17			112	1
		36	1			114	15
		37	6			116	1
		38	4			118	1
		39	2			120	13
		40	36			126	6
		41	3			132	5
		42	6			134	1
		43	8			138	2
		44	5			140	1
		45	29			144	4
		46	3			150	1
		47	7			156	2
		48	7			162	2
		49	4				
		50	35				
		51	2				
		52	6				
		53	2				
		54	3				
		55	22				
		57	4				
		58	4				
		59	2				
		60	13				
		61	2				

		62	2				
		63	1				
		64	1				
		65	10				
		66	1				
		69	1				
		70	3				
		74	1				
		75	4				
		78	1				
		80	2				
		85	1				
		87	1				
		90	1				
		97	1				
		100	1				

EK 7: 1.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu

GEMLİK 2010		GEMLİK 2018		NEMRUT 2010	
Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık
10	88	5	3	10	71
12	4	6	3	11	1
13	4	7	3	12	19
14	3	8	10	13	12
15	332	9	1	14	7
16	4	10	130	15	384
17	6	11	5	16	4
18	12	12	22	17	20
19	3	13	22	18	21
20	237	14	9	19	1
21	3	15	226	20	340
22	6	16	12	21	2
23	4	17	15	22	10
24	5	18	18	23	6
25	78	19	7	24	4
27	2	20	127	25	124
28	1	21	1	27	2
29	1	22	5	28	2
30	33	23	6	30	52
35	7	24	2	32	1
39	1	25	54	35	6
40	3	27	2	37	1
45	1	28	3	40	2
50	2	30	17	42	1
60	1	31	1	45	5
65	2	35	7	60	2
85	1	38	1	70	1
		40	7	80	1
		43	2	115	1
		45	3		
		47	1		
		60	1		
		70	2		
		75	1		
		86	1		

EK 8: 2.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu

GEMLİK 2010		GEMLİK 2018		NEMRUT 2010	
Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık
10	47	5	1	10	7
12	5	7	1	12	4
13	6	8	6	13	1
14	7	9	4	14	2
15	320	10	85	15	112
16	4	11	4	16	4
17	20	12	31	17	9
18	19	13	36	18	22
19	12	14	15	19	9
20	388	15	455	20	257
21	4	16	26	21	5
22	19	17	52	22	11
23	26	18	59	23	13
24	13	19	22	24	9
25	275	20	429	25	237
26	9	21	19	26	3
27	16	22	59	27	15
28	16	23	36	28	12
29	7	24	24	29	5
30	120	25	307	30	226
31	11	26	11	31	2
32	14	27	21	32	7
33	10	28	22	33	12
34	5	29	6	34	5
35	60	30	136	35	117
36	5	31	6	36	2
37	1	32	12	37	4
38	4	33	10	38	6
40	32	34	4	39	3
42	3	35	49	40	73
43	3	36	5	42	3
45	12	37	2	43	1
46	1	38	3	45	33
48	2	39	1	49	3
50	6	40	15	50	21
55	1	41	2	51	1

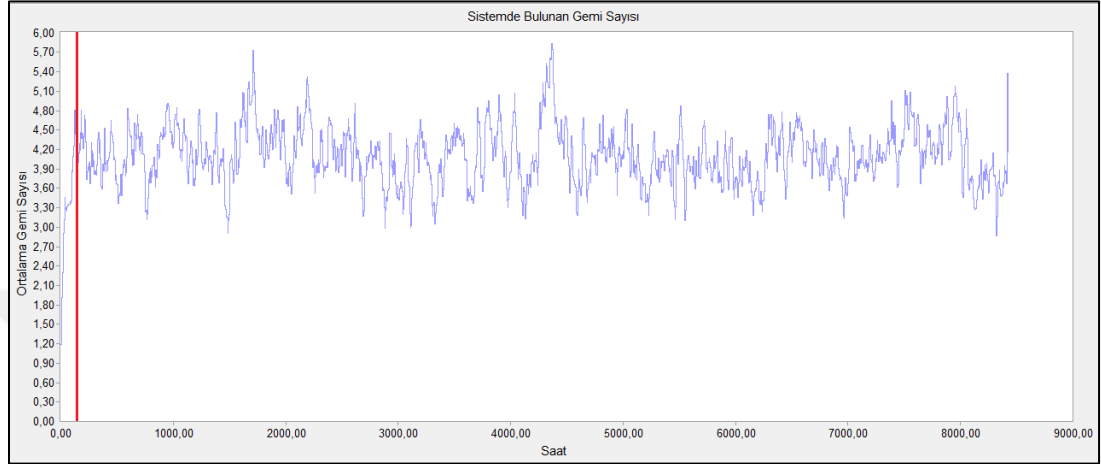
60	1	42	5	55	6
65	2	43	3	60	10
75	2	44	1	65	3
		45	10	75	1
		46	1	105	3
		47	2	210	1
		50	4		
		55	5		
		57	1		
		59	1		
		63	1		
		70	2		
		75	2		
		80	1		
		90	1		
		130	1		

EK 9: 3.Gemi Büyüklük Sınıfına Ait Kalkış Manevrası Sürelerinin Frekans Dağılım Tablosu

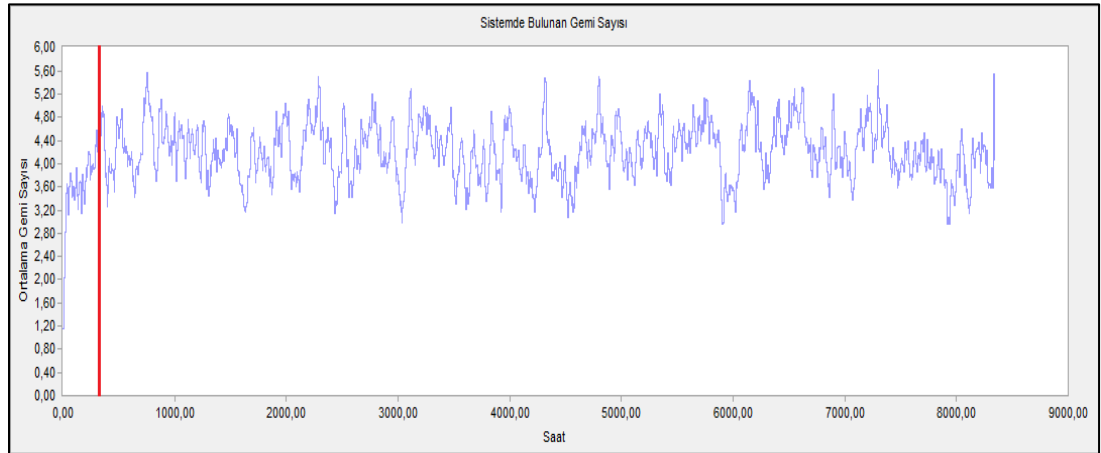
GEMLİK 2010		GEMLİK 2018		NEMRUT 2010	
Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık	Süre(dk)	Sıklık
20	1	10	1	20	1
30	2	13	4	34	1
35	2	14	1	40	2
42	1	15	22	45	1
45	1	16	1	48	1
50	1	17	6		
61	1	18	4		
65	1	19	4		
		20	44		
		21	2		
		22	8		
		23	10		
		24	3		
		25	65		
		26	3		
		27	10		
		28	7		
		29	2		
		30	43		
		31	3		
		32	3		
		33	4		
		34	3		
		35	19		
		37	1		
		39	2		
		40	10		
		41	1		
		42	1		
		45	6		
		48	1		
		50	3		
		55	2		

EK 10: Genel Isınma Süresinin Belirlenmesi için Yapılan Deneylerde Sistemde Bulunan Ortalama Gemi Sayısının Zamana Göre Değişimi

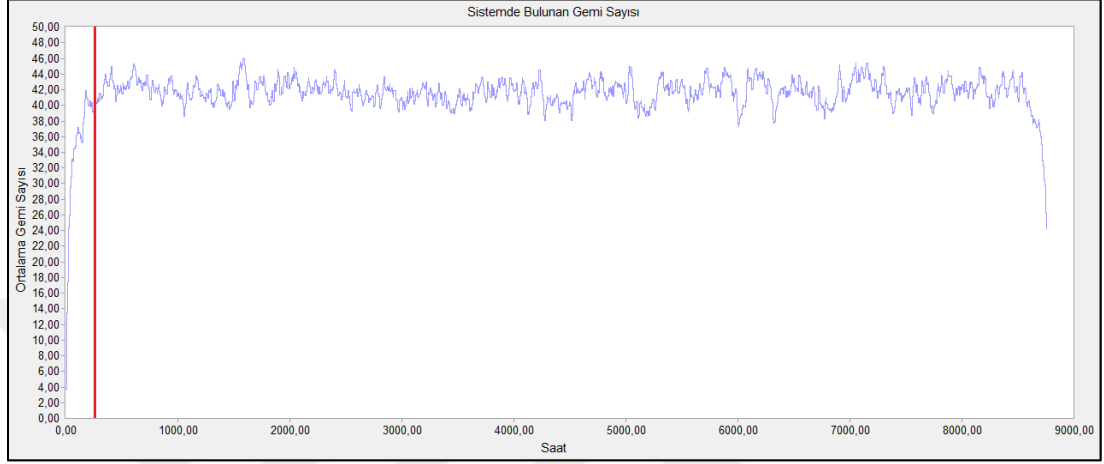
a) 1.Deney: GGS'nin 1.000 Adet, SB'nin 1 Deniz Mili, RS'nin 3 Adet Olduğu Durum



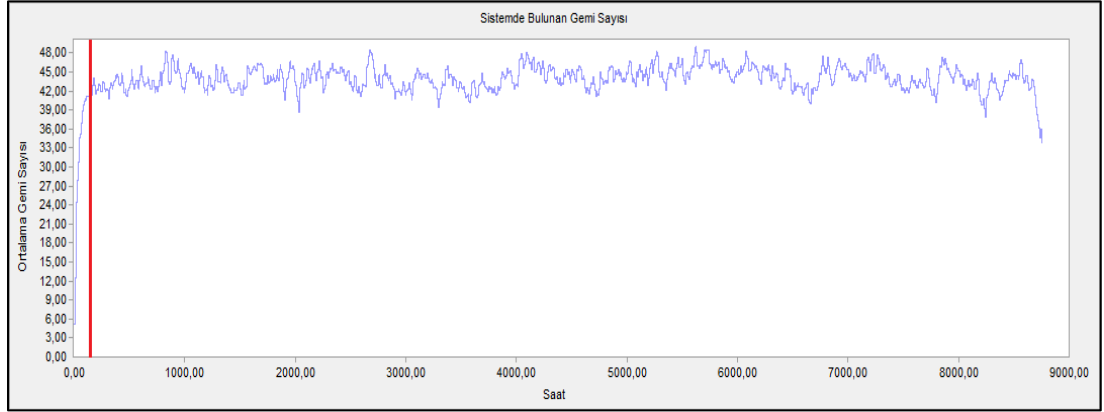
b) 2.Deney: GGS'nin 1.000 Adet, SB'nin 10 Deniz Mili, RS'nin 3 Adet Olduğu Durum



c) 3.Deney: GS'nin 10.000 Adet, SB'nin 1 Deniz Mili, RS'nin 4 Adet Olduğu Durum

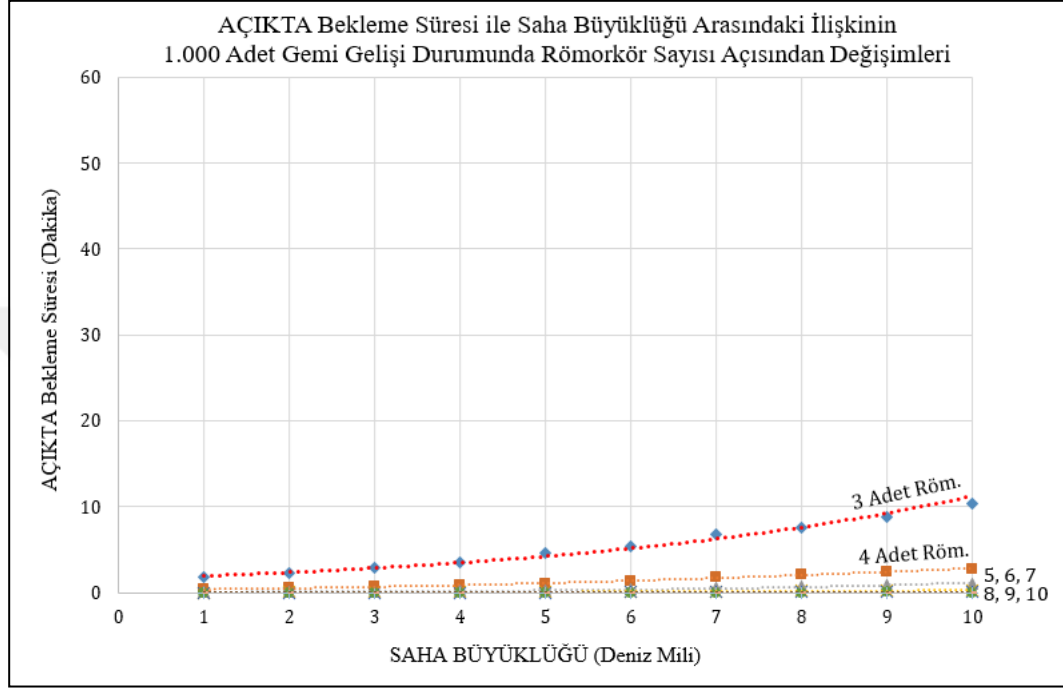


d) 4.Deney: GS'nin 10.000 Adet, SB'nin 10 Deniz Mili, RS'nin 6 Adet Olduğu Durum

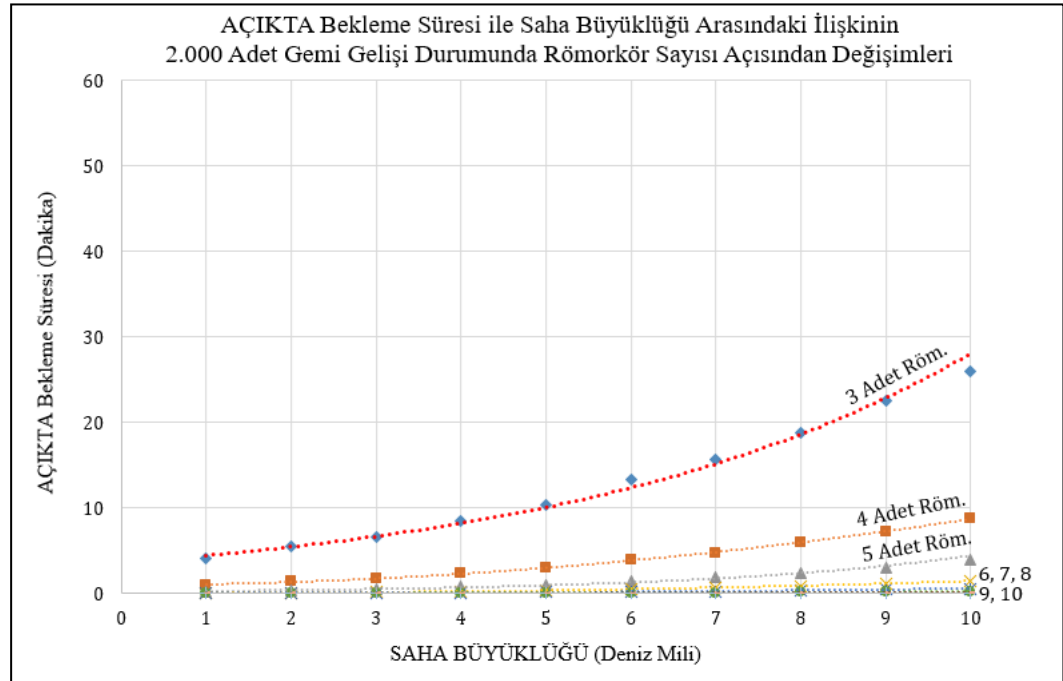


EK 11: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin, GGS Sabit Tutulduğunda RS Açısından Değişimleri

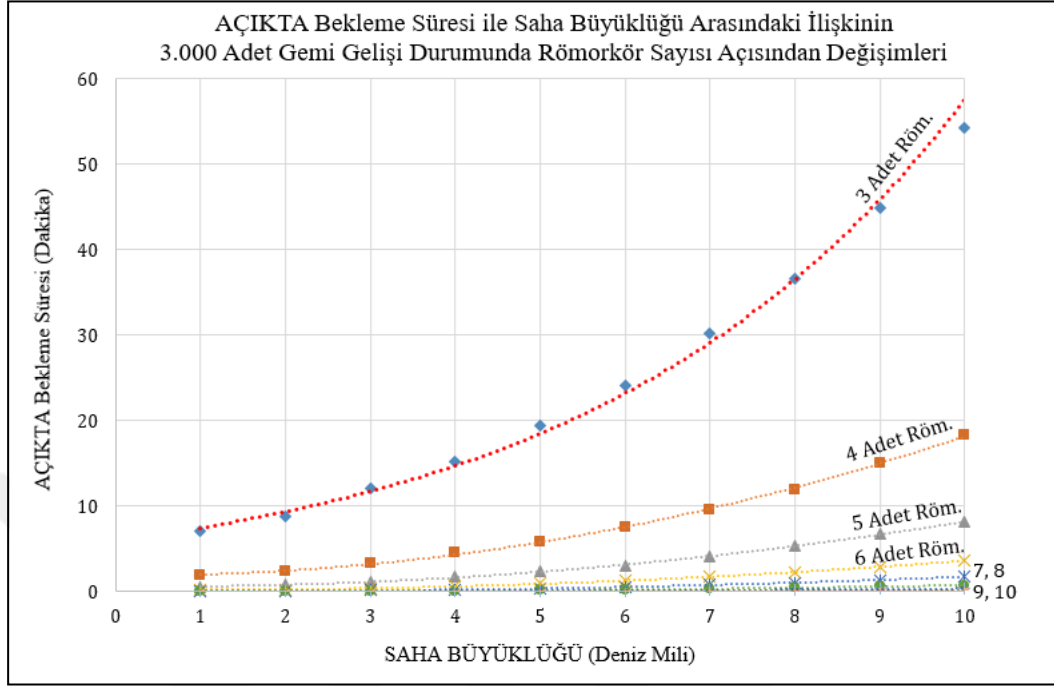
a) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 1.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



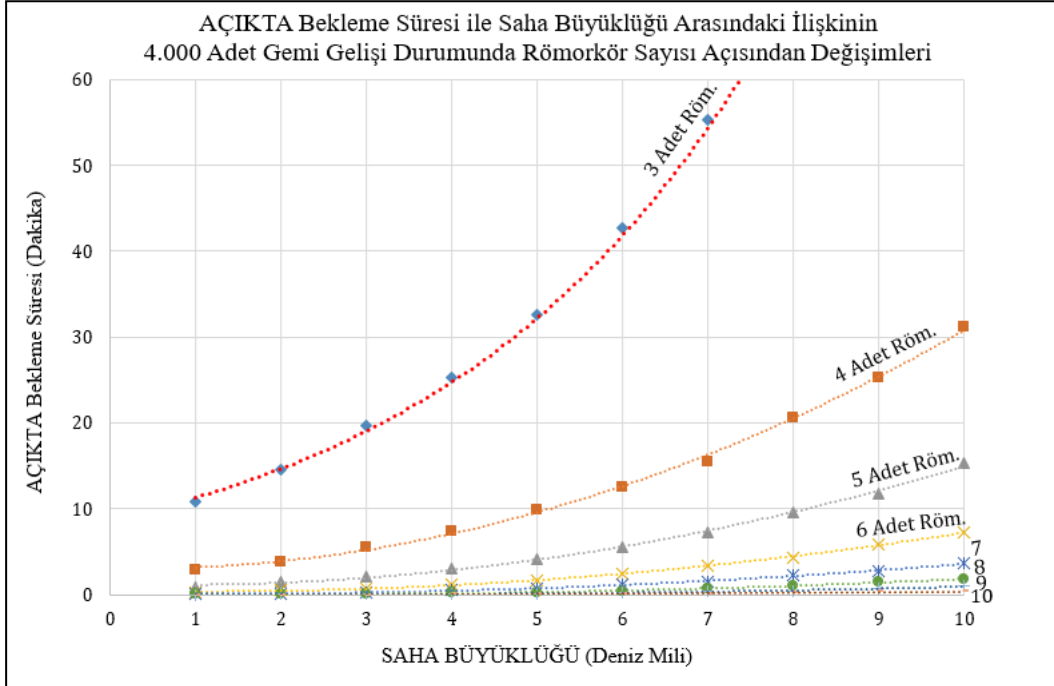
b) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 2.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



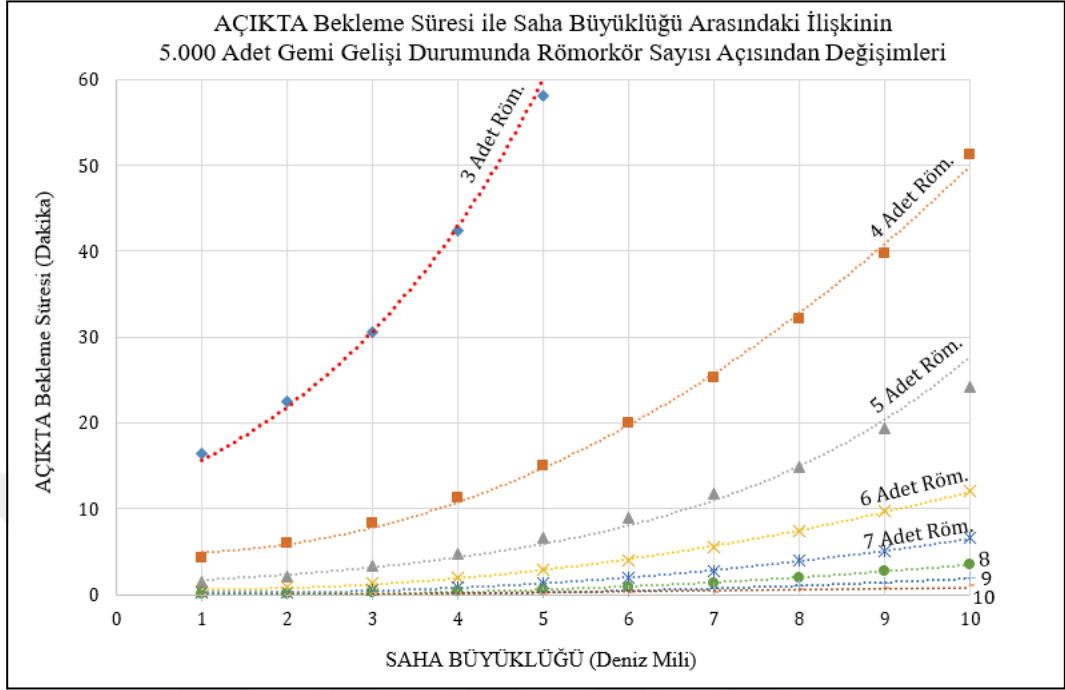
c) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



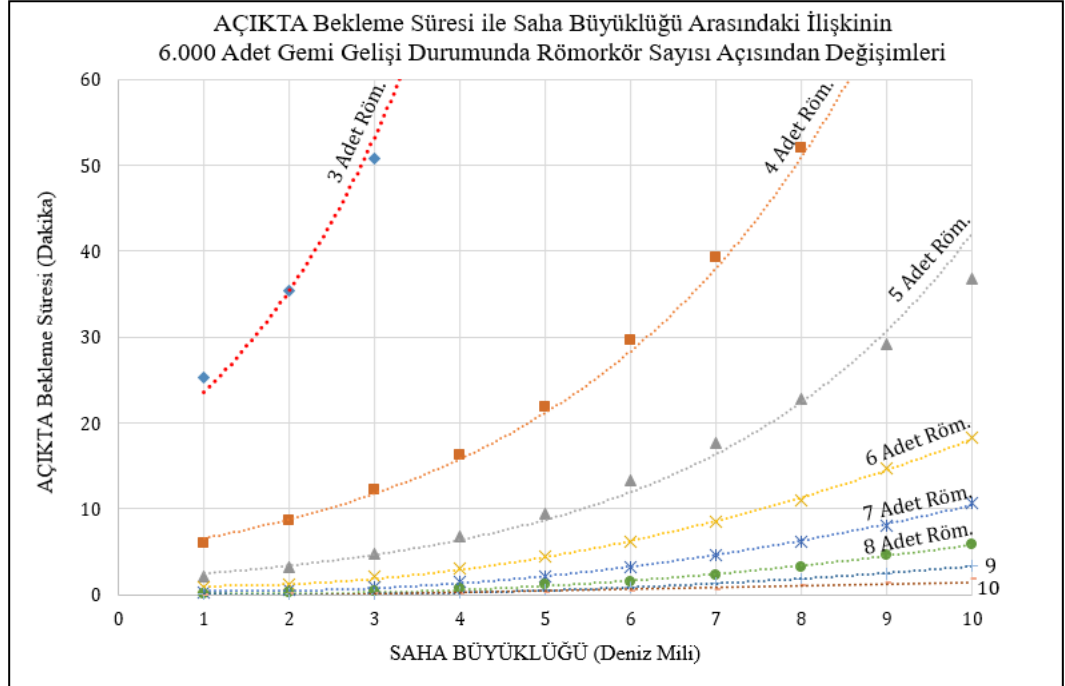
ç) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 4.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



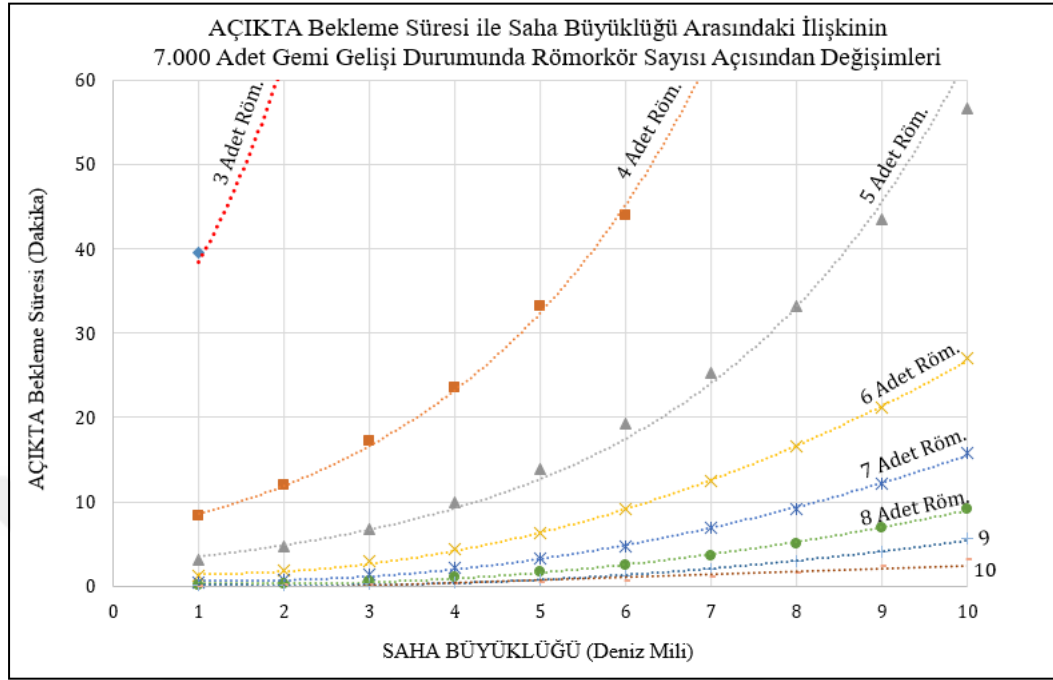
d) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 5.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



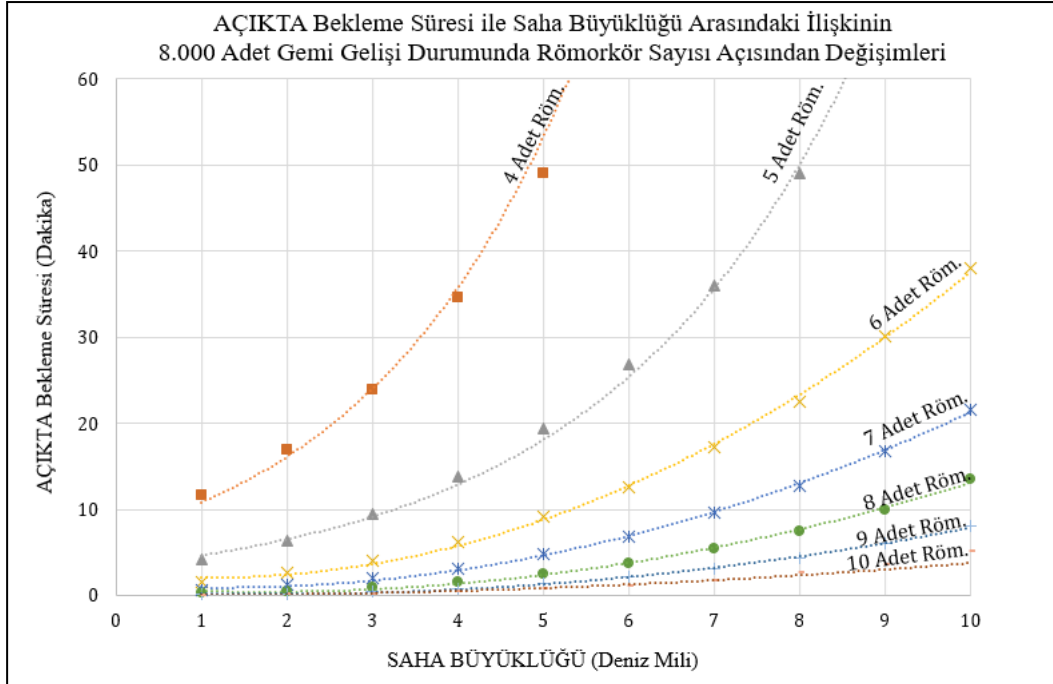
e) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 6.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



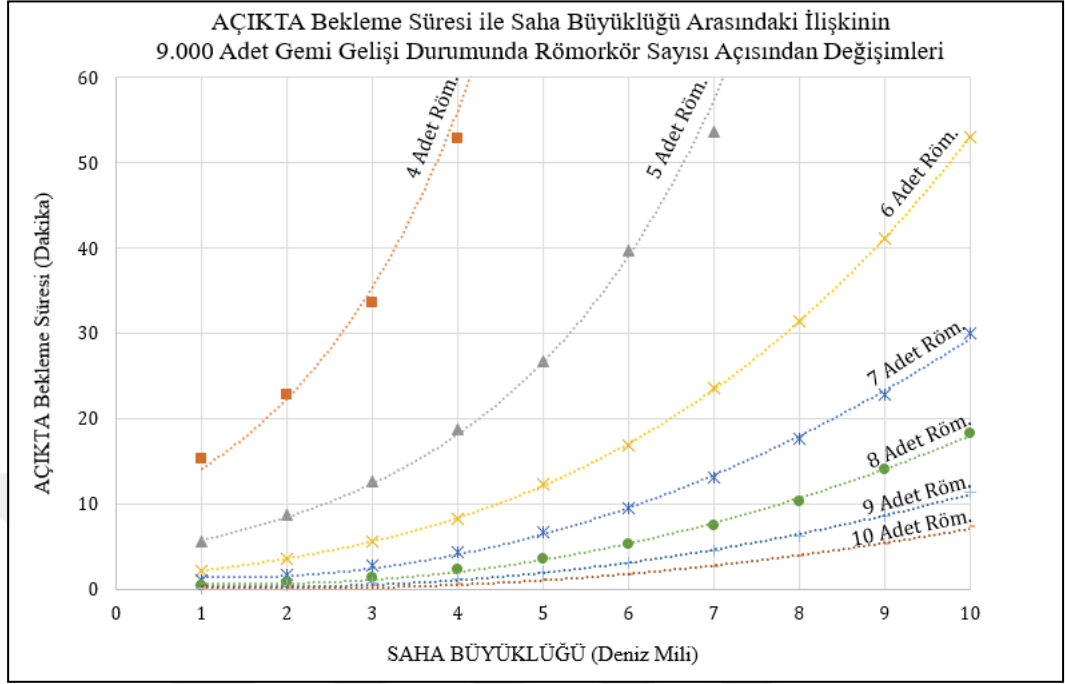
f) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 7.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



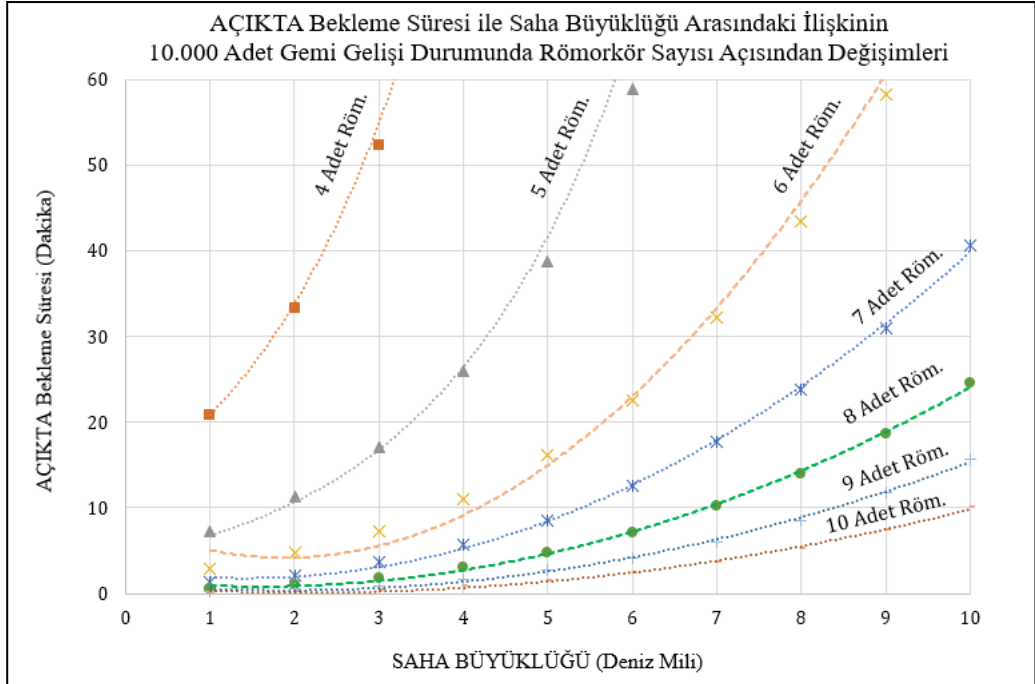
g) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 8.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



ğ) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 9.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri

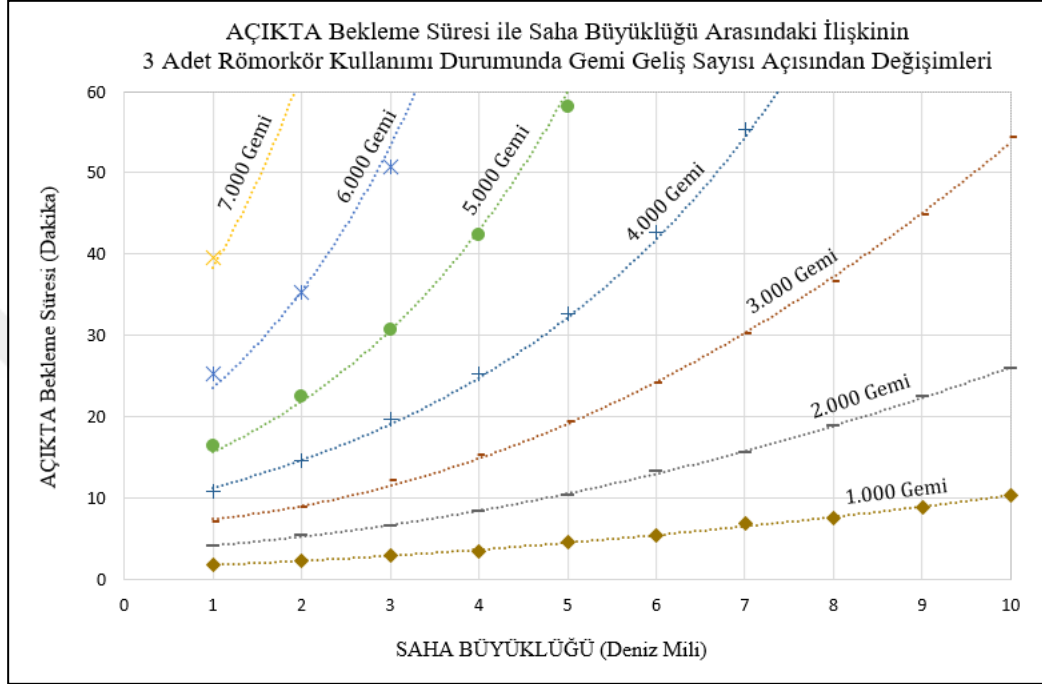


h) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri

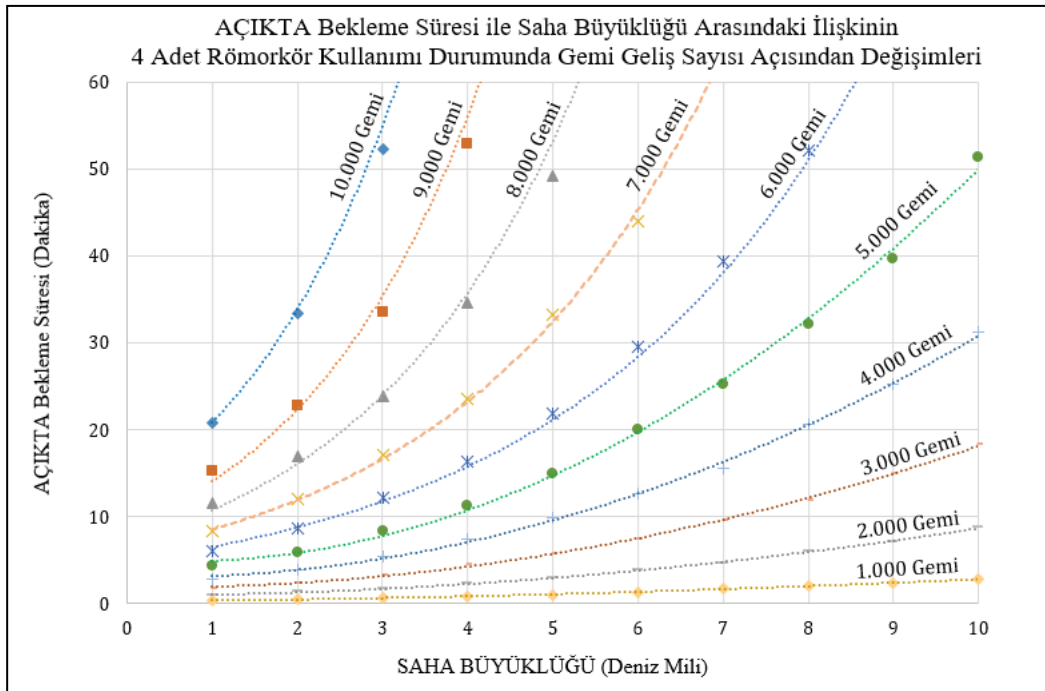


EK 12: ABS ile SB Arasındaki İlişkinin, RS Sabit Tutulduğunda GGS Açısından Değişimleri

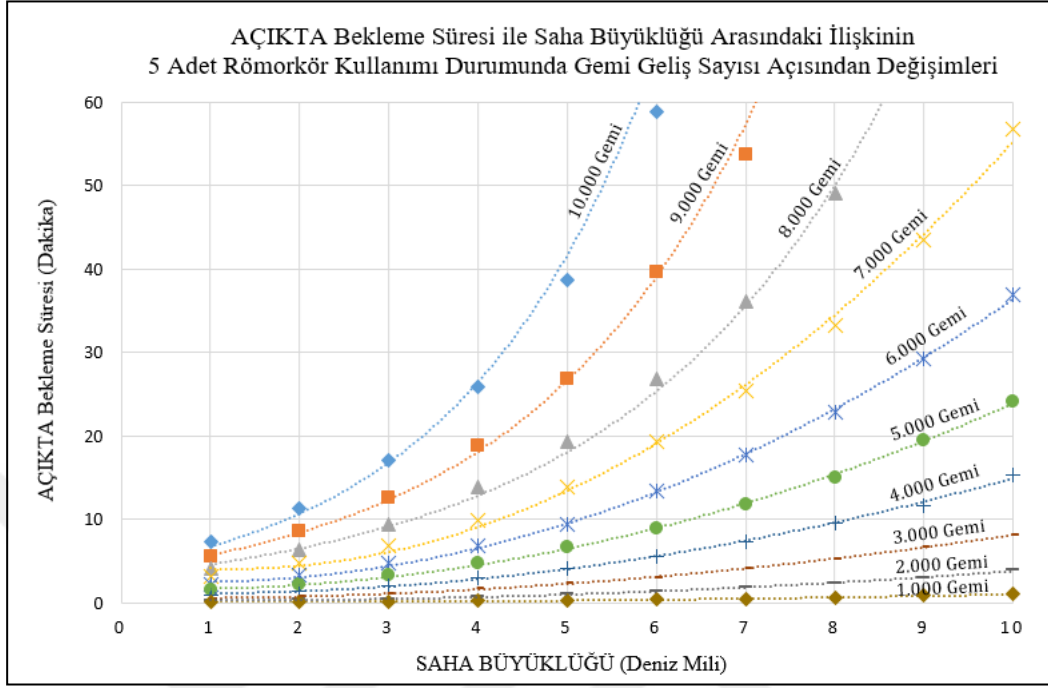
a) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 3 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



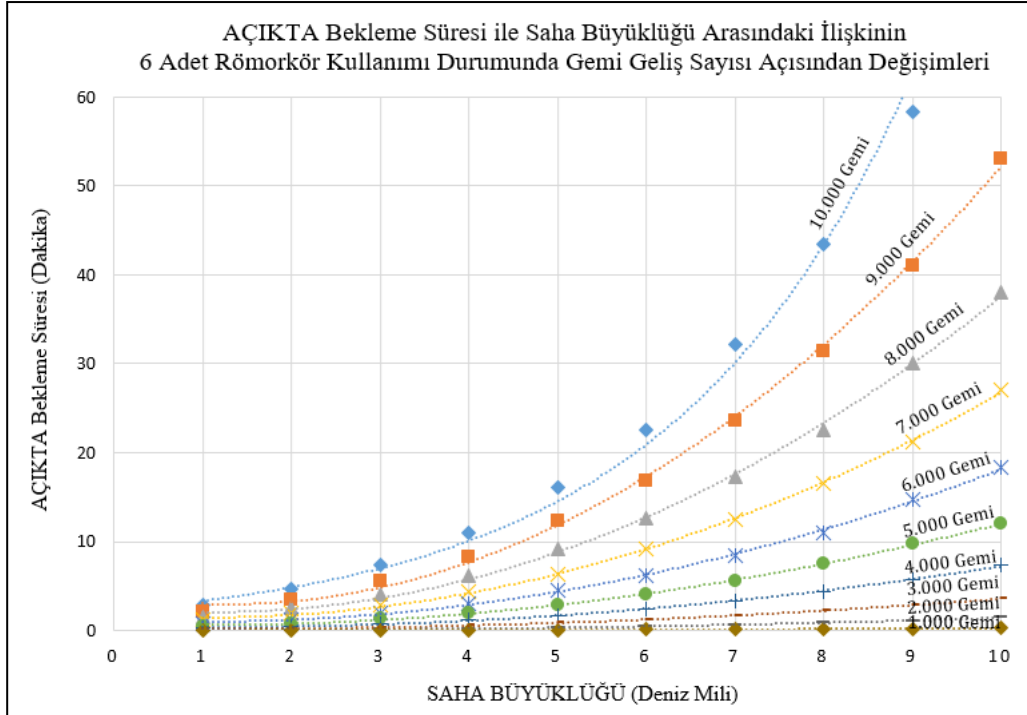
b) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 4 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



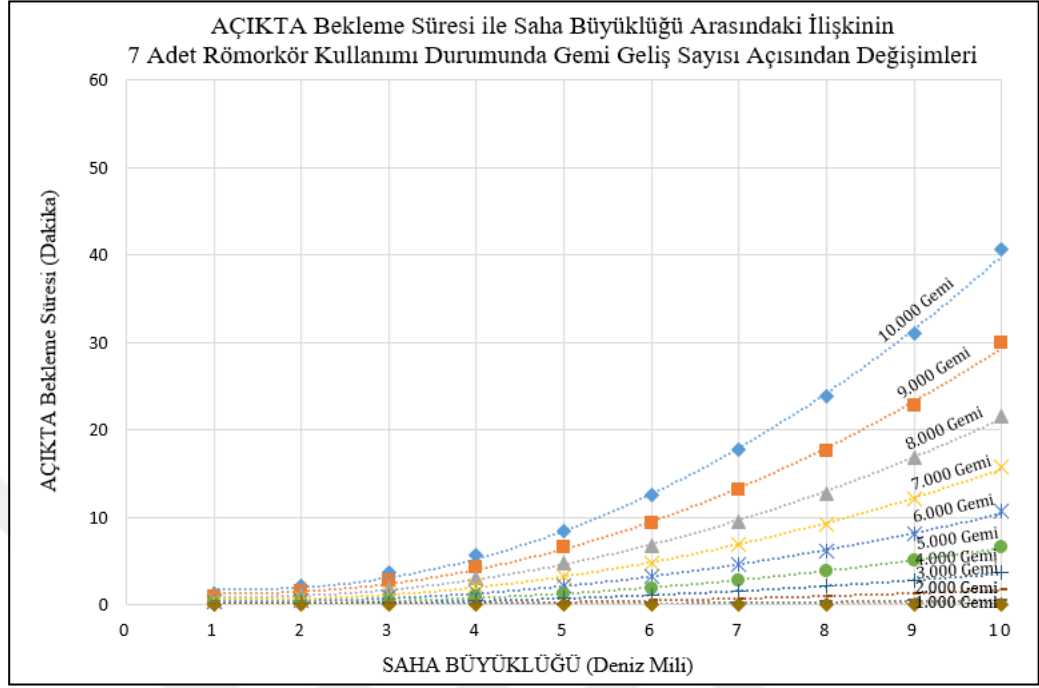
c) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 5 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



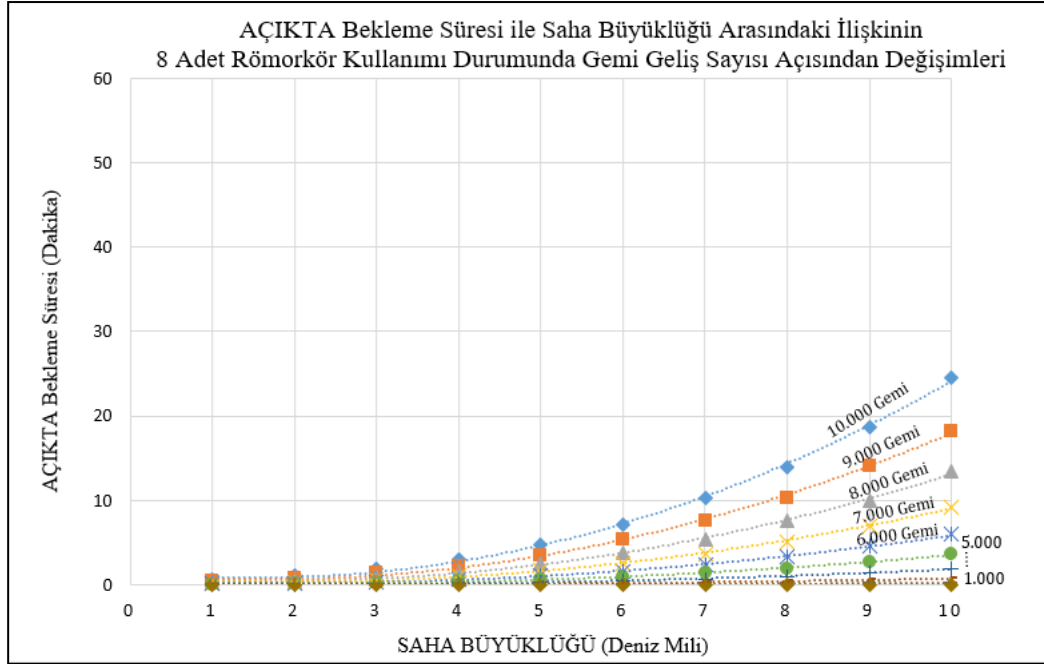
ç) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 6 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



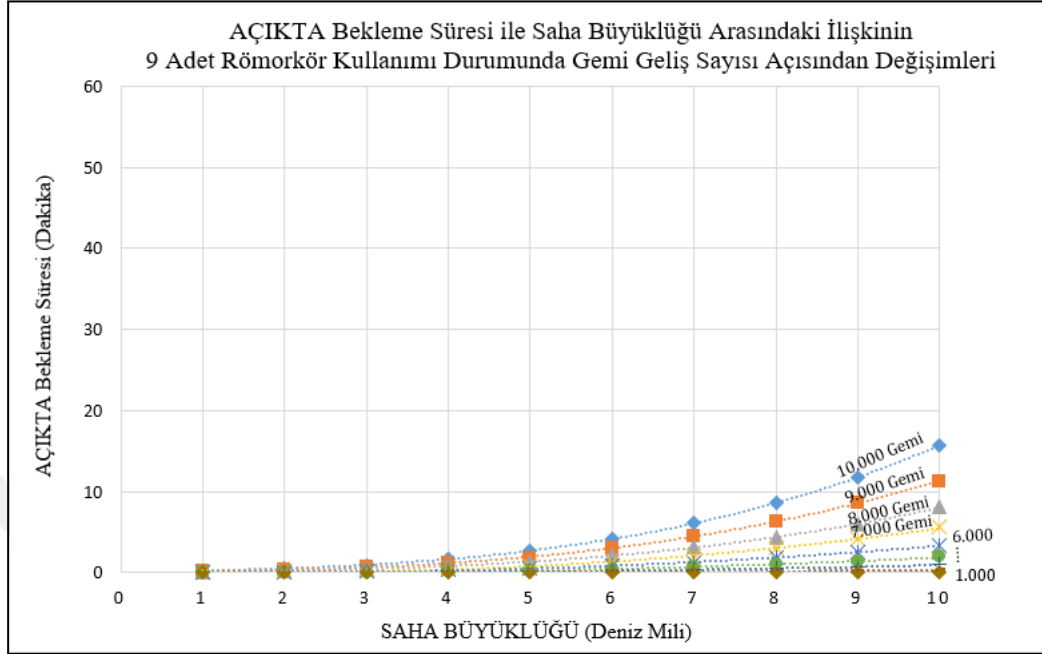
d) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 7 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



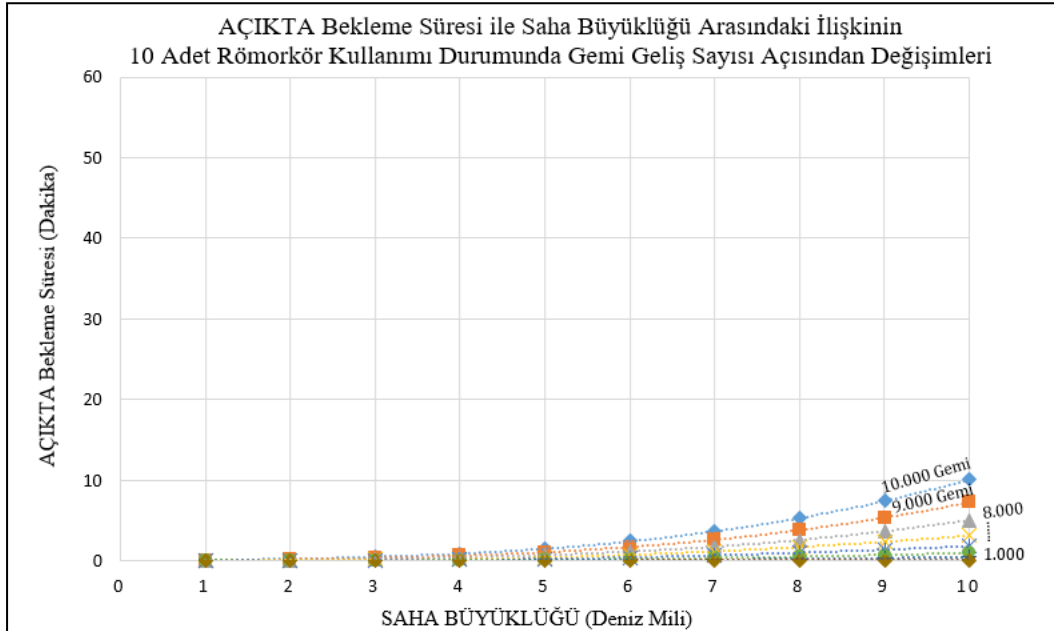
e) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 8 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



f) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 9 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri

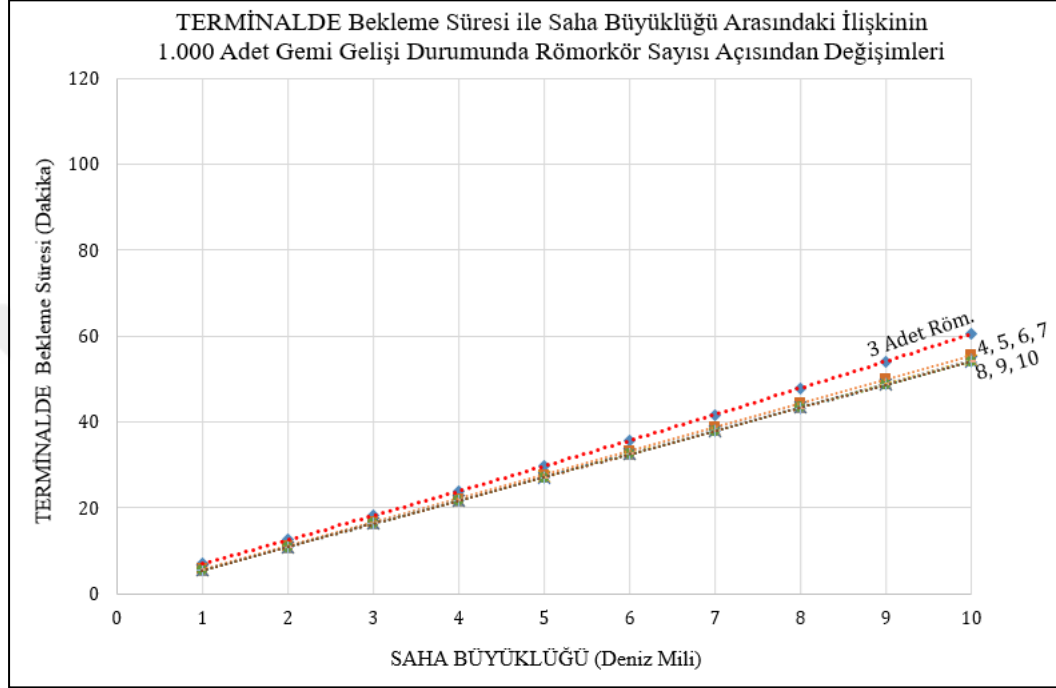


g) ABS ile SB Arasındaki İlişkinin 10 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri

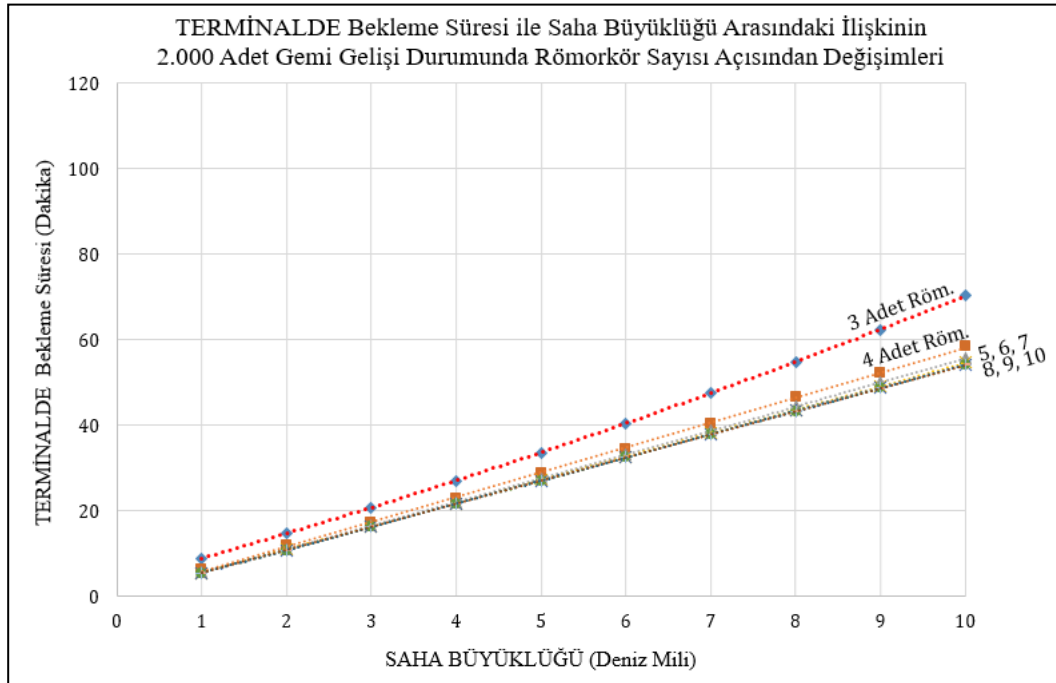


EK 13: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin, GGS Sabit Tutulduğunda RS Açısından Değişimleri

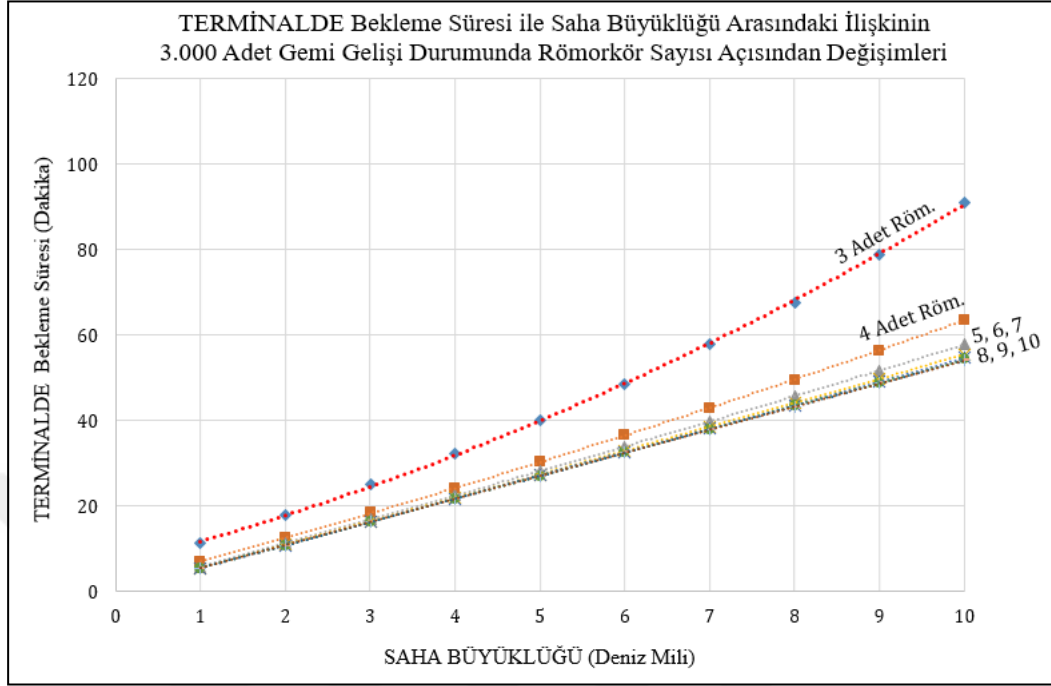
a) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 1.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



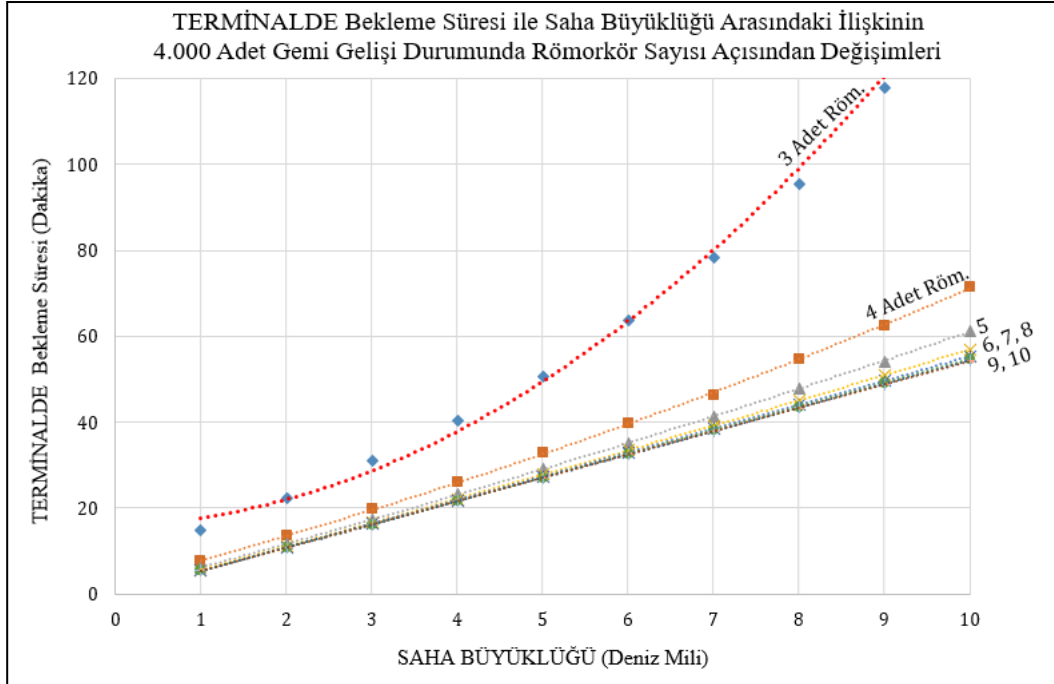
b) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 2.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



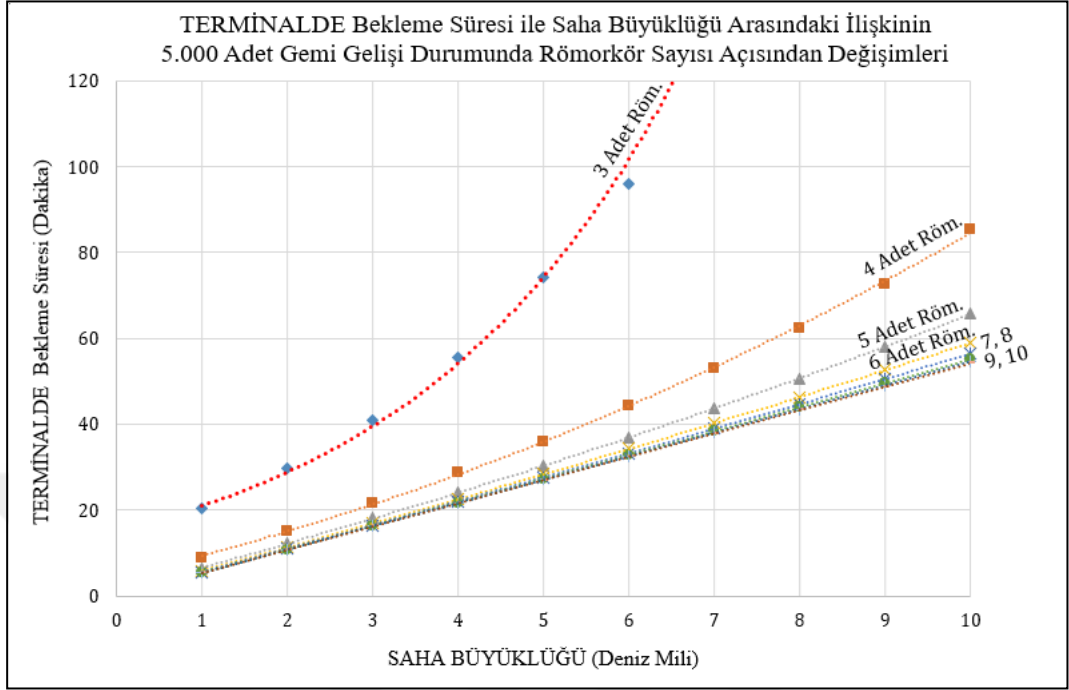
c) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



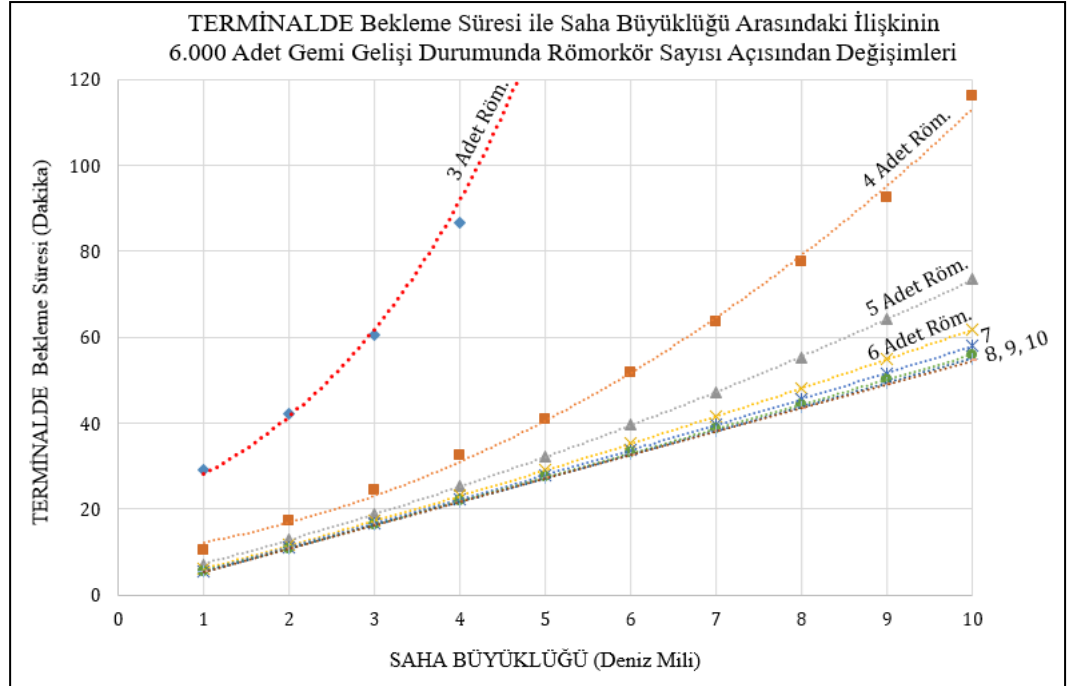
ç) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 4.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



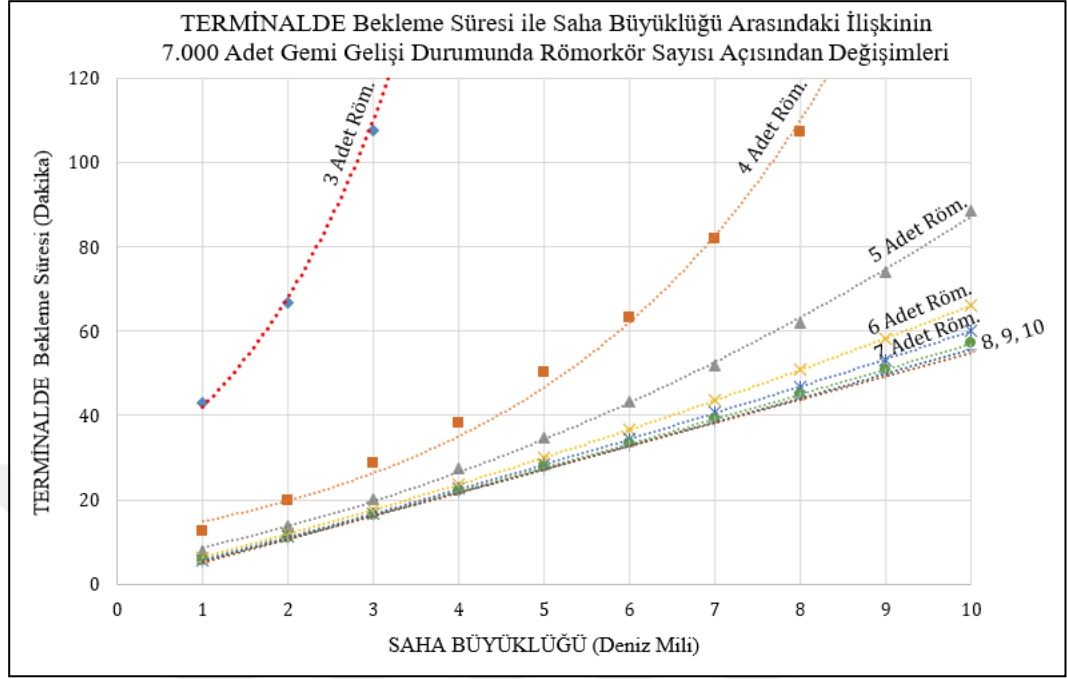
d) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 5.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



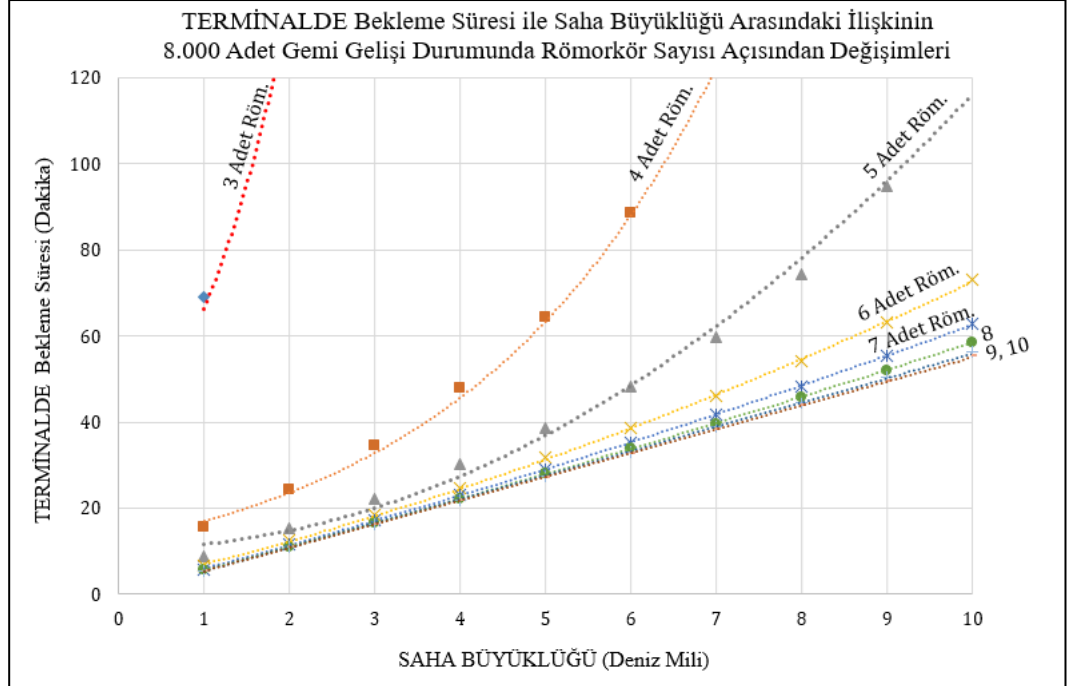
e) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 6.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



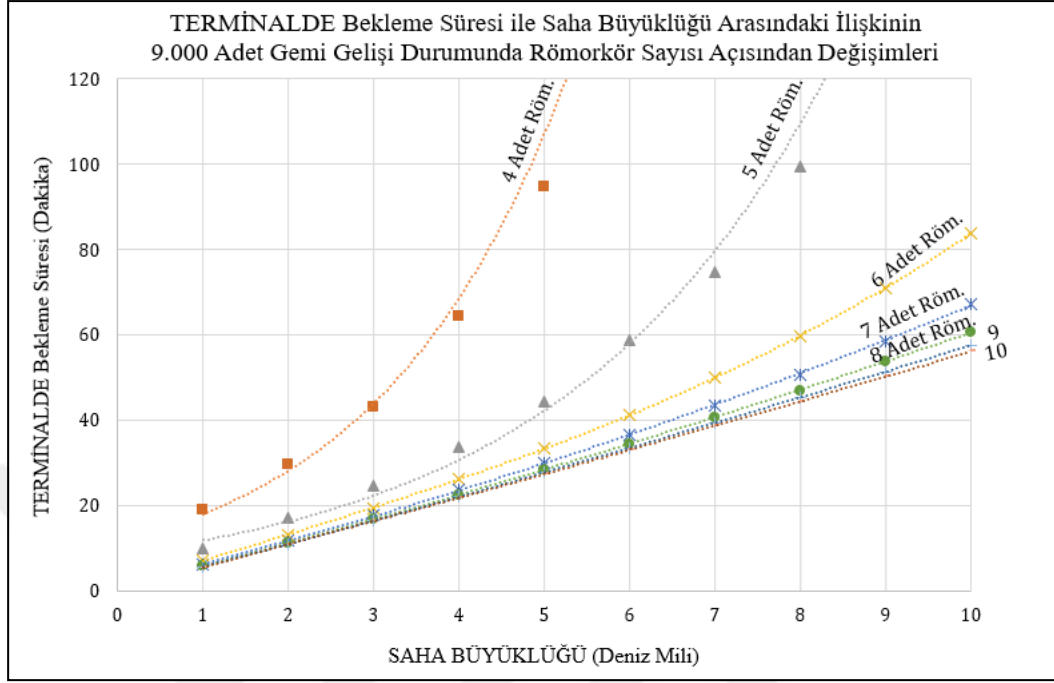
f) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 7.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



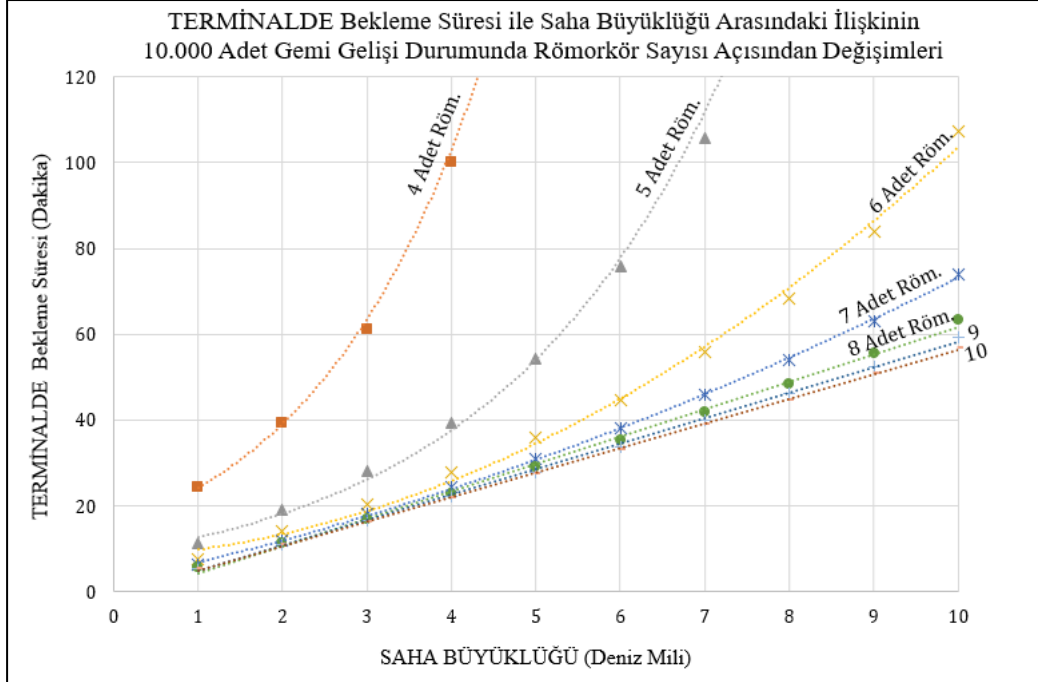
g) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 8.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



ğ) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 9.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri

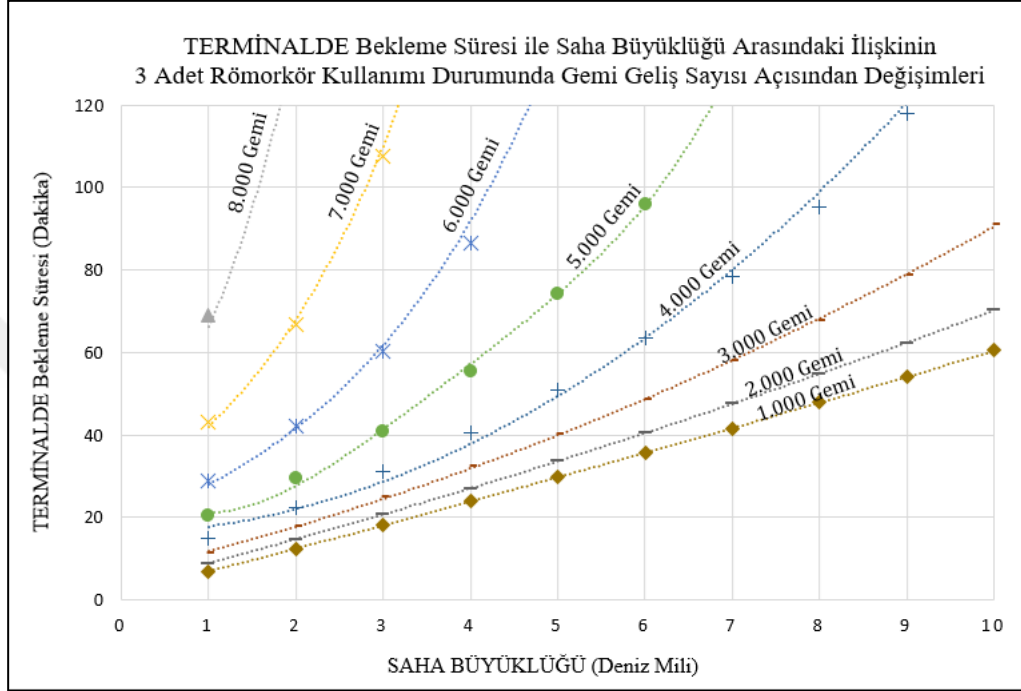


h) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri

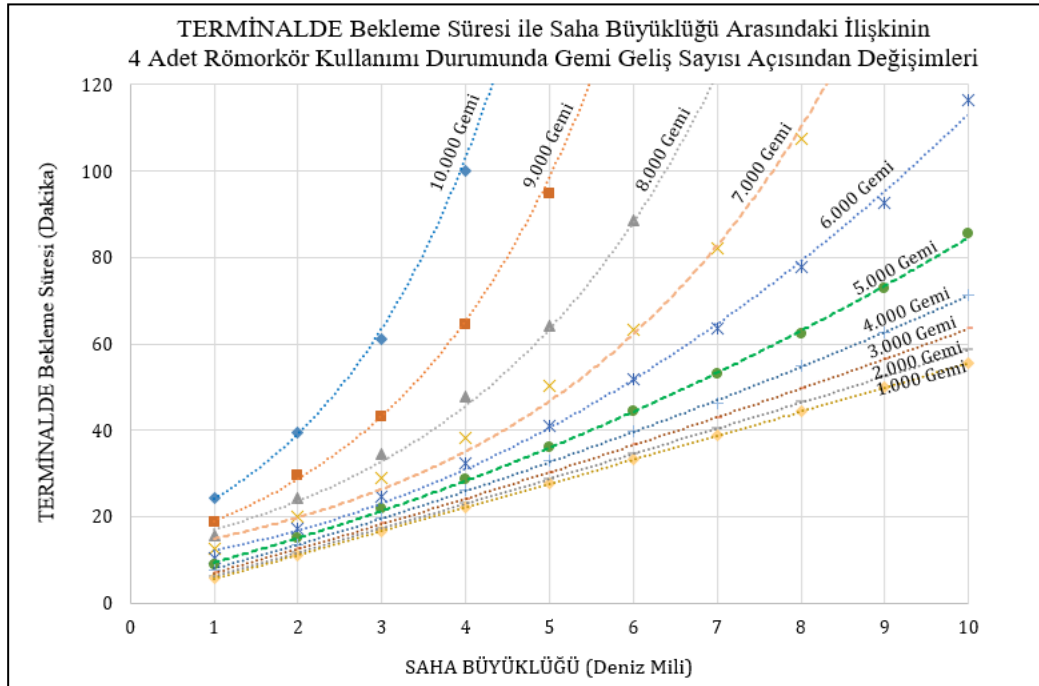


EK 14: TBS ile SB Arasındaki İlişkinin, RS Sabit Tutulduğunda GGS Açısından Değişimleri

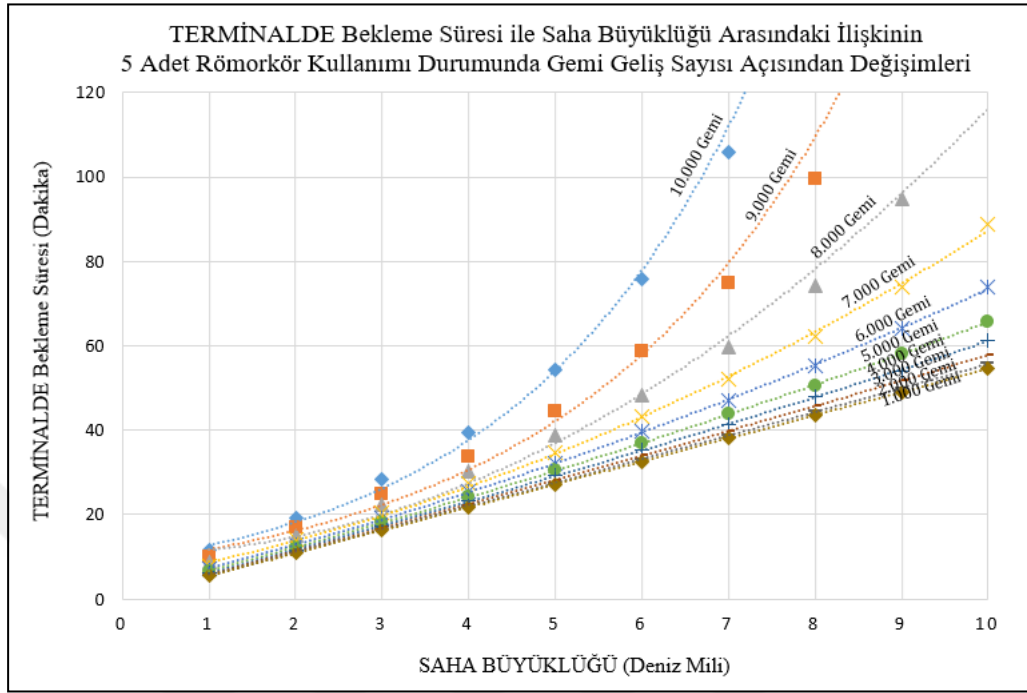
a) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 3 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



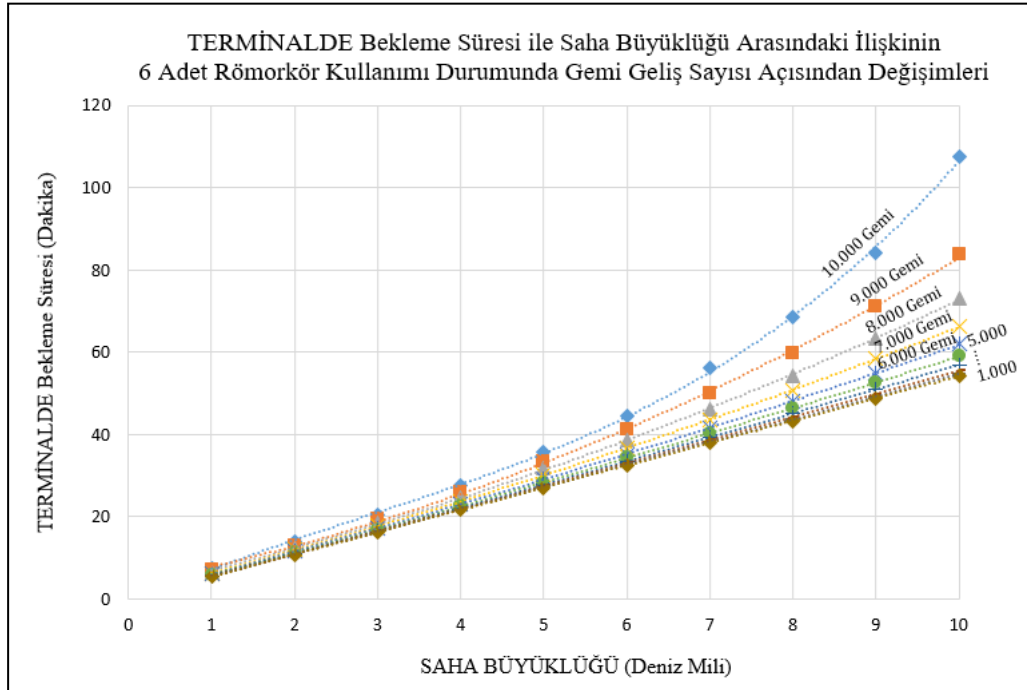
b) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 4 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



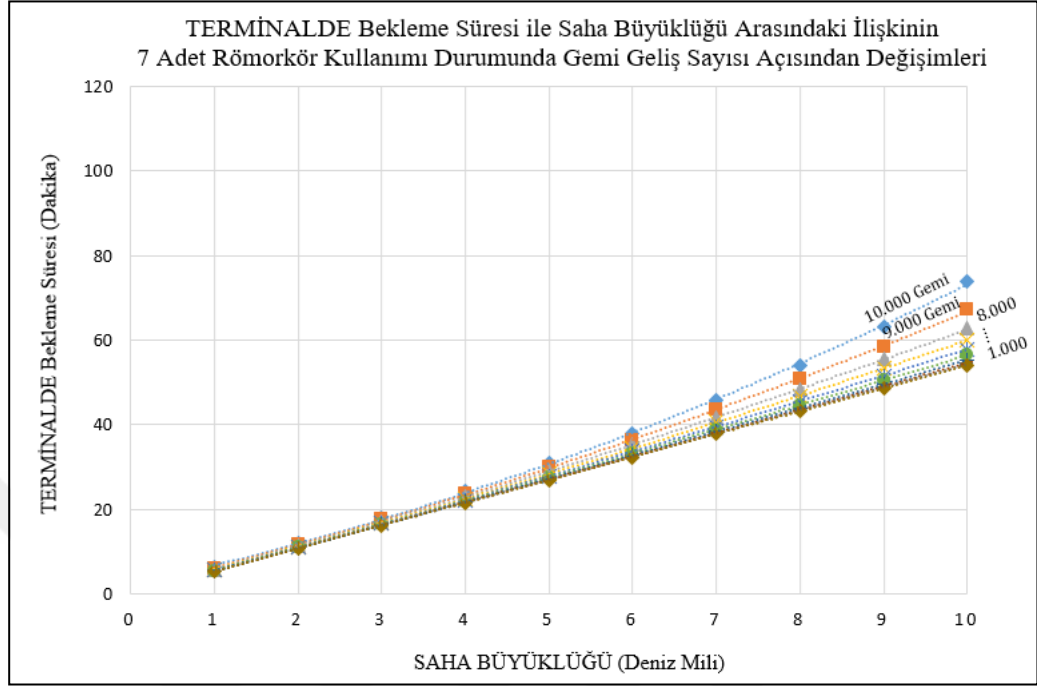
c) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 5 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



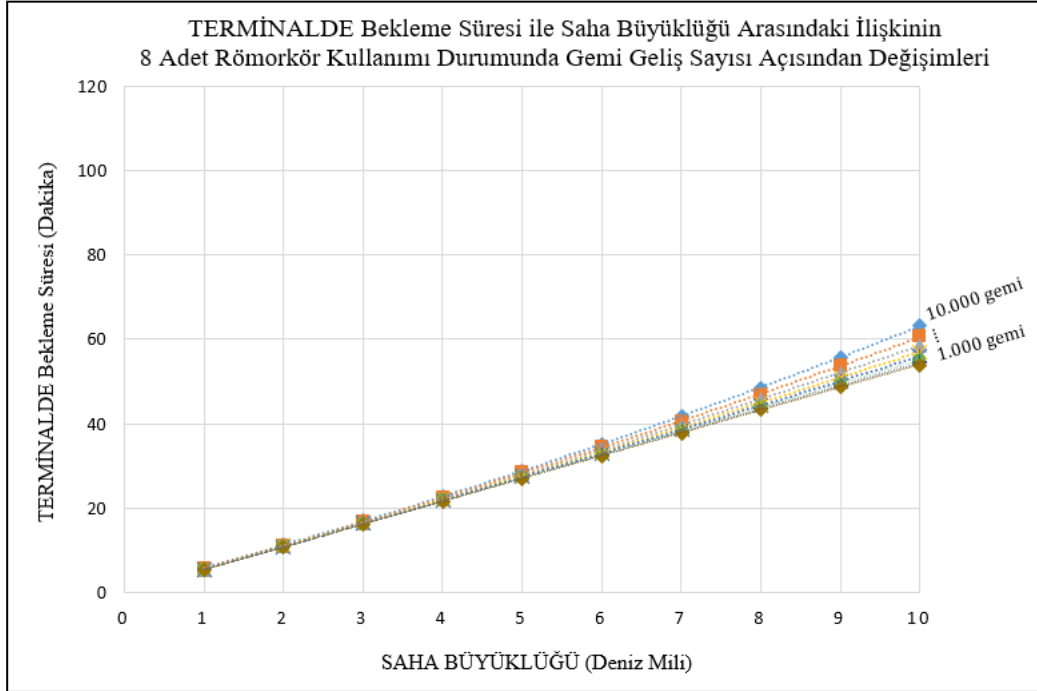
ç) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 6 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



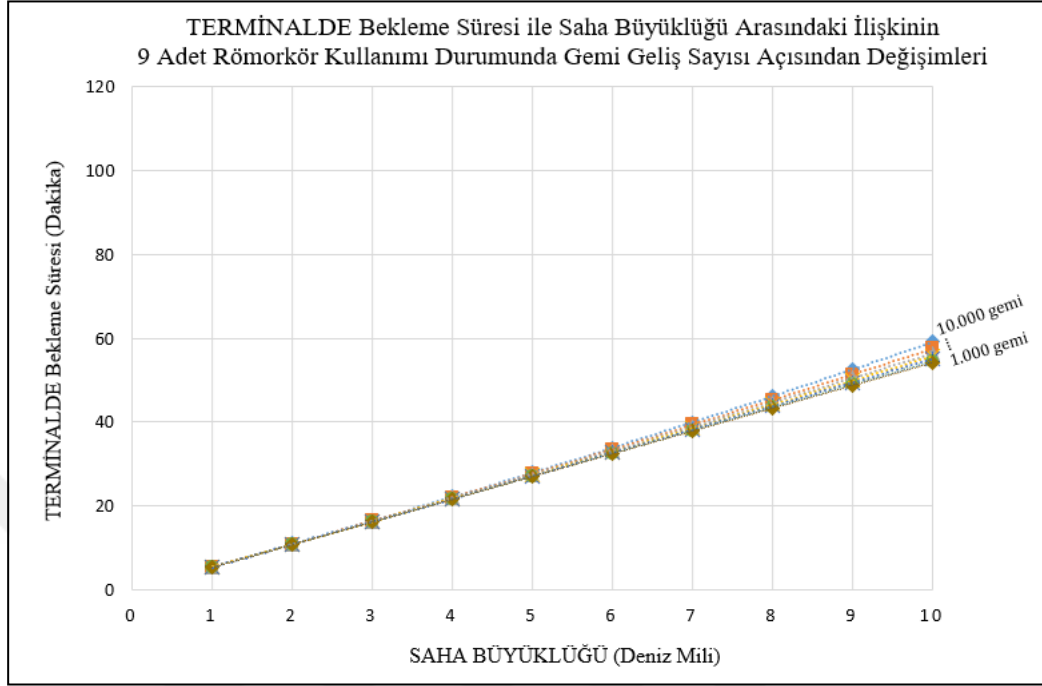
d) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 7 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



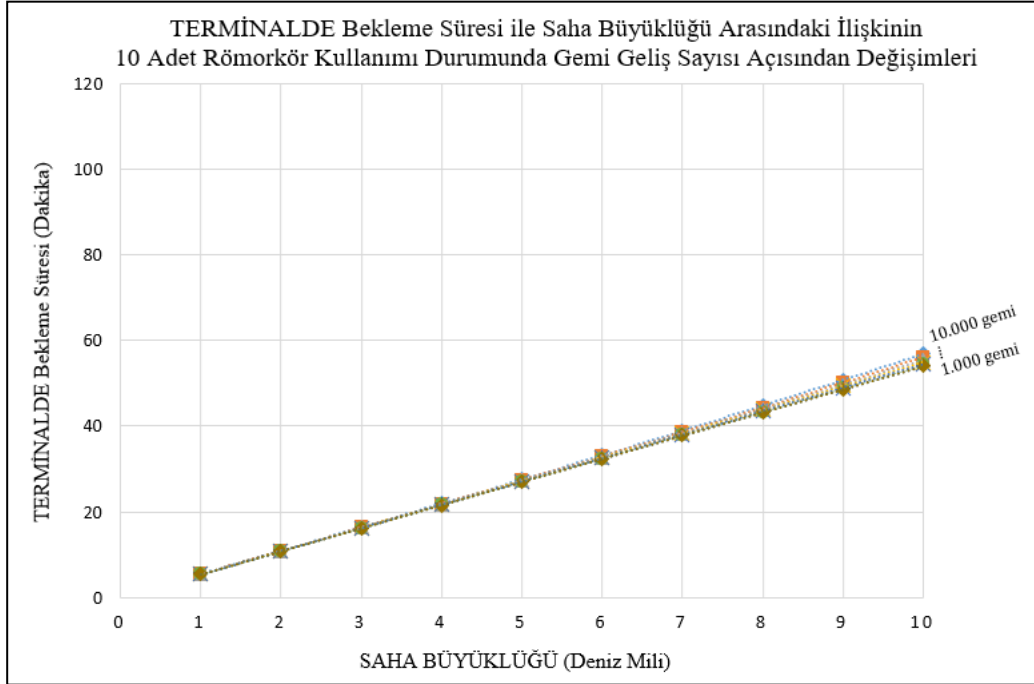
e) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 8 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri



f) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 9 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri

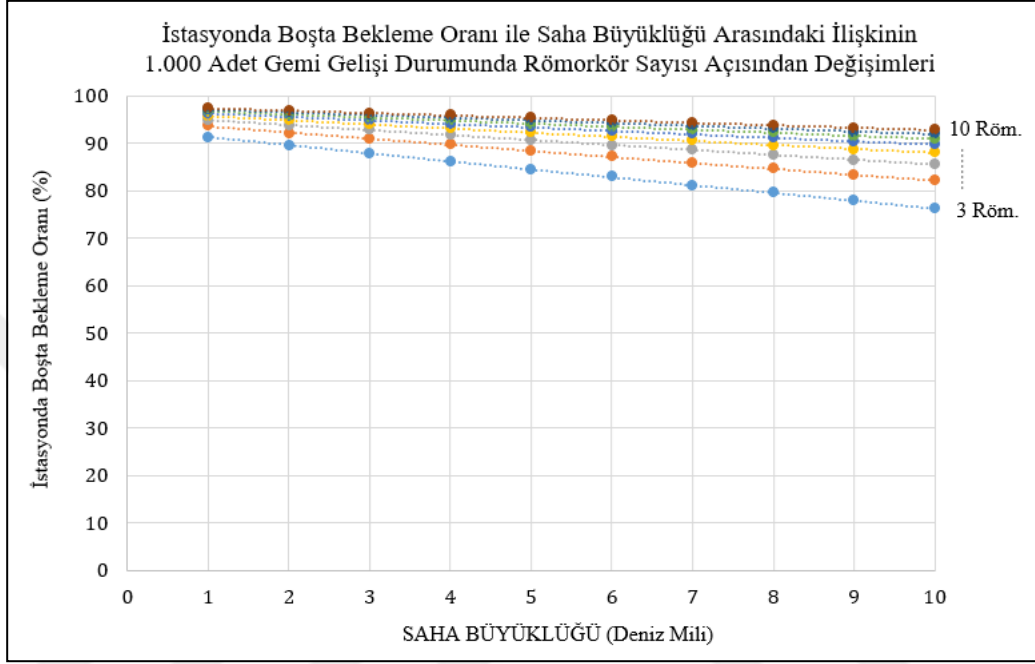


g) TBS ile SB Arasındaki İlişkinin 10 Adet Römorkör Kullanımı Durumunda GGS Açısından Değişimleri

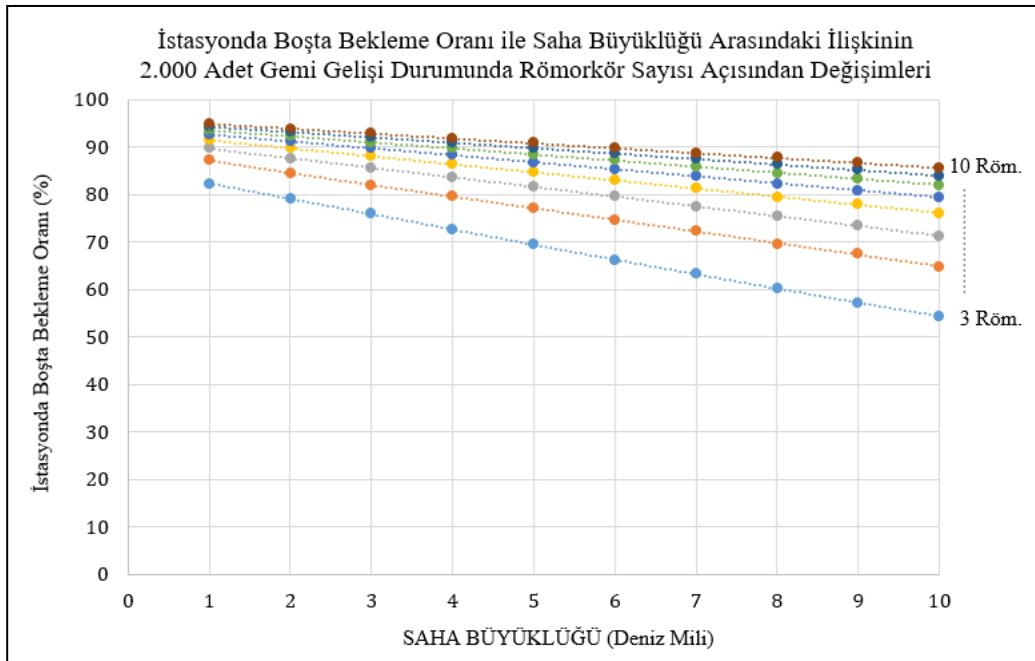


EK 15: İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin, GGS Sabit Tutulduğunda RS Açısından Değişimleri

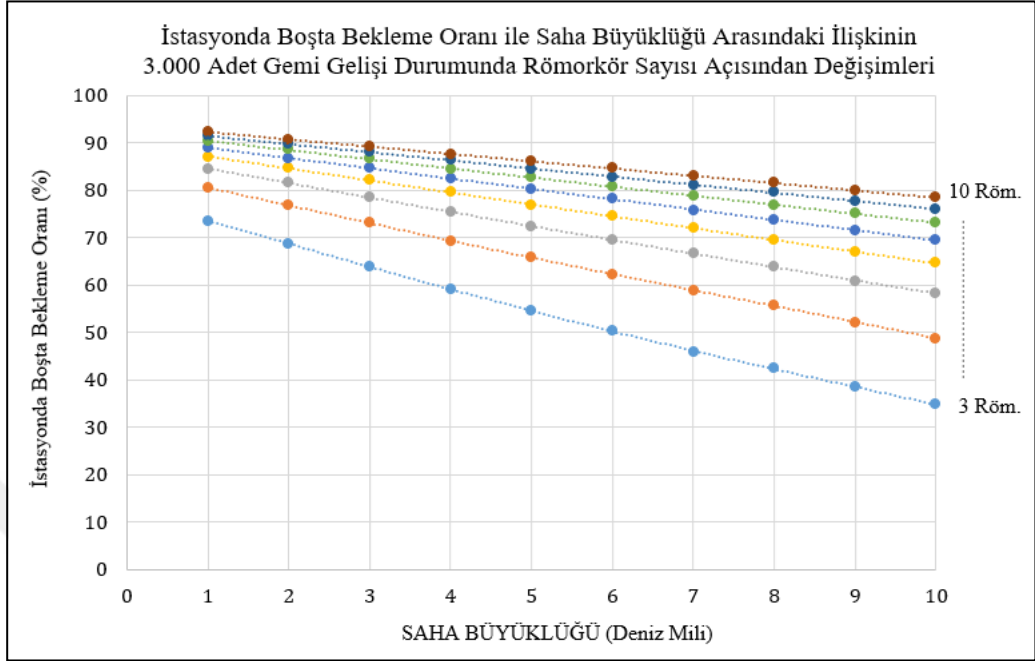
a) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 1.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



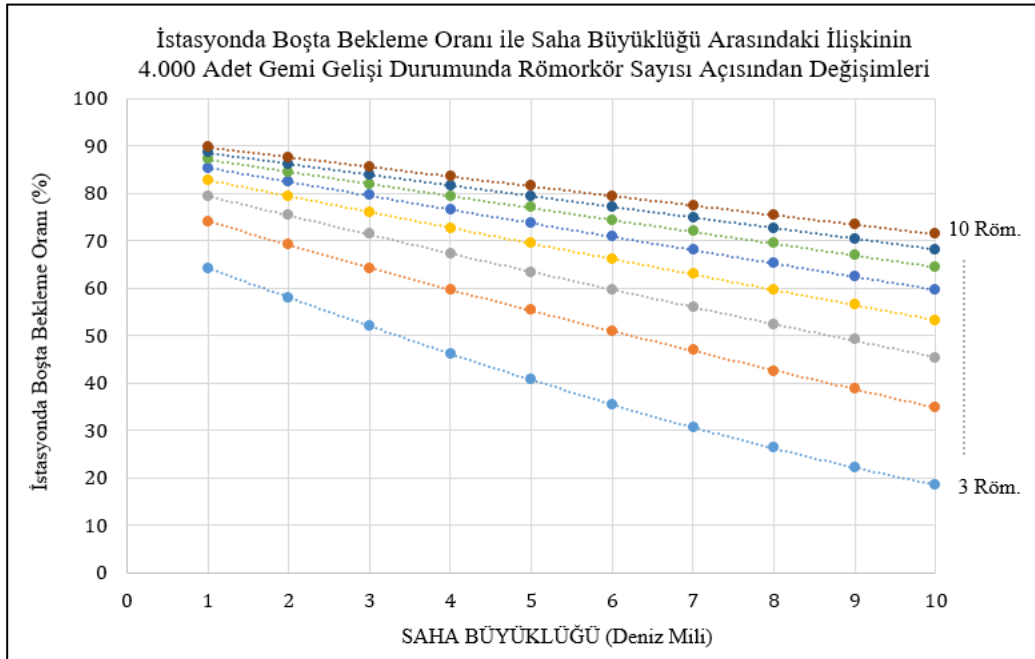
b) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 2.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



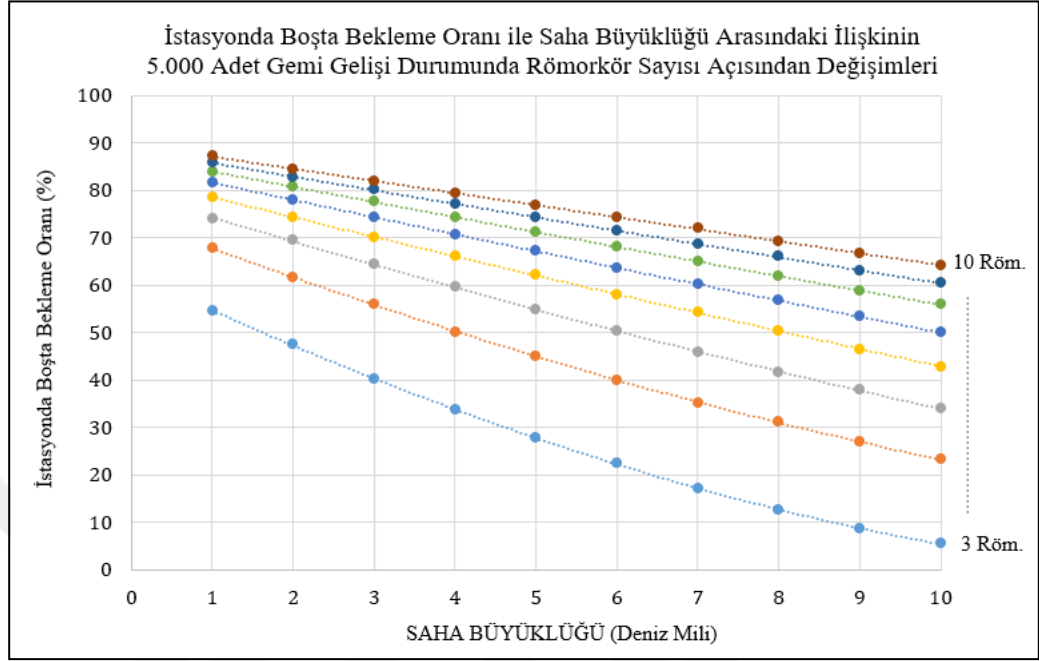
c) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 3.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



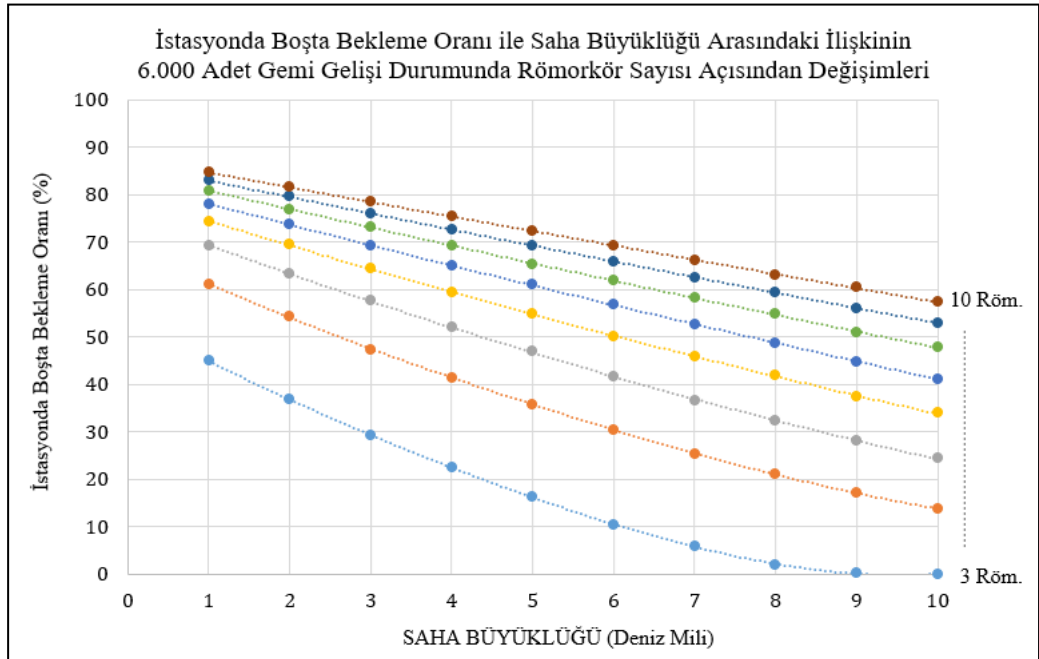
ç) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 4.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



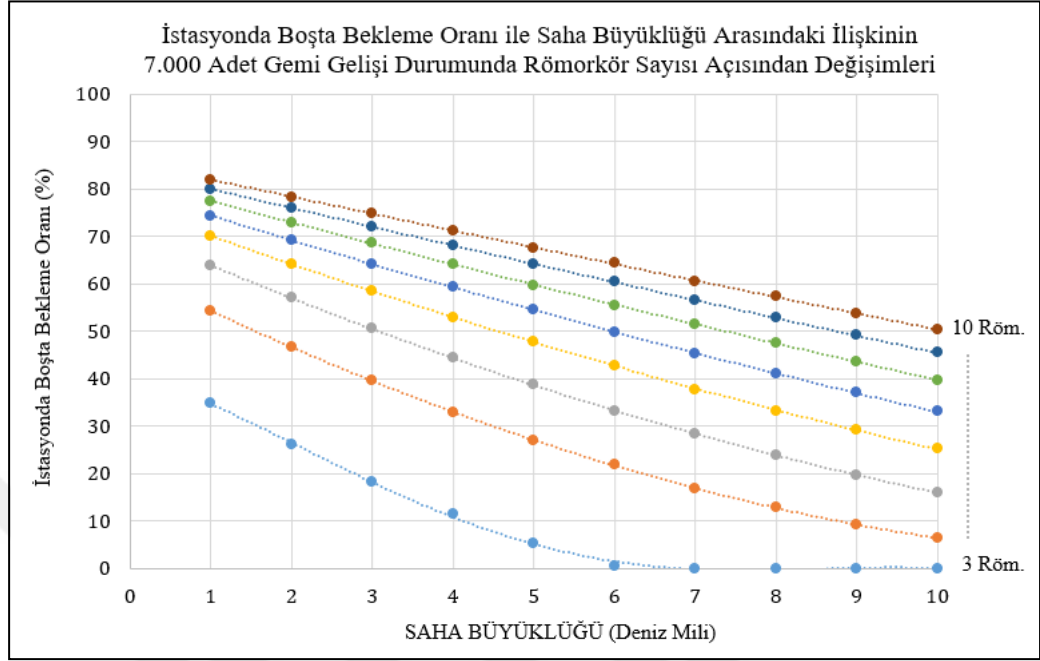
d) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 5.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



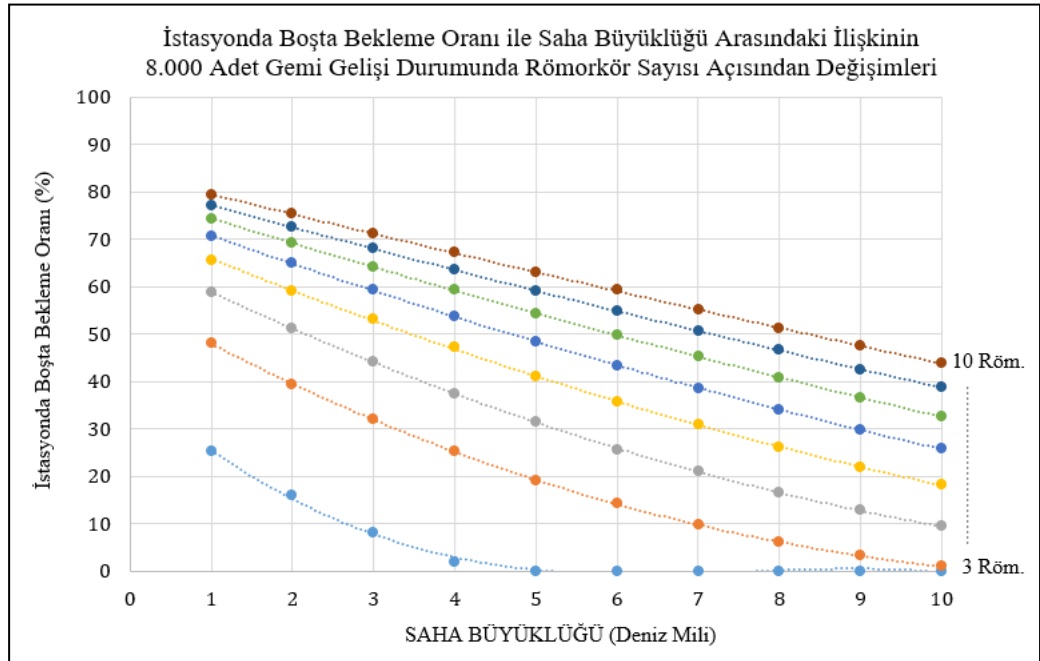
e) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 6.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



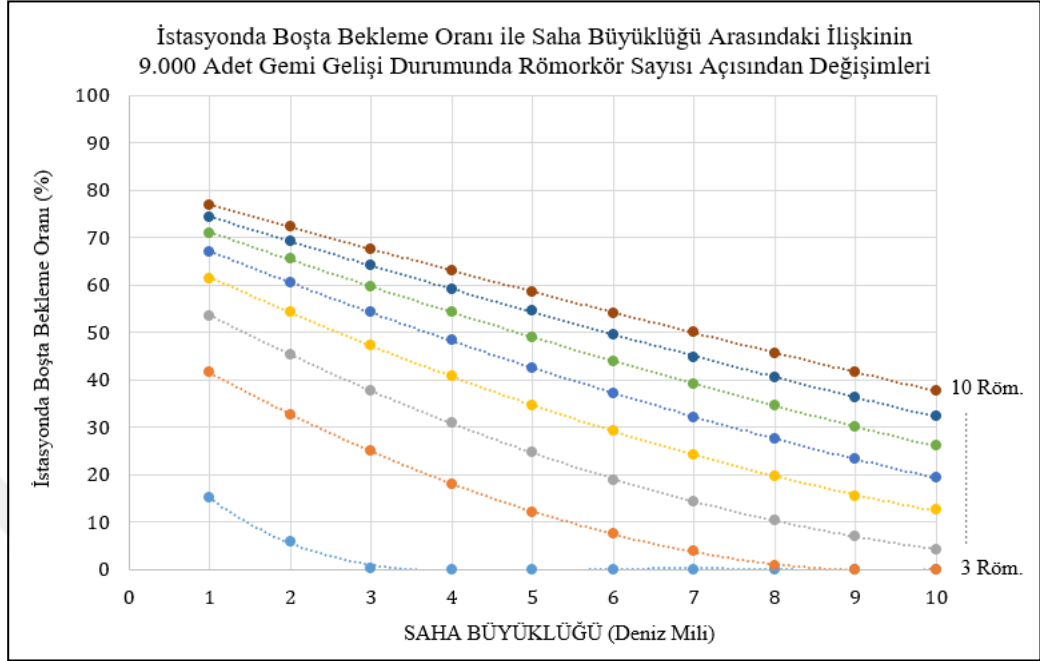
f) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 7.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



g) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 8.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



ğ) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 9.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri



h) İstasyonda Boşta Bekleme Oranı ile SB Arasındaki İlişkinin 10.000 Adet Gemi Gelişi Durumunda RS Açısından Değişimleri

